

**T.C.**  
**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**DOKTORA TEZİ**

**ASİDİK SU KAYNAKLARININ KARAKTERİSTİKLERİ,  
OLUŞUMUNU SAĞLAYAN FAKTÖRLER VE  
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ  
(ÇAN-BAYRAMIÇ; BİGA YARIMADASI ÖRNEĞİ)**

**Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**  
**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**  
Tezin Sunulduğu Tarih: **28/06/2013**

**Tez Danışmanı:**  
**Prof. Dr. Alper BABA**

**ÇANAKKALE**

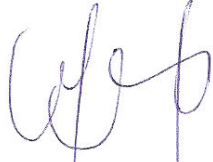
## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

DENİZ ŞANLIYÜKSEL YÜCEL tarafından PROF. DR. ALPER BABA yönetiminde hazırlanan “ASİDİK SU KAYNAKLARININ KARAKTERİSTİKLERİ, OLUŞUMUNU SAĞLAYAN FAKTÖRLER ve HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ (ÇAN-BAYRAMIÇ; BİGA YARIMADASI ÖRNEĞİ)” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Alper BABA

Danışman



Prof. Dr. Yüksel ÖRGÜN

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Erdiñç YİĞİTBAS

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Nurgül ÇELİK BALCI

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Mustafa BOZCU

Jüri Üyesi

Sıra No:

Tez Savunma Tarihi: 28/06/2013

Doç. Dr. Zeki KARACA

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

**Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.**

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

## TEŞEKKÜR

Bu doktora tez çalışmasının gerçekleşmesinde bilgi ve tecrübesiyle yol gösterici olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Alper BABA'ya,

Bilgi ve tecrübeleri ile destek olan hocalarım Sayın Doç. Dr. Nurgül ÇELİK BALCI, Doç. Dr. Mustafa BOZCU ve Erdinç YİĞİTBAŞ'a,

Asit maden drenajı konusundaki bilgi birikimini benimle paylaşan, her sorumu içtenlikle cevaplayan, Maden Mühendisi ağabeyim Dr. Mehmet KARADENİZ'e,

Maddi destekleri ve arazi çalışmalarındaki yardımları ile tezin ilerlemesini sağlayan Teck Madencilik Şirketi'ne ve şirket ailesinden Sayın Tayfun CERRAH, Mevlit AVSAN, Bayram ARTUN ve Zafer POLAT'a, deney havuzlarının yapımındaki maddi destekleri için Kuzey Biga Madencilik Şirketi'ne ve Sayın Çağın ŞEN'e,

Laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Çevre Mühendisi arkadaşım Araş. Gör. Burcu İLERİ ve Kimyager Yrd. Doç. Dr. Özgür ÖZAY'a, XRD analizlerini yapan Jeoloji Yüksek Mühendisi Sayın İnciser GİRĞİN'e,

Arazi çalışmaları sırasındaki yardımları için Jeoloji Mühendisi Araş. Gör. Dr. Fırat ŞENGÜN'e, fosil tanımlamalarını yapan Sayın Prof. Dr. Demir ALTINER'e, tezin yazım aşamasında düzeltmeleri ile katkı koyan Jeoloji Mühendisi Sayın Dr. Eşref ATABEY'e, arazi ve laboratuvar çalışmalarım sırasında yanımda stajlarını yapan öğrencilerim Murat DİNÇ, Banu ZAIMOĞLU, Engin DOĞRU, Murat ÜNLÜ, Efecan UNGUN, Polat GÖKSEL, Ogün ERKAL ve Dilara ENÜL'e ,

Arazi çalışmaları, harita çizimleri ve tez yazım aşamasındaki yardımları için sevgili eşim Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali YÜCEL'e,

Hayatımın her evresindeki maddi ve manevi desteklerini, sevgilerini ve ilgilerini benden esirgemeyen, her türlü sıkıntıda bana sabır ile katlanan annem Sevim ve babam Cavit ŞANLIYÜKSEL'e

tüm içtenliğimle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

## SİMGELER VE KISALTMALAR

AMD	Asit maden drenajı
AMG	Asit maden gölü
AKD	Asit kaya drenajı
Al	Alüminyum
A°	Amstromg, uzunluk birimi
As	Arsenik
A.Ş.	Anonim şirketi
Au	Altın
A\$	Avustralya doları
Ba	Baryum
°C	Santigrat derece
Ca	Kalsiyum
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
Cl	Klor
cm	Santimetre
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
C\$	Kanada doları
ÇED	Çevre etki değerlendirme
ÇOMÜ	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
dk	Dakika
EC	Elektriksel iletkenlik
Eh	Redoks potansiyeli
EPA	Uluslararası çevre ajansı
Fe	Demir
g	Gram
GK	Gözlem kuyusu
GPS	Küresel konumlama sistemi
H	Hidrojen
HCO <sub>3</sub>	Bikarbonat
HNO <sub>3</sub>	Nitrik asit
ICP-MS	İndüklenmiş Çift Plazma-Kütle Spektrometresi
İYTE	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
JICA	Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı
K	Potasyum
KB	Kuzeybatı
KK	Keson kuyu
km	Kilometre
l	Litre
l/sn	Litre/saniye
m	Metre
M	Molarite
My	Milyon yıl
m/sn	Metre/saniye
m <sup>2</sup>	Metre kare

m <sup>3</sup>	Metre küp
Mek/l	Miliekivalen/litre
Mg	Magnezyum
mg/l	1 litredeki miligram değeri
ml	Mililitre
mm	Milimetre
Mn	Mangan
MTA	Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
mV	Milivolt
N	Normalite
Na	Sodyum
Ni	Nikel
nm	Nanometre
O	Oksijen
ODTÜ	Ortadoğu Teknik Üniversitesi
Pb	Kurşun
pH	H <sup>+</sup> aktivitesinin eksi logaritması
ppm	Milyonda bir
ppb	Milyarda bir
S	Sülfür
sa	Saat
Sal	Tuzluluk
Si	Silisyum
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SKKY	Su kirliliği kontrol yönetmeliği
SMOW	Standart ortalama deniz suyu
sn	Saniye
SO <sub>4</sub>	Sülfat
SRK	SRK danışmanlık şirketi
T	Trityum
TS	Türk standartları
US\$	Amerikan doları
WHO	Dünya sağlık örgütü
XRD	X-ışını kırınımı
Zn	Çinko
%	Yüzde değer
‰	Binde değer
µg/l	1 litredeki mikrogram değeri
µS/cm	Mikrosiemens/santim
µm	Mikrometre

## ÖZET

### ASİDİK SU KAYNAKLARININ KARAKTERİSTİKLERİ, OLUŞUMUNU SAĞLAYAN FAKTÖRLER VE HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ (ÇAN-BAYRAMIÇ; BİGA YARIMADASI ÖRNEĞİ)

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Alper BABA

28/06/2013, 318

Çalışmanın amacı; Biga Yarımadası'ndaki en önemli iki beslenme alanı olan Çan ve Bayramiç havzaları arasında kalan alanda, asidik su kaynaklarının karakteristikleri, oluşumunu sağlayan faktörler ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesidir. Çalışma alanı, jeolojik çeşitliliği, metalik maden, endüstriyel ve enerji hammaddeleri bakımından zenginliği, su kaynaklarının bolluğu ile önemli bir konumdadır.

Çalışma sahasında, altere Çan volkanitleri ve Çan formasyonuna ait yüksek sülfür içerikli kömürlerde, doğal jeolojik süreçlerle oluşan asit kaya drenajı ve madencilik faaliyetleri neticesinde oluşan asit maden drenajı oluşumları saptanmıştır. İlkel kömür madenciliği uygulamaları neticesinde, açık işletme şeklinde yapılan üretim sırasında topografya bozulmuş ve oluşan çukurluklarda asit maden gölleri oluşmuştur.

Tez çalışmalarının hedefleri doğrultusunda, öncelikle sahanın ayrıntılı jeoloji ve alterasyon haritaları oluşturulmuştur. Jeokimyasal analizler ile kayaçların mineralojik bileşimleri belirlenmiştir. İnceleme alanında asit maden gölü, dere, kaynak, sondaj, keson kuyu gibi saptanan tüm su noktalarında fizikokimyasal parametreler ölçülerek, pH değerleri düşük sular tespit edilmiştir. Seçilen 40 farklı su noktasında kurak ve yağışlı dönemlerde majör iyon, metal ve iz element analizleri yapılmıştır. Ayrıca, su noktalarının oksijen 18, döteryum, trityum, sülfatta oksijen 18 ve sülfür izotop analizleri ile suların köken, beslenme, dolaşım süreçleri ile göreceli yaşları irdelenmiştir. Su-kayaç etkileşimi sonucunda oluşabilecek asit kaya/maden drenajı oluşumu potansiyelinin kestirimi için, laboratuvarında jeokimyasal statik testler gerçekleştirilmiştir.

Sahada yüzlek veren kayaçların içerdiği başta pirit olmak üzere sülfürlü minerallerin asit kaya drenajı oluşumuna sebebiyet verdiği ve nötrleştirici karbonat minerallerinin azlığı sonucunda su kaynaklarının birçoğunda pH değerlerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, sahada asit maden drenajı oluşum sürecinde Fe ve S oksitleyerek katalizör görevi üstlenen asitsever bakteri türleri bulunduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar ışığında, asit kaya/maden drenajı ve asit maden göllerinin, düşük pH değerleri ve yüksek sülfat, metal, askıda ve çözünmüş katı madde konsantrasyonları dolayısıyla, bu süreçlerin hem insan sağlığı, hem de çevresel açıdan büyük risk oluşturduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Asit Kaya/Maden Drenajı, Asit Maden Gölleri, Biga Yarımadası, Hidrojeokimya.



## ABSTRACT

### CHARACTERISTICS OF ACIDIC WATER RESOURCES, FACTORS ENABLING THEIR FORMATION AND HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES (ÇAN-BAYRAMIÇ; BİGA PENINSULA)

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Doctoral Dissertation in Geology Engineering

Advisor: Prof. Dr. Alper BABA

28/06/2013, 318

The aim of study is to determine the factors that enable and facilitate acid rock/mine drainage in Çan-Bayramiç Basin, Biga Peninsula and to find the hydrogeochemical properties of commonly used water resources. The research area is in an important situation due to geological diversity, abundance with regard to metallic mines, industrial and energy raw materials and water sources.

Formations of acid rock drainage depending on natural geological processes and acid mine drainage due to mining activities in altered Çan volcanics and high sulfur content of coals in Çan formation have been determined. As a result of primitive coal mining activities, acid mine lakes have been occurred in pits formed as excavations progressed.

To achieve this objective, detail geology and alteration maps were formed. Mineralogical structure of rocks was determined. Physicochemical parameters were measured at all water supplies. Major ion, heavy metal and trace element analyses were done in dry and wet periods. Moreover, oxygen 18, deuterium, tritium, oxygen in sulfate and sulfur isotopes were also measured. In addition, geochemical static tests were carried out for the prediction of acid mine/rock drainage potential.

It has been observed that rocks outcrop contain especially to pyrite, sulfide minerals have causes acid rock drainage and due to the inadequate availability of neutralizing carbonate minerals, pH levels of the most of water sources are low. Also, it has been specified that some acidophilic bacteria are found that acting as catalyzer by oxidizing Fe and S in the process of formation of acid mine drainage.

The results show that, on account of low pH values, high sulfate and metal, suspended and dissolved solid material concentrations of acid rock/mine drainages and acid mine lakes, developing processes in the area pose great risk towards on human health and environment.

**Key words:** Acid Rock/Mine Drainage, Acid Mine Lake, Biga Peninsula, Hydrogeochemistry.

<b>İÇERİK</b>	<b>Sayfa No</b>
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	v
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	ix
<b>BÖLÜM 1 – GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Çalışma Alanının Tanıtılması .....</b>	<b>1</b>
1.1.1. Konumu .....	1
1.1.2. Ulaşım ve yerleşim .....	2
1.1.3. Morfolojik özellikleri .....	3
1.1.4. İklim .....	4
1.1.4.1. Sıcaklık .....	5
1.1.4.2. Yağış .....	5
1.1.4.3. Buharlaşma .....	6
1.1.4.4. Rüzgar .....	7
1.1.5. Bitki örtüsü .....	7
<b>1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3. Asit Kaya ve Maden Drenajı .....</b>	<b>9</b>
1.3.1. Tanımı .....	9
1.3.2. Kimyası .....	11
1.3.3. Bakteri Faaliyeti .....	13
1.3.4. Nötralizasyonu .....	14
1.3.5. Nitelikleri .....	16
<b>BÖLÜM 2 – ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>18</b>
2.1. Jeolojik Çalışmalar .....	18
2.2. Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Çalışmalar .....	22
2.3. Asit Maden Drenajı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	25
<b>BÖLÜM 3- MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>30</b>
3.1. Literatür Derlemesi .....	30
3.2. Arazi Çalışmaları .....	30
3.3. Laboratuvar Çalışmaları .....	33

3.3.1. Jeokimya .....	33
3.3.1.1. İnce kesit .....	33
3.3.1.2. Parlak kesit .....	33
3.3.1.3. İndüklenmiş çift plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) .....	34
3.3.1.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) .....	34
3.3.1.5. X-Işını kırınımı (XRD) .....	34
3.3.2. Su kimyası .....	34
3.3.2.1. Majör iyon ve element analizi .....	35
3.3.2.2. Alkalinite tayini .....	35
3.3.2.3. Asidite tayini .....	36
3.3.2.4. Toplam askıda katı madde tayini .....	36
3.3.2.5. Toplam çözünmüş katı madde tayini .....	37
3.3.2.6. Demir (Fe <sup>2+</sup> ) tayini .....	38
3.3.3. İzotop analizleri .....	38
3.3.3.1. Oksijen 18 ve döteryum .....	39
3.3.3.2. Tritiyum .....	39
3.3.3.3. Sülfatta sülfür ve oksijen 18 izotopu tayini .....	39
3.3.4. Jeokimyasal statik testler .....	40
3.3.4.1. Örnek seçimi ve hazırlığı .....	40
3.3.4.2. Çamur pH'ı .....	41
3.3.4.3. Standart asit baz hesaplama (ABH) testi .....	43
3.3.4.4. pH6 testi .....	46
3.3.4.5. Net asit üretme (NAÜ) testi .....	48
3.3.5. Deney havuzu .....	49
3.3.6. Temas sızıntı testi .....	50
3.4. Büro Çalışmaları .....	51
<b>BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>53</b>
4.1. Jeoloji .....	53
4.1.1. Bölgesel jeoloji .....	53
4.1.2. Çalışma alanının jeolojisi .....	56
4.1.2.1. Karakaya kompleksi (Trk) .....	57
4.1.2.1.1. Karakaya kompleksinin petrografik özellikleri .....	60
4.1.2.2. Bayırköy formasyonu (Jba) .....	61

4.1.2.2.1. Bayırköy formasyonunun petrografik özellikleri .....	63
4.1.2.3. Dededağ volkanitleri (Ted) .....	64
4.1.2.3.1. Dededağ volkaniklerinin petrografik özellikleri .....	66
4.1.2.4. Evciler plütönu (Tg) .....	67
4.1.2.4.1. Evciler plütönunun petrografik özellikleri .....	68
4.1.2.5. Çan volkanitleri (Tv) .....	68
4.1.2.5.1. Çan volkanitlerinin petrografik özellikleri .....	71
4.1.2.6. Çan formasyonu (Ts) .....	77
4.1.3. Yapısal jeoloji .....	81
4.1.3.1. Uyumsuzluklar .....	81
4.1.3.2. Faylar .....	81
4.1.3.3. Kıvrımlar .....	83
4.1.3.4. Tabaka doğrultu ve eğimleri .....	83
4.1.3.5. Eklem ve çatlaklar .....	84
4.1.3.6. Heyelanlar .....	84
4.1.4. Ekonomik jeoloji .....	84
4.1.4.1. Mineralizasyon .....	85
4.1.4.1.1. Epitermal tipi yüksek sülfidasyon stili mineralizasyon .....	85
4.1.4.1.2. Porfiri tipi mineralizasyon .....	87
4.1.4.2. Alterasyon .....	88
4.1.4.2.1. Silisleşme .....	89
4.1.4.2.2. Arjilik/İleri arjilik alterasyonu .....	90
4.1.4.2.3. Propilitik alterasyon .....	91
4.2. Jeokimya .....	92
4.2.1. Çan volkanitlerinin jeokimyası .....	92
4.2.2. Çan formasyonun jeokimyası .....	96
4.2.3. Alterasyon zonlarının jeokimyası .....	104
4.2.3.1. Silisleşme .....	105
4.2.3.2. Arjilik/İleri arjilik alterasyon .....	109
4.2.3.3. Profilitik alterasyonun jeokimyası .....	116
4.2.4. İkincil minerallerin jeokimyası .....	116
4.2.4.1. Jarosit .....	117
4.2.4.2. Jips .....	120

<b>4.3. Hidrojeoloji</b> .....	121
<b>4.3.1. Kayaçların hidrojeolojik özellikleri</b> .....	121
4.3.1.1. Magmatik kayaçlar .....	122
4.3.1.2. Metamorfik kayaçlar .....	122
4.3.1.3. Sedimanter kayaçlar .....	122
<b>4.3.2. Su noktaları</b> .....	123
<b>4.3.2.1. Yüzeysel suları</b> .....	124
4.3.2.1.1. Dereler .....	124
4.3.2.1.2. Kar ve yağmur suları .....	127
4.3.2.1.3. Asit maden gölleri .....	127
4.3.2.1.3.1. Asit maden gölü-1 (AMG-1) .....	128
4.3.2.1.3.2. Asit maden gölü-2 (AMG-2) .....	129
4.3.2.1.3.3. Asit maden gölü-3 (AMG-3) .....	131
4.3.2.1.3.4. Asit maden gölü-4 (AMG-4) .....	133
4.3.2.1.3.5. Asit maden gölü-5 (AMG-5) .....	134
4.3.2.1.3.6. Asit maden gölü-6 (AMG-6) .....	135
4.3.2.1.3.7. Asit maden gölü-7 (AMG-7) .....	135
4.3.2.1.3.8. Asit maden gölü-8 ve 9 (AMG-8 ve AMG-9) .....	136
<b>4.3.2.2. Yeraltı suları</b> .....	137
4.3.2.2.1. Kaynaklar .....	137
4.3.2.2.2. Sondajlar .....	142
4.3.2.2.2.1. Gözlem kuyuları .....	142
4.3.2.2.2.2. İzleme kuyuları .....	144
4.3.2.2.2.3. Araştırma sondajları .....	149
4.3.2.2.3. Keson kuyular .....	151
<b>4.3.3. Asit maden göllerinin yıllar bazında alansal değişimlerinin incelenmesi</b> .....	154
<b>4.4. Hidrojeokimya</b> .....	159
<b>4.4.1. Su noktalarının fizikokimyasal özellikleri</b> .....	159
4.4.1.1. Yüzeysel Suları .....	162
4.4.1.1.1. Dereler .....	162
4.4.1.1.2. Asit maden gölleri .....	164
4.4.1.2. Yeraltı suları .....	174

4.4.1.2.1. Kaynaklar .....	174
4.4.1.2.2. Sondajlar .....	177
4.4.1.2.2.1. Gözlem kuyuları .....	177
4.4.1.2.2.2. İzleme kuyuları .....	178
4.4.1.2.2.3. Araştırma sondajları .....	179
4.4.1.2.3. Keson kuyular .....	180
4.4.1.3. Tüm su noktalarının fizikokimyasal özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi .....	180
4.4.2. Su noktalarının kimyasal özellikleri .....	184
4.4.2.1. Majör iyonlar .....	184
4.4.2.1.1. Yüzeysel suları .....	188
4.4.2.1.1.1. Dereler .....	188
4.4.2.1.1.2. Asit maden gölleri .....	188
4.4.2.1.2. Yeraltı suları .....	193
4.4.2.1.2.1. Kaynaklar .....	193
4.4.2.1.2.2. Sondajlar .....	195
4.4.2.1.2.2.1. Gözlem kuyuları .....	195
4.4.2.1.2.2.2. İzleme kuyuları .....	197
4.4.2.1.2.2.3. Araştırma sondajları .....	198
4.4.2.1.2.3. Keson kuyular .....	198
4.4.2.2. Elementler .....	199
4.4.2.2.1. Yüzeysel suları .....	202
4.4.2.2.1.1. Dereler .....	202
4.4.2.2.1.2. Asit maden gölleri .....	202
4.4.2.2.2. Yeraltı suları .....	208
4.4.2.2.2.1. Kaynaklar .....	208
4.4.2.2.2.2. Sondajlar .....	210
4.4.2.2.2.2.1. Gözlem kuyuları .....	210
4.4.2.2.2.2.2. İzleme kuyuları .....	210
4.4.2.2.2.2.3. Araştırma sondajları .....	211
4.4.2.2.2.3. Keson kuyular .....	211
4.4.2.3. Tüm su noktalarının kimyasal özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi .....	211

4.4.3. Su noktalarının izotopik özellikleri .....	217
4.4.3.1. Oksijen 18 ve döteryum .....	219
4.4.3.2. Tritiyum .....	223
4.4.3.3. Sülfatta $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{34}\text{S}$ izotopları .....	230
<b>4.5. Asit Kaya/Maden Drenajı Niteliğinin ve Potansiyelinin Kestirimi .....</b>	<b>233</b>
4.5.1. Jeokimyasal statik testler .....	233
4.5.1.1. Örnek yeri seçimi .....	235
4.5.1.2. Örneklerin mineralojisi .....	236
4.5.1.3. Çamur pH testi .....	245
4.5.1.3.1. Çamur pH'ı testinin uygulandığı örnekler .....	246
4.5.1.3.2. Çamur pH'ı testinin değerlendirilmesi .....	258
4.5.1.4. Standart asit baz hesaplama (ABH) testi .....	258
4.5.1.4.1. ABH testinin uygulandığı örnekler .....	259
4.5.1.4.2. ABH testinin değerlendirilmesi .....	260
4.5.1.5. Nötrleştirme potansiyeli (pH6) testi .....	261
4.5.1.5.1. pH6 testinin uygulandığı örnekler .....	261
4.5.1.5.2. pH6 testinin değerlendirilmesi .....	262
4.5.1.6. Net asit üretme (NAÜ) testi .....	263
4.5.1.6.1. NAÜ testinin uygulandığı örnekler .....	264
4.5.1.6.2. NAÜ testinin değerlendirilmesi .....	265
4.5.1.7. Statik testlerin yorumlanması .....	266
4.5.2. Deney havuzu .....	267
4.5.3. Temas sızıntı testi .....	274
<b>4.6. Tartışma.....</b>	<b>275</b>
4.6.1. Jeolojik faktörler .....	276
4.6.2. Bakteri faaliyeti .....	279
4.6.3. Coğrafi etmenler .....	282
4.6.4. Asidin nötrleşmesi .....	284
4.6.5. Çevresel etkiler .....	284
<b>BÖLÜM 5 – SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>287</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>291</b>
<b>Çizelgeler .....</b>	<b>I</b>
<b>Şekiller .....</b>	<b>VI</b>



<b>Özgeçmiş .....</b>	<b>XVI</b>
-----------------------	------------

**BÖLÜM 1****GİRİŞ**

Asit maden/kaya drenajı (AMD/AKD) kaynaklı çevresel sorunlar uzun yıllardır bilinmektedir. Buna rağmen asidik drenaj oluşum mekanizmalarının anlaşılmasına yönelik araştırmalar ve kestirim için yeni yaklaşımlar geliştirilmesine dönük çalışmalar halen sürmektedir. Birbirinden farklı oluşum koşullarının yarattığı maden yataklarının farklılığı, jeolojik, coğrafik ve meteorolojik etmenler her bir maden yatağını kendine özgü kılmaktadır. Ülkemizde AMD/AKD ile ilgili yapılmış çalışmalar son derece az olup, Biga Yarımadası'ndaki Çan-Bayramiç ilçeleri AMD/AKD'nin en iyi gözlemlendiği sahalardandır. Bu çalışma kapsamında detaylı olarak asidik sistemlerin oluşumu, hızlandıran süreçler ve bu süreçlerin su kaynaklarına etkisi incelenmiştir.

Giriş bölümünde, çalışma alanının konumu, coğrafik ve morfolojik özellikleri ile çalışmanın amacı ve kapsamı detaylı olarak anlatılmıştır. Ayrıca, çalışmanın temelini oluşturan asit maden ve kaya drenajı kavramlarının tanımı, kimyası, bakterilerin etkisi, nötralizasyonu ve nitelikleri hakkında bilgi sunulmuştur.

**1.1. Çalışma Alanının Tanıtılması****1.1.1. Konumu**

Çalışma alanı, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Biga Yarımadası'ndaki en büyük yükselti olan Kazdağı'nın (1774 m) kuzey kesiminde, 1/25.000 ölçekli topografik haritalardan Ayvalık i17 b1 ve i17 b2 paftaları sınırları içerisinde yer almaktadır. Çan-Bayramiç karayolu güzergahında, Bayramiç ilçesine bağlı Muratlar ve Hacıbekirler köyleri ile Çan ilçesine bağlı Halılağa, Keçiağlı ve Hacıkasım köylerini kapsayan 100 km<sup>2</sup>'lik bir alandan oluşmaktadır. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 1'te sunulmuştur. Çalışma alanının konumu, Biga Yarımadası'nda asidik drenaj oluşumunun en iyi gözlemlendiği ve yarımadadaki havzaları en iyi yansıtabilecek özellikte olan Bayramiç ve Çan havzalarının kesişiminin bulunduğu alan olması nedeniyle seçilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

### 1.1.2. Ulaşım ve Yerleşim

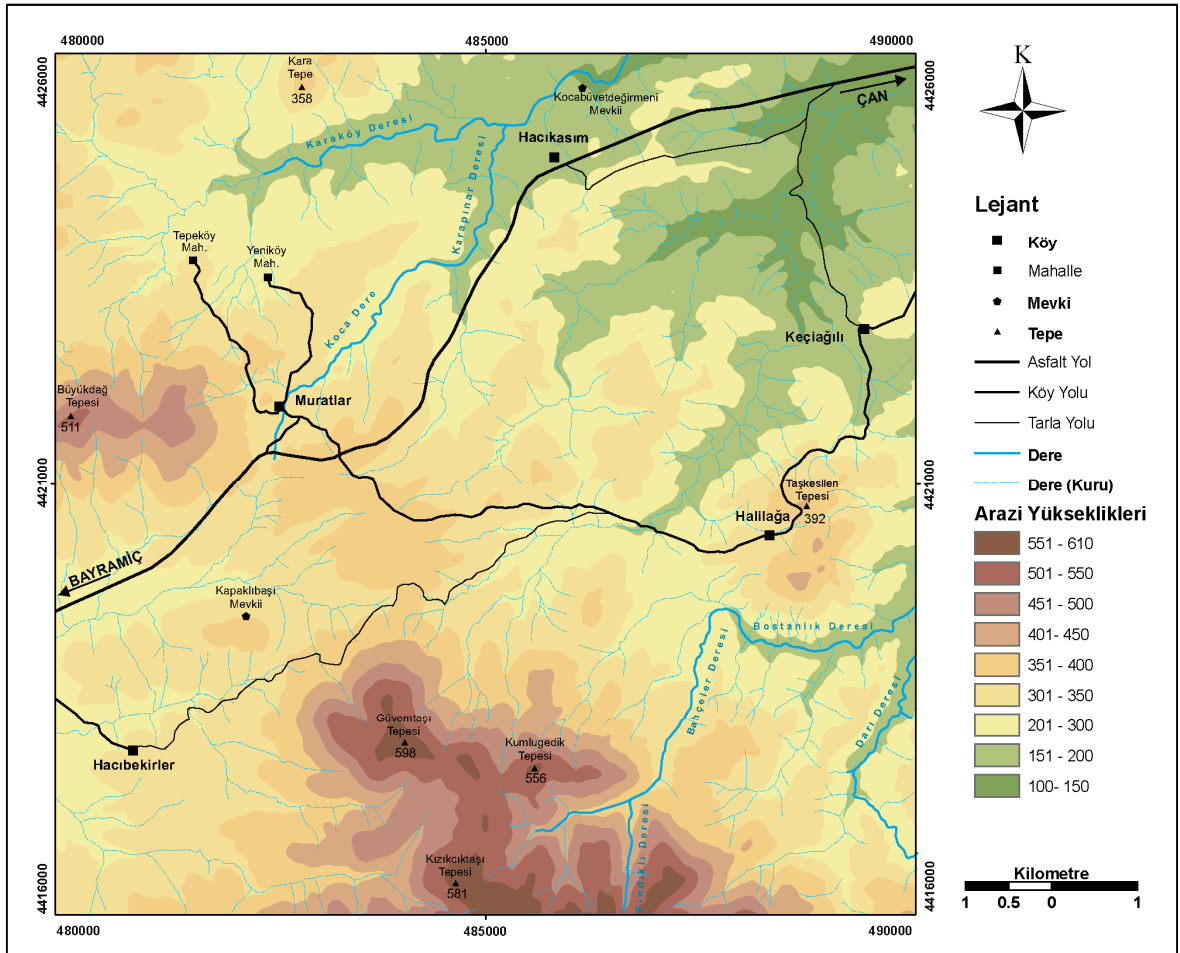
Ulaşım, çalışma alanını kuzeydoğudan güneybatıya doğru kat edip Muratlar köyünden geçen Çan-Bayramiç karayolu ile sağlanmaktadır. Köyler arasında ise stabilize yollarla ulaşım sağlanmaktadır. Arazi çalışmaları sırasında mevcut orman yolları kullanılmıştır.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2011 yılı verilerine göre, Muratlar köyünde 498 kişi, Halılağa köyünde 195 kişi, Keçiagılı köyünde 145 kişi, Hacıbekirler köyünde 116 kişi, Hacıkasım köyünde ise 86 kişi yaşamaktadır. Halkın önemli geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Tarımda öncelikli sektör tahıl üreticiliğidir. Hayvancılıkta ise büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinin yanında, arıcılık da önemli geçim kaynakları arasındadır.

### 1.1.3. Morfolojik Özellikleri

Çalışma alanındaki yükseltiler 100 m ile 600 m arasında değişmektedir. En yüksek rakımlı tepeler; çalışma alanının güney kesimlerinde yer alan Güvemtaşı tepe (598 m), Kızılıckışaşı tepesi (581 m), Kumlugedik tepesi (556 m) ve çalışma alanının batı kısmında yer alan Büyükdağ tepesidir (511 m) (Şekil 2).

Sahadaki akarsuların hemen hepsi süreksiz dere olarak adlandırılan mevsimsel akışlı derelerdir. Sazlı dere, Sarıçeşme deresi, Kapaklı dere, Katran deresi bu derelerden bazılarıdır. Söz konusu dereler yağışın az, buharlaşmanın çok olduğu, yaz ve sonbahar aylarında kuru iken, yağışın artıp buharlaşmanın azaldığı kış ve bahar aylarında akarlar. Özellikle kış aylarında biriken karların eriyip dere yataklarına ulaşması neticesinde ilkbahar aylarında debileri yükselir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeomorfoloji ve ulaşım ağı haritası.

**1.1.4. İklim**

Çalışma alanı ve çevresinde iklimsel özellikler, Karadeniz ve Akdeniz iklimleri arasında bir geçiş özelliği göstermekte olup, genel olarak Akdeniz iklim özellikleri görülür (SRK, 2012b). Ilıman iklimin hakim olduğu yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları soğuk ve yağışlı geçmektedir.

Çanakkale meteoroloji istasyonu, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 1960 yılından itibaren kesintisiz işletilmektedir. İstasyon çalışma alanının kuzeybatısında ve kuş uçuşu yaklaşık 40 km mesafede yer almaktadır (Çizelge 1 ve 2).

Çizelge 1. Çanakkale meteoroloji istasyonunun özellikleri

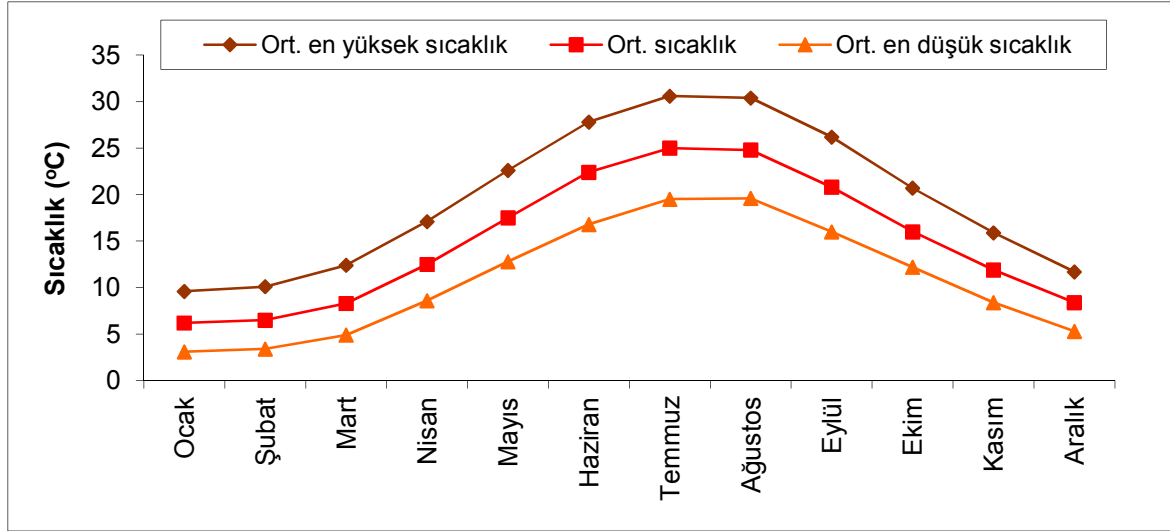
Meteoroloji Genel Müdürlüğü	İstasyon	Enlem	Boylam	Z (m)	Ölçüm aralığı	Çalışma alanından uzaklık	Son durum
	Çanakkale	26,25 K	40,09 D	6	1960-	40 km, KB yönünde	Faal, otomatik istasyon

Çizelge 2. Çanakkale meteoroloji istasyonunun aylık ortalama meteorolojik verileri (1960-2012 yılları arası) (<http://dmi.gov.tr>)

ÇANAKKALE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. sıcaklık (°C)	6,2	6,5	8,3	12,5	17,5	22,4	25	24,8	20,8	16	11,9	8,4
Ort. en yüksek sıcaklık (°C)	9,6	10,1	12,4	17,1	22,6	27,8	30,6	30,4	26,2	20,7	15,9	11,7
Ort. en düşük sıcaklık (°C)	3,1	3,4	4,9	8,6	12,8	16,8	19,5	19,6	16	12,2	8,4	5,3
Ort. güneşlenme süresi (sa)	3,2	4,2	5,3	7,2	9,3	11,1	11,5	11,2	9	6,3	4,3	3
Ort. yağışlı gün	11,7	10,8	9,8	8,7	5,8	3,8	1,9	1,4	3,3	6,4	8,9	12,8
Aylık toplam ort. yağış (mm)	85,5	70,4	64,9	47	33	21,9	14,9	7,8	25,5	57,4	83,5	115,7
Ort. rüzgar hızı (m/sn)	4,4	4,6	4,3	3,8	3,5	3,3	3,8	3,9	3,6	3,9	4,1	4,5
Ort. buharlaşma (mm)	3,1	4,8	5,3	109,4	165,8	214,6	263	247,5	168	103	42,6	12,7
Ort. kar yağışlı gün	2,8	2,5	1,2	-	-	-	-	-	-	-	0,2	1,9
Kar kalınlığı (cm)	63	30	24	-	-	-	-	-	-	-	-	32
En hızlı esen rüzgar (m/sn)	35,2	38,7	35,4	34,5	32	23,6	31,8	23	32,7	29,6	33,9	33,1

### 1.1.4.1. Sıcaklık

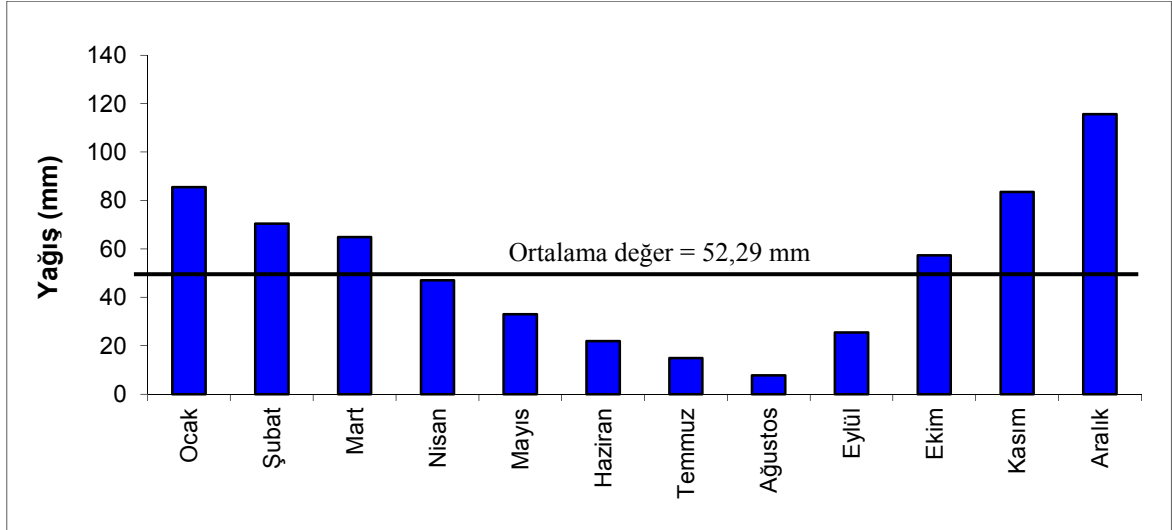
Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Çanakkale Meteoroloji istasyonu verilerine göre 1960-2012 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık değeri 15,02 °C olup, en yüksek sıcaklık değeri 24.07.2007 tarihinde 39 °C, en düşük sıcaklık ise 14.02.2004 tarihinde -11,2 °C olarak ölçülmüştür. Temmuz ayı 25 °C ortalama ile en sıcak, Ocak ise 6,2 °C ortalama ile en soğuk aylardır (Şekil 3).



Şekil 3. Çanakkale meteoroloji istasyonunun aylık ortalama sıcaklık dağılım grafiği.

### 1.1.4.2. Yağış

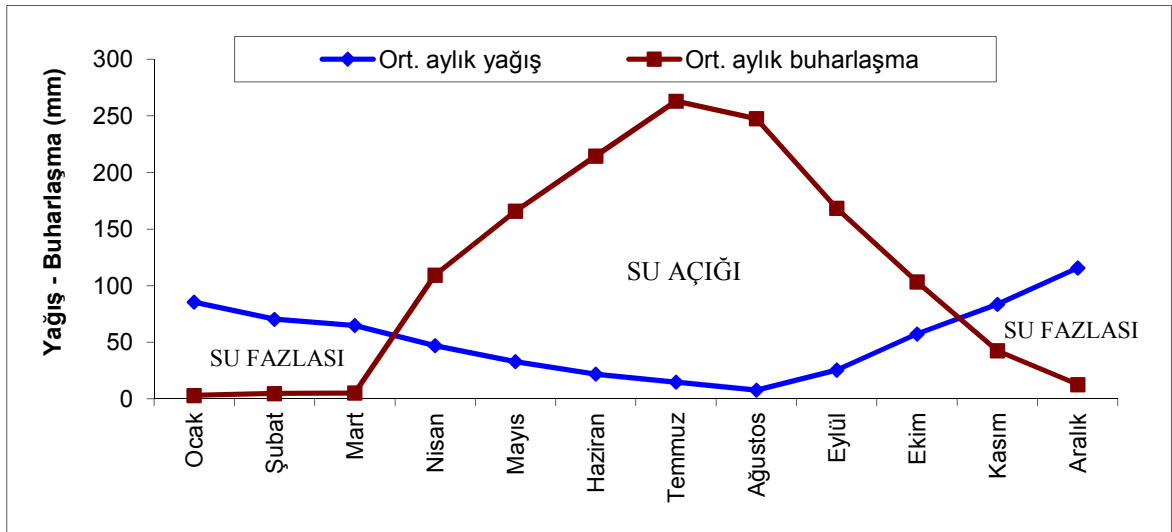
Yağışlar genellikle yağmur şeklinde olup, en yoğun yağış kış aylarında gözlenir. Yıllık toplam yağışın % 50'sinden fazlası kış aylarında düşmektedir. 1960-2012 yılları arasındaki yıllık ortalama toplam yağış değeri 627,5 mm, aylık ortalama yağış değeri ise 52,29 mm'dir. Ortalama yağışın en fazla olduğu ay 115,7 mm ile Aralık, ortalama yağışın en düşük olduğu ay ise 7,8 mm ile Ağustos ayıdır (Şekil 4). Günlük toplam en fazla yağış miktarı 15.05.1996 tarihinde 110 mm olarak ölçülmüştür. Kar yağışlı gün sayısı yıl boyunca düşük seviyededir. 52 yıllık verilere göre, yılın ortalama 8,6 günü kar yağışlı geçmiştir. Ölçülen en yüksek kar kalınlığı 26.01.2006 tarihinde 63 cm'dir.



Şekil 4. Çanakkale meteoroloji istasyonunun aylık ortalama yağış dağılım grafiği.

### 1.1.4.3. Buharlaşma

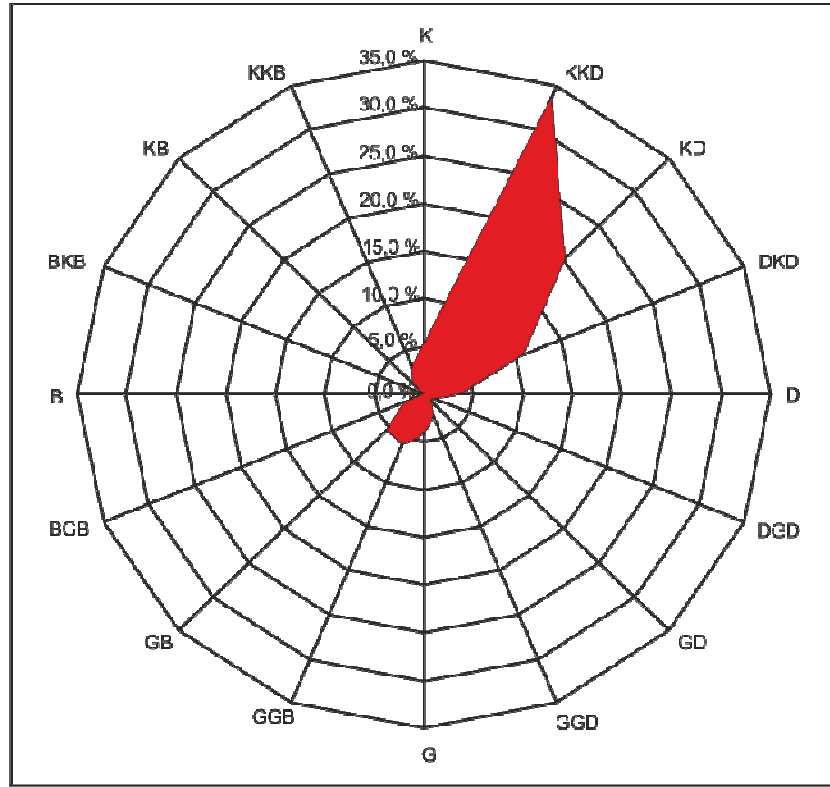
Buharlaşma miktarı kış ayları dışında yağış değerinden daha fazla olup, ortalama toplam yıllık buharlaşma miktarları 1339,8 mm'dir. Yaz aylarında gözlenen yüksek buharlaşma ve düşük yağışlar ile bu aylarda su açığı meydana gelmektedir (Şekil 5). Bölgede yıllık yaklaşık 712,3 mm net su açığı vardır. Kasım ayından Mart ayına kadar geçen aylarda ise su fazlalığı vardır. En yüksek aylık ortalama buharlaşma değeri 263 mm ile Temmuz ayındadır.



Şekil 5. Çanakkale Meteoroloji istasyonunun buharlaşma ve yağış verileri kullanılarak hazırlanan su bütçesi (1960-2012).

#### 1.1.4.4. Rüzgar

Bölgede hakim rüzgar yönü KKD'dur (SRK, 2012b) (Şekil 6). Yıllık toplam ortalama rüzgarlı gün sayısı 161,6'dır. Çanakkale meteoroloji istasyonunda 1960-2012 yılları arasında ölçülen ortalama rüzgar hızı 3,97 m/sn'dir. En yüksek rüzgar hızı 15.02.1991 tarihinde 139,3 km/sa ölçülmüştür.



Şekil 6. Çanakkale meteoroloji istasyonunun yıllık esme sayısında göre hazırlanan rüzgar diyagramı (SRK, 2012b).

#### 1.1.5. Bitki Örtüsü

Çalışma alanındaki hakim ağaç türü karaçam, kızılçam ve meşedir. Hakim toprak türü ise kireçsiz kahverengi orman toprağıdır. Bu toprak türü yaprağını döken orman örtüsü altında oluşur. Farklı ana kayalardan oluşan toprağın renk ve baz durumu ana materyal ve organik madde miktarına göre değişmektedir.



## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Biga Yarımadası'nda Üst Eosen'den başlayarak Pliyo-Kuvaterner'e kadar çeşitli dönemlerde etkin olan volkanizmaların ürünü volkanoklastiklerle birlikte çökelmiş kırıntılı kayalar yüzeylenmektedir. Bölgede sedimanter ve hidrotermal kaynaklı metalik cevher, endüstriyel ve enerji hammaddeleri bulunmakta ve ekonomik olarak değerlendirilmektedir. Bölgede kullanım amaçlarının farklılığına göre birçok araştırma sondajı, kapalı ve açık ocaklar bulunmaktadır. Açık işletme olarak faaliyet gösteren küçük ve orta ölçekli kömür sahalarının hiç bir rehabilitasyon önlemi alınmadan terk edilmesi neticesinde yüzeysel drenaj sonucu irili ufaklı asidik göller oluşmuştur. Su kaynakları açısından da zengin olan Yarımada'da, su kalitesinde su-kayaç etkileşimi etkindir.

Çalışmanın ilk temel amacı, çalışma sahasında yaygın olarak yüzlek veren ve hidrojeokimyasal özellikleri geniş bir yelpazede çeşitlilik gösteren altere volkanik kayalar çevresinde, doğal süreçlerle oluşan "AKD" oluşum süreçlerindeki su-kayaç etkileşiminin hidrojeokimyasal özelliklerinin saptanmasıdır. İkinci temel amaç ise, çalışma alanında terk edilmiş küçük ölçekli linyit işletmelerinde oluşan AMD ve asit maden gölleri (AMG)'nin oluşum mekanizmalarının ortaya konarak bu mekanizmayı hızlandıran faktörlerin belirlenmesi ve hidrojeokimyasal özelliklerinin araştırılması olmuştur.

Tez çalışması ile amaçlanan hedefler kapsamında bir dizi çalışma yapılmıştır. Öncelikle, inceleme alanında yüzlek veren kayaların jeolojik ve jeokimyasal özellikleri belirlenerek, jeoloji ve alterasyon haritaları oluşturulmuştur. Aynı zamanda, inceleme alanındaki asidik karakterli suların hidrojeokimyasal özellikleri detaylı olarak araştırılmıştır. Su kaynaklarında düzenli olarak yapılan fizikokimyasal ölçümler, kimyasal ve izotop analizleri ile su-kayaç etkileşimi, suların kimyası, kökeni, dolaşımı, göreceli yaşları belirlenmiştir.

Su-kayaç etkileşimi sonucunda oluşabilecek AMD/AKD'nın belirlenmesi amacıyla, jeokimyasal statik test prosedürleri çalışılmıştır. Bunun için, altere volkanik kayaların farklı alterasyon (silisik, arjilik ve propilitik) zonlarından, asit maden göllerinin çevresindeki sedimanter seviyelerden ve pasalardan örnekler alınmıştır. Ayrıca Halilağa çevresinde özel sektör tarafından faaliyete sokulması planlanan işletmenin sınırları içerisinde bulunan araştırma sondajının farklı derinliklerinden de örnekler alınarak, suyla teması sonucu oluşabilecek asit üretimi ile ilgili bir dizi jeokimyasal statik test yapılmıştır. Asit üretimine neden olan litolojiler tespit edilmiştir.

AMG'nin, yıllar bazında alansal değişimindeki madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla 1977, 1985, 1987, 1999, 2003, 2008 ve 2011 yıllarına ait uydu görüntüleri üzerinde çalışılmıştır. Bu göllerin, farklı yıllara göre sınırlarındaki (çevre ve alan) değişimler saptanmıştır. Göllerin yaklaşık olarak oluşum yılları belirlenmiştir. Ayrıca, 2011 yılı uydu görüntüsü üzerinde, kömür madenciliği faaliyetleri ile oluşan ve AMD'nin önemli kaynaklarından olan pasa alanları hesaplanmıştır.

Elde edilen tüm veriler birlikte değerlendirilip yorumlanarak, çalışma alanındaki asidik su kaynaklarının karakteristikleri, oluşumuna yol açan ve oluşumunu hızlandıran faktörler ile bölgenin hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışma sayesinde ilk kez, Biga Yarımadası'nda görülen AMG ve AMD/AKD'nin oluşumunu sağlayan faktörler, bu faktörleri hızlandıran etkiler, bu faktörlerin hem yüzey hem de yeraltı suyuna etkileri detaylı olarak incelenmiş ve sahanın veri tabanı oluşturulmuştur.

### **1.3. Asit Kaya ve Maden Drenajı**

#### **1.3.1. Tanımı**

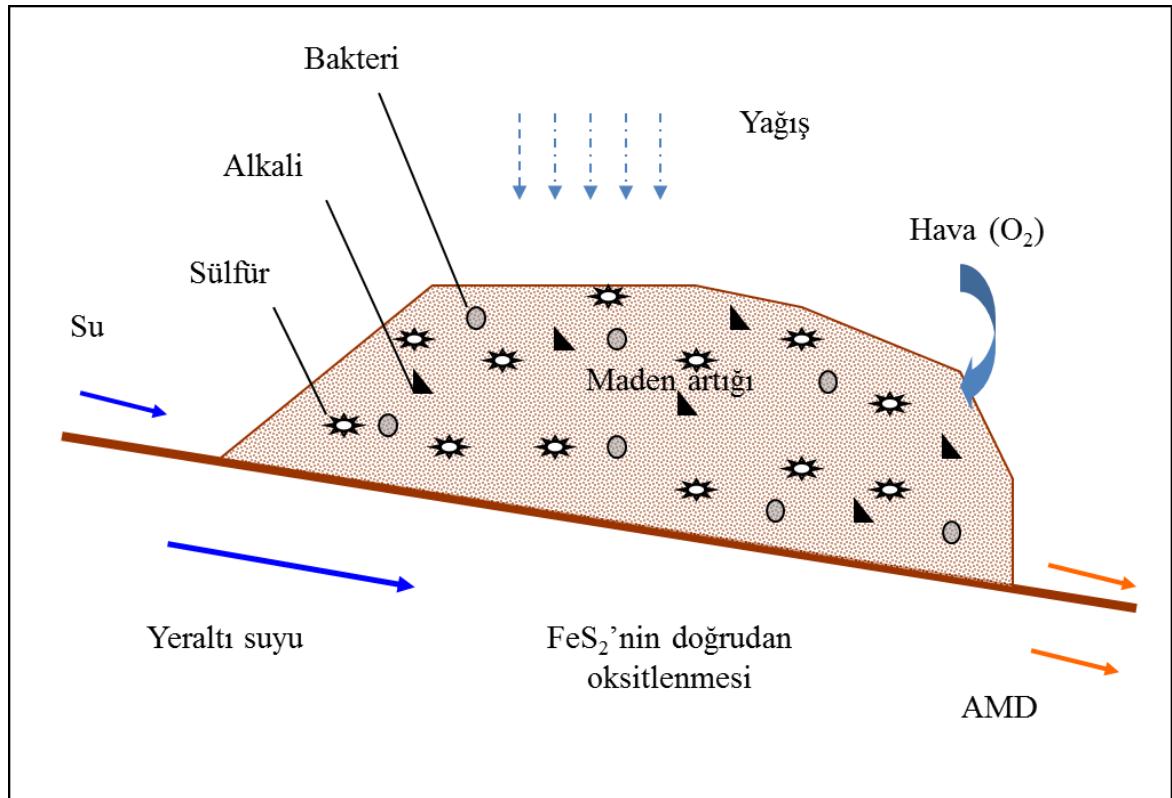
AMD, yaygın olarak bulunan demir sülfür minerallerinin (pirit, pirotin vb.) atmosferik oksidasyonu (su, oksijen ve karbondioksit vb.), katalizör görevindeki bakterilerin (*Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidophilic bacterium* vb.) varlığı ve sonradan diğer metallerin (Fe, Zn vb.) sürece katılımıyla gelişen tepkimeler sonucunda oluşmaktadır (Mills 1995; EPA 1994a, b; Akçıl ve Koldaş 2006; Özçelik 2007). Karadeniz (2008), bir maden alanında pirit, pirotin ve markazit gibi demir minerallerinin nemli ortamda oksitlenmeye maruz kalmasıyla gelişen tepkimeler sonucu sulu ortama proton ( $H^+$  iyonu) vermesi ve çözeltinin asidik niteliğe dönüşmesi olayını AMD olarak tanımlamıştır.

Asit maden gölleri (AMG), AMD ve doğal yüzey ve yeraltı sularının açık maden işletmesinin neden olduğu bir depresyona birikmesi sonucu oluşurlar (Geller ve ark., 1998; Gündüz ve ark., 2007).

Demir sülfür içeren cevher oluşumları yeryüzüne yakın yatakladıklarında ve yüzeyleri atmosfere açık olduğunda, ortamda oksijen ile birlikte nem varlığında, tamamen doğal oksitlenme tepkimeleri gelişebilmektedir. Demir şapka (gossan), insanlık tarihi boyunca maden arayanların hedefi ve önemli ekonomik madenlerin keşfine neden olmuştur. Yüzey sularının bu kayalarla temas etmesi sonucu asidik drenaj oluşabilmektedir (Karadeniz, 2008). Downing ve Mills (2000), yol, havaalanı gibi büyük

mühendislik yapıların inşa edilmeleri esnasında, demir sülfür içeren bileşiklere sahip kayaların yüzeylerinin açılarak okside olması ve yüzey akıntılarıyla teması ile de asidik drenaj meydana gelebileceğini belirtmiştir. Herhangi bir madencilik faaliyeti neticesinde gerçekleşmeyen süreçlerin AMD olarak adlandırılması yanlıştır, tamamen doğal şartlarla meydana gelen asidik drenaj AKD olarak tanımlanmalıdır.

AMD'nın, üç temel bileşeninden biri olan demir sülfürlerin doğada en yaygın rastlanan minerali pirittir. Pirit, magmatik, volkanik, sedimanter kayalarda ve kontak metamorfik ve hidrotermal yataklarda bulunan bir mineraldir (Karadeniz, 2008). Maden alanında (açık ya da kapalı ocaklar, cevher stok sahaları vb.) yer alan kayaç yığınları veya pasalar AMD'nın oluşumuna neden olabilmektedir. Bu kaynaklardan doğan sızıntılar ile asidik drenaj gelişebilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. AMD oluşumunun şematik gösterilimi (BCAMDTF, 1989; Karadeniz, 2008).

AMD/AKD'nın oluşması için aşağıdaki 3 şartın bir arada oluşması gerekmektedir (Environment Australia, 1997; EPA, 2003);

1. Kayanın kükürt içeriğinin % 0,3'den büyük olması,
2. Kükürt içeren kayanın, hava ve nem ile temas etmesi,
3. Kayanın oluşan asidi dengeleme (nötrleştirme) kapasitesinin olmamasıdır.

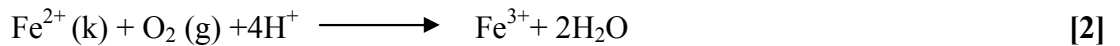
### 1.3.2. Kimyası

AMD oluşum sürecinde, oksitlenmenin tetikleyicisi olan pirotin ve markazite göre pirit, doğada daha yaygın ve bol olarak bulunmaktadır. Bu nedenle, AMD'nin kimyasal mekanizmalarının incelenmesinde, ağırlıklı olarak pirit esas alınmaktadır. Ancak piritin oksidasyon oranı bazı sülfid minerallerinden daha yavaştır. Kwong ve Ferguson (1990), oksidasyon sırasını markazit> pirotin> pirit olarak belirtmiştir.

Üretim esnasında yeni açılan yüzeylerde ya da depolanan malzemenin içinde bulunan pirit, oksitleyici ortama maruz kaldığında, başlangıç fazı denilebilen tepkimeyle [1] asit üretme sürecine geçilmiş olur (Karadeniz, 2008).

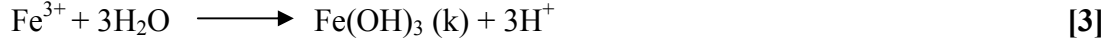


Egzotermik tepkime sonucunda her bir mol piritin oksitlenmesiyle 2'şer mol proton ve sülfat iyonu çözeltiliye geçerken, ısı açığa çıkar. Öte yandan asit koşullar altında piritin oksitlenmesi başlar başlamaz hidrojen iyonlarından kullanılan oksijenin indirgenmesiyle oluşan oksit iyonlarını nötrleştirmek için gerekli olandan fazlası üretilir. Dolayısıyla, iki değerlikli demir iyonlarının üç değerlikli demire oksitlenmesi başlayıncaya kadar çözeltili giderek daha çok asitleşir (Burkin, 1965; Karadeniz, 2008). Buna göre, tetikleyici ilk tepkime sonrasında drenajın hem asit, hem de indirgenmiş demir konsantrasyonu artar. Abiyotik koşullarda asidite artar ve pH düşerken, oksijen miktarı azalır, piritin oksitlenmesi yavaşlar (Willamson ve Rimstidt, 1994; Karadeniz, 2008). Ortamın oksitlenme potansiyelinin yüksek olması durumunda  $\text{Fe}^{2+}$  yükseltgenerek  $\text{Fe}^{3+}$ 'e dönüşür [2].

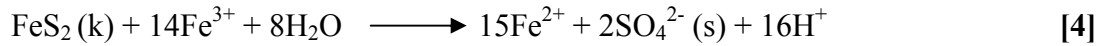


Bu tepkime, ortamdan bir miktar proton tüketir. Ancak pH'nın 4-5 aralığında olduğu ortamda üç değerlikli demir iyonunun çözünürlüğü artar. Üstelik bu iyon oksijene göre

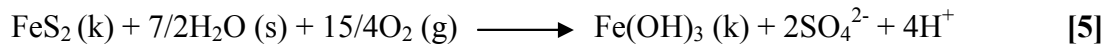
daha güçlü bir oksitleyicidir. Bu nedenle, piritin oksitlenmesi hızlanır. Başlangıçtaki çözülmüş oksijenle ve onu takip eden aşamadaki üç değerlikli demir iyonu ile pirit oksitlenmesi elektrokimyasaldır (Holmes ve Crundwell, 2000; Karadeniz, 2008).



Sülfat iyonları ile birlikte bulunan üç değerlikli demir iyonları, sudaki hidroksit iyonları ile tepkime ürünü olan demir hidroksiti vererek hidrolize [3] olur. Bu tepkimenin gelişimi ortamın pH'ına bağlıdır. Demir hidroksit asit ortam koşullarında, bilhassa pH 4-6 aralığında iken presipitasyona uğrar ve sarı-turuncu-kırmızı-kahverengi karışımı bir renk ile çöker (Karadeniz, 2008). Su çökeleğinin niteliğine göre renk alır. Ortamın pH'ı düşmeye devam eder. pH 3,5'in altına indiğinde çözünürlüğü hızla artan  $\text{Fe}^{3+}$  çözeltide kalır. Sonrasında  $\text{Fe}^{3+}$  iyonları demir sülfür ile tepkimeye girerek ortama yeniden  $\text{Fe}^{2+}$  iyonlarının salınmasına neden olur [4]. Bu şekilde tepkimeler silsilesinde [2] numaralı tepkimenin yeniden başlamasıyla bir döngü gelişir ve bir miktar pirit daha oksitlenir. Bu durum açığa çıkan proton iyonları nedeniyle sülfürik asit oluşumunun devam etmesi demektir.



Yukarıda verilen 4 tepkimenin özeti;



Gerçekleşen bu kimyasal tepkimeler bu süreçle sınırlı değildir. Sonraki aşamalarda mikroorganizmalar, diğer metaller ve ikincil minerallerin de eklenmesiyle kimyasal süreç son derece karmaşık bir yapı kazanır.

Kömür sahalarında genellikle pirit ve markazit gibi demir sülfürler yaygın olarak bulunmaktadır. Metalik yataklarda ise pirit dışında kalkopirit, galen vb. birçok metal bulunmaktadır. Bu nedenle metalik yatakların kimyasal oluşumları kömür sahalarına nazaran daha karışıktır.

### 1.3.3. Bakteri faaliyeti

Asit maden sahaları bakteri-mineral ilişkisinin en iyi örneklerini sergilemektedir (Balcı ve ark., 2010). Bakterilerin değişik ortamlarda yaygın olarak bulunması ve farklı mineralleri kullanarak, yaşamları için gerekli olan enerjiyi elde etme çabaları, birçok elementin çözünmesini, taşınmasını ve çökmesini doğrudan kontrol etmektedir (Balcı ve ark., 2006). Bakteriler, AMD'nin oksidasyon hızını arttırmaktadır (Çiftçi ve Akçıl, 2006). Birçok asit sever bakterinin (başlıca *Acidithiobacillus*, *Thiobacillus*, *Leptospirillum*, *Sulfolobus*, *Sulfobacillus* ve *Metallogenium* türleri), pH 4'ün altında ve sülfürlü mineralleri içeren bir ortamda asit oluşumunda etkili oldukları bilinmektedir (Çiftçi ve Akçıl, 2006). Şekil 8'de *Acidithiobacillus ferrooxidans* bakterisinin elektron mikroskobu görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 8. *Acidithiobacillus ferrooxidans* bakterisinin elektron mikroskobu görüntüsü (Ehrlich, 2002).

*Thiobacillus ferrooxidans* türü bakterilerin AMD oluşumunda metal sülfürlerin oksitlemesine katkı yaptıkları, ilk kez Colmer ve Hinkle (1947) tarafından belirlenmiştir. Zawadski (1967), asidik ortamda ve oksijen varlığında *Thiobacillus ferrooxidans* türü bakterilerin, demir sülfatın oksitlenme sürecini kısalttığını belirtmiştir. Singer ve Stumm

(1970), *Thiobacillus ferrooxidans* ferro demirin ferrik demire oksitlenmesi sırasında oksitlenme oranının  $10^6$  kat hızlandırdığını belirtmiştir. Ancak, bu denli yüksek kataliz etki, sonraki araştırmacılarca desteklenmemiştir. Lapakko ve Antonson (1994), laboratuvar koşullarında, pH 5,35 ile 6,1 aralığına nazaran pH 3,5 ile 4,05 aralığında bakterilerin oksidasyonu ile piritinin 6-7 kat hızlı oksidasyona uğradığını belirtmiştir. Nordstrom ve Alpers (1999), pH'ın 2 olduğu biyotik koşullarda, piritin ferrik demire oksitlenmesinin abiyotik koşullara göre 2-3 kat daha hızlı olduğunu belirtmiştir.

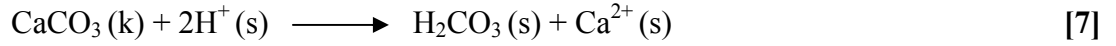
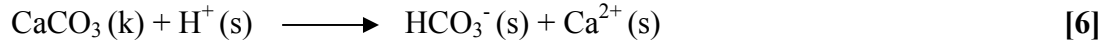
Balcı (2005) tarafından, Nordstrom ve Southam (1997)'in *Acidithiobacillus ferrooxidans* bakterisinin Fe (II) iyonunu (pH < 3) hızla oksitlediği gerçeğinden yola çıkılarak, kimyasal (bakteri eklenmeden) ve biyolojik deneyler ile aynı koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Biyolojik deneyler için *Acidithiobacillus ferrooxidans* bakteri türü kullanılmıştır. Deneyler sonunda (45 gün) 2,9 ile başlayan pH değerleri, kimyasal deneylerle 2,8'e, biyolojik deneylerle 2,1'e ulaşmıştır. Sülfat konsantrasyonu, biyolojik deneylerde 1150 mg/l, kimyasal deneylerde ise 42 mg/l olarak ölçülmüştür. Deney sonuçları, piritin biyolojik olarak, kimyasal deneylere oranla daha hızlı oksitlendiğini ve asit maden sahalarının oluşmasında ana etkinin biyolojik reaksiyonlar olduğunu ortaya koymuştur.

EPA (1994b), *Thiobacillus ferrooxidans*ların yaşaması için uygun pH aralığının (0,5-6) ve uygun sıcaklık koşullarının (15-25 °C) olması gerektiği, yükselen ya da düşen ortam sıcaklığında metabolik faaliyetlerinin azaldığını belirtmiştir.

#### **1.3.4. Nötralizasyonu**

Sülfürlü sahalarda gerçekleşen tüm kimyasal tepkimeler asit oluşumuna neden olmamaktadır. Sahanın mineralojik yapısı çerçevesinde bir tarafta asit üreten tepkimeler sürerken, diğer tarafta da oluşan ve asidi tüketen ve neticede ortamı nötrleştiren veya tampon etkisine neden olan süreçler gelişebilir (Karadeniz, 2008).

En efektif nötrleştirme kapasitesine sahip mineraller; kalsit, manyezit, dolomit ve ankerit gibi karbonat grubu mineralleridir. Aşağıdaki reaksiyonda [6] pH değerinin 6,4 ile 10,3 aralığında iken, kalsitin en baskın olduğu asit nötrleştirme reaksiyonu sunulmuştur (Lapakko, 2002). Reaksiyonun [7] gerçekleşmesi için pH değerinin 6,4'ün altında olması gerekmektedir (Drever, 1988).



Karbonat mineralleri içerisinde en hızlı çözünen kalsittir (Busenberg ve Plummer, 1986). Kalsite göre dolomit daha yavaş çözünür (Busenberg ve Plummer, 1982) ve manyezitin çözünme hızı kalsite göre 4 kat daha yavaştır (Chou ve ark., 1989). Sideritin çözünme hızı anoksik koşullarda kalsitin çözünme hızından 3 kat daha azdır (Greenberg ve Tomson, 1992). Karbonat minerallerinin çözünme hızları; kalsit> dolomit> siderit> manyezit olarak belirtilmektedir. Asit nötrleştirmeye katkısı olan mineraller ve göreceli çözünme hızları (Sverdrup, 1990; Lawrence ve Scheske, 1997; Karadeniz, 2011) Çizelge 3'de sunulmuştur.

Çizelge 3. Asit nötrleştirmeye katkısı olan minerallerin göreceli çözünme hızları (Sverdrup, 1990; Lawrence ve Scheske, 1997; Karadeniz, 2011)

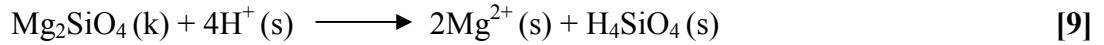
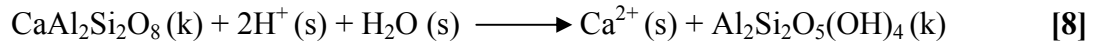
Özellik	Tipik mineraller	Göreceli tepkime hızı (pH 5'de)
Çözünen	Kalsit, aragonit, dolomit, manyezit, brusit	1
Hızlı ayrışan	Anortit, nefelin, forsterit, olivin, granat, jadeit, lösit, spodümen, diyopsit, vollaştonit	0,4
Orta hızda ayrışan	Sorosilikatlar (epidot, zoisit), piroksenler (enstatit, hipersten, ojit, hedenberjit), amfiboller (hornblend, glokofan, tremolit, aktinolit, antofillit), filossilikatlar (serpantin, krizotil, talk, klorit, biyotit)	0,02
Yavaş ayrışan	Plajioklas feldspatlar (albit, oligoklas, labrodorit), killer (vermikülit, montmorillonit)	0,01
Çok yavaş ayrışan	K-feldspatlar, muskovit	0,01
İnert	Kuvars, rutil, zirkon	0,004

Demir ve manganez karbonatlar, oksitleyici ortam koşullarında, net asit nötrleşmesi sağlayamazlar (Lapakko, 2002). Suyu geçen demir ve manganez iyonları, oksitlenmeye maruz kalmaları neticesinde, başlangıçta kalsit gibi nötrleşme etkisi göstermelerine karşın, daha sonraki aşamalarda serbest kalan demir ve manganezin oksitlenmesi, ardından salınan metal iyonlarının hidrolize uğraması ve en sonunda presipite olması nedeniyle asit üretirler (Karadeniz, 2008).



Karbonatlarla birlikte silikatlar, oksitler ve hidroksitler de asidin nötralizasyonuna yardımcı olan mineral gruplarıdır. Karbonat minerallerinin bulunmadığı yerlerde, silikat mineralleri asiditeye karşı belirli bir seviyede tampon etkisi göstermektedir (Eary ve Williamson, 2006). Silikatların asidi nötrleştirme potansiyelleri karbonatlara göre oldukça yavaştır (Nesbitt ve Jambor, 1998). White ve ark. (1999), en hızlı çözünen silikatın plajiyoklas olduğunu ve nötr pH koşullarında, kalsitten 7 kat daha yavaş çözüldüğünü belirtmiştir. Lapakko ve Antonson (1994), AMD sahalarında, eğer asit üretim oranı çok yavaş ise silikat minerallerinin nötr koşullar yaratılmasına yardımcı olabileceğini ifade etmiştir. Lapakko (2002), silikat minerallerinin asit nötralizasyonunda daha efektif olmaları için tane boyutunun küçük ve yüzey alanının fazla olmasının gerekli olduğunu vurgulamıştır.

Silikat minerallerinden anortitin çözünme reaksiyonu [8] (Busenberg ve Clemency, 1976) ve forsteritin çözünme reaksiyonu [9] (Hem, 1970), ortamdaki H<sup>+</sup> iyonu konsantrasyonunu azaltarak asidin nötralizasyonunu sağlamaktadır.



### 1.3.5. Nitelikleri

AMD'nin ortaya çıkışında rol oynayan faktörlerin çokluğu nedeniyle karmaşık yapıda olmasına karşın, özünde minerallerin çözünmesi, ardından katı hale geçerek çökmesi ve yeniden çökmesiyle şekillenen süreçler dizisidir (Karadeniz, 2008). Bu süreç, drenaj sularının fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemektedir. AMD'nin niteliğini ortaya koymak, taşıdığı çevresel riski belirlemek amacıyla anlık ve dönemlik parametrelerin tanımlanması ve miktarlarının saptanması gerekmektedir. Madenin asit üretme potansiyeli, bulunduğu bölgedeki koşullarla doğrudan ilişkili olup, o yere özgüdür.

Ortamda bulunan sülfür minerallerinin tipi, oksijenin varlığı, çözündüklerinde pH seviyesini yükselten karbonat, silikat minerallerinin özelliği ve miktarı, AMD'nin oluşumunu etkileyen başlıca faktörlerdir. Ayrıca sıcaklık, pH, ortamdaki sülfürlü ve alkali cevherlerin dağılımı, sülfürlü cevherlerin yüzey alanı ve oksidasyon hızı AMD'nin

kontrolünde önemli değişkenlerdir. Bakterilerin katalitik bir rol oynamasından dolayı, sıcaklık ve pH mikrobiyal gelişme için belirleyici faktörlerdir.

Minerallerin kristal yapıları önemlidir. Bu durum, bazı tip kristal yapıların daha duraylı ve oksitlenmeye karşı dirençli olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, daha fazla yüzey alanına sahip olan framboyidal piritin oksitlenmesi, öhedral piritin oksitlenmesine oranla daha hızlıdır (Pugh ve ark., 1984; White ve Jeffers 1994).

Bir mineralin tane boyutu küçüldüğünde, yüzey alanı artacağından reaksiyona girme yeteneği, diğer bir ifadeyle, çözünürlüğü de artar (Yörükoğlu ve Karadeniz, 2003). Atık malzemenin tane boyutunun küçülmesi, sülfürlü minerallerin yüzey alanının artmasına ve böylece, oksidasyonun hızlanmasına neden olmaktadır (Çiftçi ve Akçil, 2006).

## **BÖLÜM 2**

### **ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Farklı jeolojik özelliklere sahip olmasının yanı sıra, aktif fay zonları, sıcak ve soğuk su kaynakları, metalik maden, endüstriyel ve enerji hammadde potansiyelinin yüksek olması nedeniyle, Biga Yarımadası'nda jeolojik ve hidrojeolojik amaçlı birçok çalışma yapılmıştır. Çalışma alanı ve yakın çevresinde de birçok farklı araştırmacının çalışmaları bulunmaktadır. Bu bölümde inceleme alanı ve çevresi ile ilgili geçmiş yıllara ait jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya ve maden yatakları çalışmaları ile birlikte, AKD/AMD ile ilgili yapılan ulusal ve uluslararası bazı çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

#### **2.1. Jeolojik Çalışmalar**

Biga Yarımadası'ndaki jeolojik amaçlı araştırmalar 1950'li yıllara dayanmaktadır. Türkiye'nin 1/500.000 ölçekli jeoloji haritasının hazırlanması amacı ile Aygen (1956), Kaaden (1959) ve Kalafatçioğlu (1963) tarafından çalışmalar yürütülmüştür. Daha sonra Gümüş (1964), Aslaner (1965), Bingöl (1968) ve Blanc (1969) tarafından detaylı araştırmalar yapılmıştır. MTA tarafından, 1960'ların sonlarında ve 1970'lerin başlarında jeolojik amaçlı araştırmalar yürütülmüş ve raporlar halinde arşivlenmiştir. Bazı sonuçlar, Bingöl ve ark. (1975) tarafından yayınlanmıştır.

Hezarfen (1976) tarafından, Çan linyit havzasının genel jeolojik durumu ile stratigrafisi ortaya konulmuştur. Yörede, Neojen öncesi kayaların spilit, andezit, bazalt ve tüflerden, Neojen çökellerinin linyit düzeyleri, kil, tuf-tüfit aralanmasından ve Neojen sonrası çökellerinin ise konglomeralar ve alüvyonlardan oluştuğu, kömürün kalınlığının da yaklaşık 16 m olduğu belirtilmiştir.

Siyako ve ark. (1989) tarafından, Biga Yarımadası'nda Erken-Orta Miyosen'de yoğun bir kalkalkalen volkanizmanın geliştiği ve bu kalkalkalen volkanizmaya bağlı olarak genellikle granodiyorit bileşimli sığ sokulumların bölgeye yerleştiği belirtilmiştir. Erken-Orta Miyosen'deki volkanizma ile eş zamanlı olarak Çan ve çevresinde karasal bitümlü şeyl, silttaşı, kumtaşı, tuf ve kömürden oluşan karasal birimlerin de çökeldiği Genç Miyosen'de volkanizmanın durduğu Pliyo-Kuvaterner'de akarsu çökelleri ile gölsel karbonatların depolandığı ifade edilmiştir.

Ediger (1990), Biga Yarımadası'nda volkanitlerle ilişkili linyit içeren sedimanter kaya birimleri palinolojik, mineralojik ve organik petrolojik metotlarla incelemiş, elde edilen palinomorflara göre kömür içeren kırıntılı kayaçların Erken-Orta Miyosen yaşında olduğunu saptamıştır.

Okay ve ark. (1990), Biga Yarımadası'nda Karakaya kompleksinin Permo-Triyas yaşta aktif kıta kenarı çökellerini temsil ettiğini, benzer yaşta, farklı havza koşullarını ve ortamları yansıtan dört tektono-stratigrafik birimlerden meydana geldiğini belirtmiştir.

MTA (1991) tarafından, 1988-1991 yılları arasında Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ile birlikte Biga Yarımadası'nda bölgesel ölçekte araştırma programı yapılmıştır. Altın potansiyeli yüksek olan Pirentepe, Halılağa, Tepeköy, Dikmen, Arlık ve Karaibrahimler'de 17 tane araştırma sondajı açılmış ve 2075 tane örnek alınarak jeokimyasal analizler yapılmıştır. Araştırmalar, Halılağa köyünün kuzeyinde Soğuluk tepede, KD-GB doğrultusunda 700 m uzunluğunda 150 m genişliğindeki silisik ve arjilik altere zon üzerine yoğunlaşmıştır. Altere zonlardan jeokimyasal analiz için örnekler toplayarak, sondaj çalışmaları (MTJC-16 ve MTJC-17) yapılmıştır. Sondajların toplam derinliği 302 m olup, MJTC-16 no'lu sondajda 13,85 m'de 0,58 g/t tenörde altın cevherleşmesi tespit etmiştir. MJTC-17 no'lu sondajda ise belirli bir altın mineralizasyonu saptanmamıştır.

Demir (1991) tarafından, Halılağa köyünde, kaolen potansiyelinin belirlemesi amacıyla Örenpiren tepenin batısında, 23,15 m derinliğinde araştırma sondajı açtırılmıştır. Sondajdan alınan karot numunelerinin analiz sonuçlarına göre ortalama majör oksit değerlerinin % 70,35 SiO<sub>2</sub>, % 17,07 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve % 1,47 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğunu saptamıştır. Sahanın ekonomik nitelik taşıdığını belirtmiştir.

Ercan ve ark. (1995), Kuzeybatı Anadolu'daki Tersiyer yaşlı volkanik kayaçalarda petrografik, jeokimyasal ve izotop çalışmaları yapmıştır. Eosen'den Üst Miyosen sonlarına kadar çeşitli evrelerde oluşan volkanik kayaları; Balıklıçeşme volkanikleri (Eosen), Çan volkanikleri (Oligosen), Kirazlı volkanikleri (Üst Oligosen), Behram volkanikleri (Alt-Orta Miyosen), Hüseyinfaki volkanikleri (Orta Miyosen) ve Ezine bazaltı (Üst Miyosen) olmak üzere altı farklı volkanik etkinlik olarak sınıflandırmıştır.

İnaner ve Nakoman (2004), Çan havzasındaki Miyosen yaşlı linyit kömürlerinin ortalama kalınlığının 21,32 m olduğunu ifade etmiştir. Çan linyit havzasının toplam işletilebilecek rezervinin 75.153.885 ton olduğunu belirtmiştir. Kimyasal analizlere göre

kömürün ortalama nem, kül, sülfür ve kalorifik değerlerinin sırası ile % 22,52, % 29,69, % 3 ve 2827 kcal/kg olduğunu saptamıştır.

Dönmez ve ark. (2005), Dededağ volkanitleri olarak tanımlanan, andezitik, riyolitik lav, piroklastiklerden oluşan Eosen yaşlı volkanitleri; Kazmalı tüf üyesi, Korudere ignimbrit üyesi ve Hacıbekirler üyesi olmak üzere üç üyeye ayırmıştır. Hacıbekirler üyesinin, Hacıbekirler köyü güneyinde altere riyolit, Etili-Hacıbekirler köyü yol ayrımında ise andezitler ile temsil edildiğini belirtmiştir.

Gürdal ve Baba (2006), Çan havzası kömürlerinin ve Çan Termik Santrali uçucu küllerinin temel özellikleri araştırmıştır. Kömürlerin geniş bir kül değişim aralığına sahip (% 4,42-36,72) olup, oldukça yüksek kükürt (% 0,64-8,10) içerdiğini belirtmiştir. Kömürlerin maseral bileşimleri ağırlıklı olarak hüminitten oluştuğunu, liptinit ve inertinit oldukça az oranlarda gözlendiğini saptamıştır. Kömürlerin mineral bileşiminin amorf madde, kuvars, pirit, jips ve smektit grubu kil olduğunu ifade etmiştir.

Bozcu ve ark. (2008), Çan-Yenice-Bayramiç linyit havzasındaki 61 adet kömür örneğini farklı analitik çalışmalarla incelemiştir. ASTM (1991) standardı, uçucu madde (kk) ve üst ısıl (o) değerlerine göre Etili bölgesindeki kömürlerin turba ve linyit, Yayaköy, Çomaklı, Yeniçeri ve Çan ilçe merkezindeki kömürlerin linyit ve alt bitümlü kömür sınıfında yer aldığını belirtmiştir. Kömür örneklerinin kükürt değerlerinin değişim aralığının % 0,3-12,22 olduğunu, kükürt form analizleri ile kükürtlerin ağırlıklı olarak organik ve piritik kaynaklı bileşenlerden oluştuğunu ifade etmiştir. Piritik oluşumların hem anoksik ortam koşullarında sülfatın indirgenmesinden, hem de havza jeolojisi gözetildiğinde volkanik kökenli malzemeden kaynaklandığını vurgulamıştır.

Gürdal (2008), Çan havzasında yüzlek veren Miyosen yaşlı kömürlerin kalite parametreleri ve iz element jeokimyasını değerlendirmiştir. Çan kömürlerinin geniş bir aralıkta değişen kül değerleri (% 4,42-36,72), yüksek kükürt içerikleri (maksimum % 8,10) ve yüksek ısıl değerleri (3870-6612 kcal/kg) ile karakterize edildiğini belirtmiştir. Kömürdeki genel olarak tüm iz elementlerin dünya kömür sınır değerleri içinde olduğunu, sadece bazı örneklerin V, As, B ve U içeriklerinin sınır değerlerinin üzerinde olduğunu ifade etmiştir.

Grieve (2009), Pirentepe (Çeldiren tepe) ve Halılağa (Kestane mevki) sahalarının porfiri ile ilişkili yüksek sülfidasyon stili Au ve Cu-Au mineralizasyonu içerdiğini belirtmiştir. Frontier Maden Şirketi'nin Pirentepe'de açtığı PD-02 no'lu araştırma

sondajında 17-38 m derinlikte 1,83 g/t altın mineralizasyonunun varlığını ifade etmiştir. Halılağa'da yapılan HD-01 no'lu araştırma sondajında ise yüzey ile 105,4 m derinlik arasında 1,03 g/t altın, % 1,03 bakır mineralizasyonu saptandığını belirtmiştir.

Yiğit (2009), Çan havzasındaki Senozoyik yaşlı volkanik kayaların mineralizasyon ve alterasyon zonları ile birlikte, birçok değerli baz-metal maden yatağını içeren ana kayalar olduğunu ifade etmiştir. Alterasyon zonlarının büyük miktarda dissemine ve boşluk dolgusu şeklinde pirit içerdiği belirtmiştir.

Gürdal ve Bozcu (2011), Çan-Etili linyit havzasında yüzlek veren Miyosen yaşlı Çan formasyonunun volkano-klastik, akarsu ve gölsel kırıntılı sedimanlardan oluştuğunu ve linyit tabakasının ortalama kalınlığının 17 m olduğunu belirtmiştir. 17 farklı lokasyondan yaptıkları örnekleme sonuçlarında kömürün sülfür içeriğinin % 0,3-12,23 aralığında, kül içeriğinin ise % 2,46-41,19 gibi geniş bir aralıkta değiştiğini saptamıştır.

Yiğit (2012), Biga Yarımadası'nda rezervi ve/veya kaynağı olan 9,18 Moz (284,2 t) altın içeren 12 maden yatağını olduğunu belirtmiştir. Bu yatakların sadece 6 tanesinin altın içeriğinin 10 tondan fazla olduğunu ifade etmiştir. Bu yataklar; Halılağa ve Tepeoba porfiri, Ağıdağı ve Kirazlı yüksek sülfidasyon tipi epitermal, Kısacık ve Şahinli düşük sülfidasyon tipi epitermal sistemlerdir. Biga Yarımadası'nda,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  jeokronolojik sonuçlarına göre porfiri sistemin 3 fazda, epitermal sistemin ise 2 fazda altın mineralizasyonu gösterdiğini belirtmiştir. En önemli mineralizasyon fazlarının 38 ile 22 My arasında geliştiğini ifade ederek, Oligosen döneminin Biga Yarımadası'ndaki ekonomik epitermal ve porfiri sistemler için özel bir önemi olduğunu vurgulamıştır.

MTA (2012), Maden Tetkik Arama Müdürlüğü ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nin 2002-2005 yılları arasında Biga Yarımadası'nda sürdürdükleri ortak projeleri kapsamında, jeolojik, jeokimyasal ve hidrojeokimyasal çalışmalar yapmıştır. Proje kapsamında, Biga Yarımadası'nın 1:100.000 ölçekli jeoloji haritası, 1:250.000 ölçekli yeraltı kaynakları ve metalojeni haritaları hazırlanmıştır. Ayrıca proje ekibi, bu çalışmalarını makaleler halinde yazıp, Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi kitabını hazırlamıştır.

SRK (2012a), SRK Danışmanlık ve Mühendislik A.Ş. tarafından, Truva Bakır Maden İşletmeleri A.Ş. (Teck Madencilik Şirketi) ve Pilot Gold A.Ş.'ne hazırlanan "Halılağa projesi ön ekonomik değerlendirme teknik raporu"nda Halılağa alterasyon sisteminin epitermal ve skarn sistemlerini içeren tüm porfiri ilişkili alterasyon türlerini gösterdiğini belirtmiştir. Propilitik alterasyon gösteren kayalarda klorit, epidot, aktinolit,

smektit, pirit ve kuvars, arjilik alterasyon gösteren kayaçlarda kaolin ve smektit, ileri arjilik alterasyon gösteren kayaçlarda kuvars ve alunite minerallerinin gözlemlendiğini ifade etmiştir. Bunlara ek olarak sahada, magmatik-hidrotermal süreçler ile oluşan üç farklı cevherleşme türü saptandığını, bunlardan; porfiri cevherleşmesinde kalkopirit, bornit, biyotit, magnetit ve kalkosit, yüksek sülfütlü epitermal cevherleşmesinde kuvars ve alunite, skarn cevherleşmesinde ise kuvars ve granat mineralleri gözlemlendiğini belirtmiştir.

## **2.2. Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Çalışmalar**

Gündüz ve ark. (2007), Çan kömür havzasında, terk edilmiş kömür ocaklarında oluşan 3 farklı AMG'nin su kimyasını incelemiştir. Düşük pH, yüksek elektriksel iletkenlik, yüksek metal-toksik element içeriği ve kırmızı rengi ile karakterize olan AMG'lerin çevredeki canlı yaşamını olumsuz etkilediğini ve bölgesel su kaynaklarını kirlettiğini belirtmiştir.

Baba ve ark. (2008), Çan havzasında özel sektör tarafından işletilmiş ve daha sonra terk edilmiş çok sayıda düşük kaliteli linyit yatağının bulunduğunu belirtmiştir. Kömürlerdeki arsenik değerlerinin havza bazında değişiminin 1,40-6413,8 ppm aralığında olduğunu ve bu değerlerin Türkiye (1,8-620 ppm) ve Dünya (0,5-80 ppm) kömür sınır değerlerinin oldukça üzerinde olduğunu ifade etmiştir. Açık işletme olarak faaliyet gösterilen küçük ve orta ölçekli kömür sahalarının hiç bir rehabilitasyon önlemi alınmadan terk edilmesi neticesinde yüzeysel drenaj ve yeraltı suyu sızması sonucu irili ufaklı göller oluştuğunu ve göllerin zaman içerisinde pirit oksidasyonuna bağlı olarak AMG'lere dönüştüğünü vurgulamıştır. Ayrıca Çan havzasındaki su kaynaklarının, jeolojik yapıya bağlı olarak farklı özellikler gösterdiği tespit etmiştir. Altere olan volkanik kayaçlardan gelen kaynak sularında alüminyum değerlerinin içme suyu için önerilen limit değerlerini aştığını saptamıştır.

Gündüz ve Baba (2008), Çan linyit havzasında küçük ölçekli maden işletmelerinin oluşturduğu depresyonlara yeraltı suyu sızıntısı birikmesi sonucuyla birçok asit AMG'nin oluştuğunu belirtmiştir. Sürdürdükleri su kalitesi izleme çalışmaları neticesinde AMG'nin pH değerlerinin 2,43-2,83 arasında, elektriksel iletkenlik değerlerinin 2810-5080  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değiştiğini ifade etmiştir. Düşük pH ve yüksek elektriksel iletkenlik değerlerine sahip göllerin, ayrıca 4274 mg/l  $\text{SO}_4$  ve 22,3 mg/l Fe içerdiğini belirterek, Al ve Mg konsantrasyonlarının da yüksek olduğunu vurgulamıştır. Bu değerlerin, AMG'lerin

çevresinde yüzlek veren kayaçlar ve kömürden kaynaklandığını, yaptıkları jeokimyasal analizler ile desteklemiştir.

Gündüz ve Baba (2009), Çan kömür havzasında oluşmuş küçük ve orta ölçekli maden işletmelerin terk edilmesi sonucunda oluşan altı adet AMG'yi incelemiştir. Yüksek asidite, düşük pH ve yüksek metal konsantrasyonlarının gözlemlendiği bu göllerin, insan ve çevre sağlığı açısından en kısa sürede rehabilitasyonunun önemli olduğunu vurgulamıştır.

Okumuşoğlu (2009), Çan ilçesi, Keçiagılı köyünde bulunan terk edilmiş kömür ocağında oluşan AMG'de su kalitesini belirlemek amacıyla limnolojik çalışmalar yapmıştır. Gölün maksimum derinliğinin 14,2 m, çevresinin 892 m, alanının 23810 m<sup>2</sup> ve hacminin ise 169224 m<sup>3</sup> olduğunu belirtmiştir. AMG'nin ortalama pH değeri 2,28, ortalama elektriksel iletkenlik değerinin 5925 µS/cm olduğunu ve çözülmüş oksijen içeriğinin 0,83 ile 6,45 mg/l arasında değiştiğini saptamıştır. Sülfatın baskın anyon olduğunu ve ortalama değerinin 5912,5 mg/l olduğunu ifade etmiştir.

Baba ve Gündüz (2010), Çan ilçesinin Kirazlı ve Balaban köylerinde yöre halkı tarafından yoğun olarak kullanılan, konum olarak birbirine 1 km'den yakın ve beslenme alanları aynı olan iki su kaynağın (Kirazlı ve Balaban kaynakları) farklı hidrojeokimyasal özellik göstermelerinin nedenlerini araştırmıştır. Kaynakların, Çan volkanitlerinin alterasyon zonları (silisik, arjilik, profillitik) ile etkileşerek yüzeye ulaştığını belirtmiştir. Kirazlı ve Balaban kaynaklarının pH değerlerinin sırası ile 3-4, 5-6 arasında değiştiğini ve Kirazlı kaynağının alüminyum konsantrasyonunun, Balaban kaynağından yaklaşık 70 kat fazla olduğunu ifade etmiştir. Kirazlı kaynağının, oksijen-18, döteryum izotoplarınca daha zenginleşmesi ve trityum izotopu değerlerinin Balaban kaynağına göre daha düşük olması nedeniyle Kirazlı kaynağının daha derin dolaşımli olup, kayaçlarla daha uzun süre temas ederek, daha düşük pH değerleri ile alüminyum, demir, kurşun gibi metallerce daha zenginleştiğini belirtmiştir.

Şanlıyüksel ve Baba (2011), Çan havzasında altere volkanik kayaçlarla kontak halinde olan linyitçe zengin sedimanter birimlerin, terk edilmiş kömür sahalarında oluşan çukurluklara yüzeysel drenajın birikmesi ile AMG'lerin oluştuğunu belirtmiştir. Bu göllerin düşük asidite ve yüksek konsantrasyonda elementler (Al, Fe, Mn, Ni vb.) içerdiğini ve göllerin yüzey sularına deşarjı sonucunda balık ölümlerinin gerçekleştiğini ifade etmiştir.



Baba ve ark. (2012), Muratlar köyü çevresindeki volkanik kayaçların altere zonlarındaki As değerlerinin 57,2-735,5 ppm aralığında değiştiğini belirtmiştir. Bu bölgedeki derin dolaşımli su kaynaklarındaki As konsantrasyonunun ise 150 ppb'ye ulaştığını belirterek, yüzlerce insanın yaşadığı bölgede içme suları açısından önlem alınmasının gerekliliğini vurgulamıştır.

Şanlıyüksel Yücel ve ark. (2012), Biga Yarımadası'nda yaygın olarak yüzlek veren Çan volkanitlerinin altere zonlarının çevresinde gelişen su kaynaklarının fizikokimyasal parametre ve element içeriklerini incelemiştir. Altere kayaçlarla temas ederek yüzeye ulaşan kaynakların asidik olduğunu ve pH değerlerinin 5'ten küçük olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca su kaynaklarının limit değerlerin üzerinde Al, Fe gibi elementler içerdiğini saptamıştır.

Yücel ve ark. (2012), Çan ilçesinde faaliyet gösteren küçük-orta ölçekli linyit işletmelerinden kaynaklanan AMG'nin 1980 yılından günümüze kadar alansal değişimlerini Landsat ve Quickbird uydu görüntüleriyle belirlemiştir. AMG'lerin mevcudiyeti ve alansal artışı ile çevresel risk taşıdığını belirtmiştir.

SRK (2012b), SRK Danışmanlık ve Mühendislik A.Ş. tarafından, Truva Bakır Maden İşletmeleri A.Ş.'nin (Teck Madencilik Şirketi) talebi üzerine "Halilağa altın ve bakır madeni işletme projesi" başlıklı nihai ÇED raporu hazırlanmıştır. Truva Bakır Maden İşletmeleri, Muratlar köyünün güneyinde toplam 17,64 ha'da yeraltı madencilik yöntemi ile altın ve bakır cevheri çıkarılmasını planlamıştır. Proje alanının hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kuyu, kaynak, sondaj gibi farklı su noktalarından fizikokimyasal parametreler ölçmüş ve kimyasal analiz için örneklemeler yapmıştır. Ayrıca 3 ayrı lokasyondan su sondajları yaparak, izleme kuyuları açmıştır.

Şanlıyüksel Yücel ve Baba (2013), Çan ilçesinde terk edilmiş kömür ocaklarında oluşan 5 AMG'nin hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla jeolojik, jeokimyasal ve hidrojeokimyasal çalışmalar yapmıştır. Çan volkanitlerinin arjilik alterasyona uğramış andezitleri ile Çan formasyonunun kömürlerin yüksek orandaki pirit içeriğinin, AMD oluşumunun temel nedeni olduğunu saptamıştır. 22 ayrı dönemde yaptıkları fizikokimyasal parametre ölçümleri ile göllerin ortalama pH değerinin 3,03, ortalama elektriksel iletkenlik değerinin ise 3831,33  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olduğunu belirtmiştir.  $\text{SO}_4$ 'ın baskın iyon olup, ortalama 2447,30 mg/l ile limit değerleri 10 kat aştığını ve ayrıca Fe, Al ve Mn konsantrasyonlarının limit değerlerin oldukça üstüne olduğunu belirtmiştir. Düşük

pH ve yüksek metal konsantrasyonuna sahip büyük hacimli su kütlelerini barındıran göllerin çevresel etkilerinin minimize edilmesinin gerektiğini vurgulamıştır.

### **2.3. Asit Maden Drenajı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar**

Tarihsel geçmişi birkaç bin yıl öncesine dayanan sülfürlü metalik madenlerin, bu zaman zarfında AMD kaynağı olarak da faaliyetini sürdürdüğü bilinmektedir. Örneğin, İspanya'nın Cadiz körfezine dökülen su sistemlerindeki düşük pH (tipik olarak 2-2,5) ve yüksek metal içeriği (Cu, Fe, Pb, Zn, Ti, Ba, Cr, V ve Co) ile kendini gösteren kirliliğin, Huelva provensindeki Rio Tinto karmaşığında (İberya Pirit Kuşağı) bulunan ve geçmişi MÖ 3000-2500 yıllarına (Bakır ve Bronz çağları) dek uzanan masif sülfür yataklarındaki madencilikten ileri geldiği öne sürülmektedir (Davis ve ark., 2000; Leblanc ve ark., 2000).

Aynı şekilde, AMD varlığına ilişkin gözlemlerin de oldukça uzun bir geçmişinin olduğu anlaşılmaktadır. AMD'nin çevresel etkileri, ilk kez, Roma İmparatorluğu döneminde gözlemlenmiştir. Ancak çok sınırlı bir alan dışında, sorunun boyutu muhtemelen önemsiz addedilmiştir (Canty ve Everett, 1999). Yine, madencilik aktiviteleri neticesinde oluşan AMD konusuna, Georgius Agricola'nın, De Re Metallica (1556) adlı eserinde değinilmiş (BCAMDTF, 1989), yanı sıra, on altıncı yüzyıl madenciliği gravürler ile detaylı olarak betimlenmiş ve akarsu tahribatı anlatılmıştır (Güneş ve Tokgöz Güneş, 2011). Öte yandan, ABD'de, kayda geçmiş ilk tespit 1698'de Gabriel Thomas tarafından yapılmış olup, kendisinin, kömür yıkama ve madenciliğine bağlı AMD kirliliğini gözlemleyip sulardaki olumsuz etkilerini rapor ettiği ifade edilmektedir (Paine 1987; Canty ve Everett, 1999). Hodge (1937), yazdığı raporda, kömür madeninden nehre sızan AMD'nin kırmızı renginin, içerdiği demir sülfat ve demir oksitlere bağlı olduğunu ve drenajın korozyon özelliği nedeniyle, su hatlarında ve barajlarda yıkıcı çevresel etkileri olabileceğini belirtmiştir.

AMD'nin su kirliliği ve içerdiği metal, askıda katı, çözünmüş katı gibi parametrelerin bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerindeki etkileri 1930'lu yılların başından beri çalışılmaktadır (Redfield, 1934; Burrows, 1977; Gough ve ark., 1979). Kömürün içerdiği yüksek sülfür oranının AMD oluşturduğunu ve canlı yaşamı üzerinde olumsuz etkilere sebep olduğunu belirtmiştir (Hyman ve Watzlaf, 1997). Pentreath (1994), yüksek asiditeye sahip, AMD'nin büyük oranda bakır, çinko, manganez, demir, arsenik ve kurşun gibi çözünmüş ağır metalleri içermesi nedeniyle canlı organizmalar için toksik olduğunu

belirtmiştir. Hallberg ve Johnson (2005), sudaki yüksek demir, alüminyum ve manganez konsantrasyonlarının hidrolizinin AMD'nin asiditesinin artmasına neden olduğunu belirtmiştir. Lee ve Chon (2006), Kore'de bulunan Daduk madenine ait atıklarından kaynaklanan ve Daduk deresine boşalan AMD'nin etkilerini araştırmış ve dere çökellerinden aldığı örneklerde yüksek konsantrasyonlarda demir, mangan, alüminyum, sülfat, çinko ve arsenik değerleri saptamıştır.

Öne çıkan birkaç sebeple, AMD diğer sorunlardan farklı değerlendirilmekte ve genel manada, madencilik sektörünün karşı karşıya kaldığı en önemli su kirliliği sorunu olarak kabul edilmektedir. Çünkü değişik tür madenlerde görülebilmekte (yaygınlık), uzak mesafelere kolayca taşınabilmekte (hareketlilik) ve etkinliğini yüzlerce, hatta binlerce yıl boyunca devam ettirebilmektedir (süreklilik). Madenciliğin geniş çaplı yapıldığı ülkelerdeki araştırmalar, bu önermenin doğruluğunu ortaya koymaktadır. Kanada Quebec'de kapatılmış 107 maden işletmesinden 21'inin asidik drenaj dolayısıyla tehlikeli atık alanı sınıfına dahil edildiği (Hossain ve ark., 1993), Avustralya'da kömür, altın ve baz metal madenlerinden oluşan 60 kadar işletmeye ait malzemenin testlerden geçirildiği ve % 40'ının asit üretecek potansiyelde olduğu (Environment Australia, 1997) öne sürülmüştür. ABD'de, yaklaşık 200.000 kadar AMD üreten saha bulunduğu (Hochella ve ark., 1999; Weber ve ark., 2005), dere ve nehirlerin yaklaşık 20000 km'sinin AMD'den etkilendiği (Skousen, 1996) belirtilmiştir.

Ayrıca, geçmişten kaynaklanan asit drenaj sahalarının iyileştirilme maliyetinin Avustralya'da 0,9 milyar A\$'nı bulacağı ve ABD'de ise 2-35 milyar US\$'ı aralığında değişebileceği tahmin edilmiştir (EPA, 1995; Stewart, 2005). Yine, Kanada'da asit üreten atıkların 12.500 ha'lık bir alan kapladığı ve asit üreten atık kayaların 750 milyon t kadar olduğu ve bunların 2-5 milyar C\$'lık yükümlülük getirdiği öne sürülmüştür (Feasby ve Tremblay, 1995 Williamson ve ark., 2006).

Fergusson ve Erickson (1988), AMD üretimini sağlayan faktörleri üç gruba ayırarak; birincil faktörlerin oksidasyon reaksiyonları gibi asit üretimi faaliyetlerini, ikincil faktörlerin nötralizasyonu ya da reaksiyona giren diğer mineralleri, üçüncül faktörlerin maden atıklarının fiziksel özelliklerini kapsadığını ifade etmiştir. Paktunç (1998), AMD'yi kontrol eden faktörleri iki gruba ayırmıştır. Bunların, kaynak faktörler; sülfürlerin ve asit nötrleştirme özelliği taşıyan minerallerin tipi, bolluğu ve dağılımı, kayacın tipi, dokusu, tane boyutu, bolluk hacmi, sıkışma ve ayrışma dereceleri, ikincil faktörler; iklim, yağış,

havanın nemi, hidrojeolojik koşullar, atık hacmi ve depolama yöntemi olduğunu belirtmiştir.

Nicholson (1994), sülfürlü minerallerin yüzey alanı ve tane boyutundaki farklılıkların nötralizasyon sürecini ve oksidasyon hızını ve AMD'nin kimyasal özelliğini etkilediğini belirtmiştir. Kontopoulos ve ark. (1996), AMD oluşum mekanizmasının çözülebilmesi için maden alanı ile birlikte yakın çevresinin jeolojisine, hidrojeolojisine, topografyasına ve iklimine ait veri tabanı oluşturulmasına ihtiyaç olduğunu vurgulamıştır. Morin ve Hutt (1997), maden alanı bileşenlerinin birbirleriyle ve çevre ile etkileşim içerisinde olduğunu, maden sahalarının açık sistemler olduğunu ve tüm ortamın fiziksel kimyasal ve biyolojik karakterinin doğru bir şekilde bilinmezse maden alanının doğru tanımlanamayacağını belirtmiştir. Evangelou (1998), piritin oksidasyon oranında; pH, Eh, piritin özgül yüzey alanı ve morfolojisi, bakterilerin ve kil minerallerin varlığı ile birlikte ayrıca hidrolojik faktörlerin de belirleyici olduğunu ifade ederek, pirit oksidasyon kinetiğini her durumda tanımlayabilecek tek bir kural olmadığını vurgulamıştır. Çiftçi ve Akçil (2006), AMD asit oluşumunun hızını etkileyen faktörlerinin; bakteriyel faaliyet, sıcaklık, pH, değişik oksidantların varlığı ( $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{3+}$  veya  $Mn^{4+}$  gibi), alkali ve tampon minerallerin varlığı (kalsitler, silikatlar vb.) olduğunu ifade etmiştir. Karadeniz (2011), Balya kurşun-çinko madeninin flotasyon artıklarının AMD oluşturma potansiyelinin derinlikle değişimini araştırmış ve AMD potansiyelinin derinlikle değişiminin maden yatağının yapısına, üretim faaliyetlerinin devamlılığına, üretim hazırlama-zenginleştirme yöntemlerinde değişikliğe gidilip gidilmediğine ve yerel koşullara bağlı olduğunu ifade etmiştir.

Balcı ve ark. (2006), biyolojik reaksiyon sonucu oluşan sülfat ve asidite miktarının, kimyasal reaksiyonlara oranla oldukça yüksek olduğunu belirterek asit maden sahalarının oluşmasında ana etkinin biyolojik reaksiyonlar olduğunu ortaya koymuştur. Balcı ve Mandernack (2008), piritin sfalerit ve galene oranla farklı bir oksidasyon mekanizması sergilediğini belirterek, sfalerit ve galen minerallerinin oksidasyonun direk olarak bakteriyel faaliyetler tarafından kontrol edildiğini saptamıştır. Balcı (2010), düşük pH koşullarında ( $pH < 3$ ), sfaleritin oksidasyonundan açığa çıkan iz metallerde bakteriyel aktivitenin etkisini deneysel yöntemlerle incelemiş, 54 gün boyunca süren deneylerde bakteri tarafından sfaleritin oksidasyonu ile yüksek sülfat (2000 mg/l) ve demir (139 mg/l) ve düşük pH (2,3) değerlerine ulaşmış ve deneysel sonuçların, sfaleritten açığa çıkan iz

metal konsantrasyonunun kontrolünde bakterilerin önemli bir rol oynadığını belirtmiştir. Balcı ve ark. (2010), asit maden sahalarının oluşumlarını anlamak, uygun rehabilitasyon model ve stratejilerini geliştirmek için bu tür sahaların oluşmasında mikrobiyal türlerin rollerinin ortaya konmasına bağlı olduğunu vurgulamıştır.

Pietsch (1979), Almanya'daki Lusatian bölgesinde, farklı büyüklüklerde ve pH değeri 4'ün altında olan 100'den fazla AMG'nin olduğunu ve çevresel risk taşıdığını belirtmiştir. Friese ve ark. (1998), Lusatian bölgesindeki 13 AMG'de yüksek konsantrasyondaki metal içeriklerinin, suyun derinliğine bağlı olarak farklı davranış sergilediğini belirtmiş, demir konsantrasyonunun derinlikle arttığını ve çözülmüş oksijenin ise derinlikle azaldığını saptamıştır. Aynı şekilde, Kwong ve Lawrence (1998), Kanada'da bulunan Yukon yöresinde yer alan AMG'de demir, sülfat ve krom konsantrasyonlarının derinlikle birlikte arttığını, çinko, alüminyum ve kobaltın ise derinlikle birlikte azaldığını belirtmiştir. Karakaş ve ark. (2003), Lusatian bölgesindeki ML111 no'lu AMG'nin fizikokimyasal parametrelerinin mevsimsel olarak değiştiğini ifade etmiştir.

Asit oluşturan minerallerin asit üretme potansiyellerinin kestiriminde kullanılan metotlar 1970'lerde (Smith ve ark., 1974) başlamış ve günümüzde de halen sahaya özel yöntemlerle devam etmektedir. AMD potansiyelinin belirlenmesi amacıyla Sobek ve ark. (1978), laboratuvar deneyleri ile Asit-Baz Hesaplama yöntemini geliştirmiştir. Miller (1996 ve 1998), statik testlerin sülfidik atıkların asit üretme potansiyeli olasılığını belirlemede hızlı ve iyi bir yöntem olduğunu vurgulamıştır. Brodie ve ark. (1991), maden atıklarının farklı mineralojik özellikleri, tane boyutu gibi birçok etmenin asit üretme potansiyelini belirlemeyi zorlaştırdığını ifade etmiştir. Birçok araştırmacı (Miller, 1996; Morin ve Hutt, 1997; White ve ark., 1999; Paktunç, 1999; Jambor, 2000, Jambor ve ark, 2003; Weber ve ark., 2004) statik testlerin belirli kabullere dayandığını belirtmiş ve statik testlerin gelişmesi için farklı alternatifler ve öneriler sunmuştur. Yörükoğlu ve Karadeniz (2003), AMD kestirim yöntemlerinin karşılaştırarak, cevher yataklarının kendine özgü nitelikler taşıması nedeniyle, yöntemlerin birbirlerine göre bazı üstünlüklerinin ve zayıflıklarının söz konusu olduğunu belirtmiştir. Downing (2007), jeokimyasal testlere başlamadan önce sahadan derlenen numunelerin madenle ilişkili jeolojik, litolojik ve altere tüm birimleri temsil etmesi ve her tip malzemenin göreceli miktarlarını ve tane boyutlarını kapsaması gerektiğini belirtmiştir. Karadeniz (2011), asit üretim potansiyelinin hesaplanması için yeni bir yöntem geliştirmiş ve pH6 yöntemini modifiye etmiştir.

Yörükoğlu ve Karadeniz (2003), statik testler ile kinetik testlerin birbirini tamamlayıcı nitelik taşıdığını ve birlikte ele alınarak elde edilen ürünlerin birlikte yorumlanması gerektiğini belirtmiştir. Morin ve Hutt (1999), nem hücrelerindeki tepkimelerin bazen 3-5 yılda ancak duraylı hale gelebileceğini, dolayısıyla, kinetik testlerde sonuç alabilmek için uzun zaman beklemek gerekebileceğini öne sürmüştür. Lottermoser (2010), kinetik testleri, statik testlerin peşi sıra başvuru alan, sülfidik atık örneklerinin havalanma ve oksidasyon gibi doğada gerçekleşen süreçlerinin laboratuvar ortamına taşınması olduğunu ifade etmiştir.

### **BÖLÜM 3**

#### **MATERYAL VE YÖNTEM**

"Asidik Su Kaynaklarının Karakteristikleri, Oluşumunu Sağlayan Faktörler ve Hidrojeokimyasal Özellikleri (Çan-Bayramiç; Biga Yarımadası Örneği)" konulu doktora tezinin hazırlanması amacıyla yapılan bu çalışma; literatür derlemesi, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları şeklinde, dört ayrı aşamada hazırlanmıştır.

#### **3.1. Literatür Derlemesi**

Literatür derlemesi, çalışma alanı ile ilgili ulusal ve uluslararası alanda yapılmış mevcut jeolojik, jeokimyasal, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmaların yanı sıra, dünyadaki AKD/AMD problemlili sahalara ait çalışmaları kapsamaktadır. Önceki çalışmaların ışığında doktora tezinin ana çatısı oluşturulmuştur.

#### **3.2. Arazi Çalışmaları**

Arazi çalışmaları 2010, 2011 ve 2012 yıllarında yapılmış olup, sahaya ait 100 km<sup>2</sup>'lik alanın 1/25.000 ölçekli jeoloji ve alterasyon haritaları hazırlanmıştır. Brunton pusulası kullanılarak alandaki kaya birimlerinden doğrultu ve eğim ölçümleri alınmış ve harita üzerine aktarılmıştır. Birimlerin en iyi gözlemlendiği yerlerden fotoğraflar çekilmiş, enine jeolojik kesitler alınmak suretiyle birimlerin genel yapısı ortaya konmuştur. Çalışma alanında yer alan litolojilerin mineralojik özelliklerini belirlemek adına jeokimyasal amaçlı kayaç ve pasa örneklemeleri yapılmıştır.

Kaynak, sondaj, keson kuyu, dere, asit maden gölü olmak üzere arazide 100'den fazla su noktası belirlenmiştir. Su noktalarında, yağışlı ve kurak dönemlerde, yerinde (kaynak başı) olmak üzere pH, redoks potansiyeli, elektriksel iletkenlik, sıcaklık ve tuzluluk gibi fizikokimyasal parametre ölçümleri yapılmış, ölçümlerde WTW 340i marka çok parametrelili ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Su noktalarında fizikokimyasal parametre ölçümleri.

Kullanılan proplar her ölçüm öncesi ve ölçüm sonrasında saf su ile yıkanarak temizlenmiş, her arazi çalışmasından önce buffer solüsyonları (çözeltiler) ile günlük kalibrasyonları yapıldıktan sonra çalıştırılmıştır.

Çalışma alanındaki AMG'lerin çevresindeki yüzey sularının pH değişimlerinin belirlenebilmesi amacıyla Mayıs 2012'de 52 farklı noktada pH ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca su kaynaklarında mevsimsel olarak debi ölçümleri yapılmıştır.

Sahadaki su örnekleme, bu çalışmanın önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Ortaya çıkabilecek laboratuvar ölçüm hataları ile laboratuvardaki analiz ve test yöntemlerinden doğabilecek hataların en aza indirilmesi için örnek sayısı ve örnekleme doğru yapılmasına dikkat edilmiştir. Suların örnekleme sırasında, sızdırmaz kapaklı 50 ve 500 ml hacimli polietilen örnekleme şişeleri kullanılmış olup, örnek kapları doldurulmadan önce örnekleme yapılacak sularla üç kez çalkalanmıştır.

Temmuz 2011 ve Şubat-Mart 2012 aylarında, uygun görülen 40 noktada, kimyasal ve izotopik çalışmalar için su örnekleme yapılmıştır. Ayrıca, Teck Madencilik Şirketi tarafından açılan su sondajları gözlem kuyuları olarak belirlenmiş ve bu kuyu sularından 4 ayrı dönemde su kimyasına yönelik örnekler alınmıştır. AMG'lerde ise 8 ayrı dönemde su kimyası örnekleme gerçekleştirilmiştir.

ICP-MS analizi için alınan su örnekleri, Milipore marka 0,45 µm gözenekli filtrelerle, 50 ml'lik kaplara filtrelenmiştir. Elementlerin dibe çökmelerini ve yüzeye tutunmalarını önlemek amacıyla, su örneklerinin pH'ını 2-3 aralığına indirmek için 0,1-0,2 ml arasında derişik yüksek saflıktaki nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ilave edilmiştir. Eklenen HNO<sub>3</sub>



ortamda gaz çıkışına sebep olduğundan, örnekleme kabının kapağı gazın çıkması sağlandıktan sonra kapatılmıştır. Filtreleme işlemi, iyon kromatografisi analizleri için alınan örneklerde de tekrarlanmış ancak, HNO<sub>3</sub> ile muameleye gerek görülmemiştir. Tüm örnekler polietilen şişelere hava kalmayacak şekilde doldurulmuş ve örnekler arazi tipi buzdolabında +4 °C'da saklanmıştır.

Tritiyum (T) analizleri için 1 l, oksijen 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve döteryum ( $\delta^2\text{H}$ ) izotopları analizleri için 50 ml'lik polietilen sızdırmaz kapaklı şişeler kullanılmıştır. İzotop analizi için alınan örneklere, ICP-MS analizi için yapılan filtreleme ya da asit ile muamele gibi işlemler uygulanmamıştır. Ayrıca kar ve yağmur sularında da izotop analizi örnekleme yapılmıştır.

Sondajlardan ve keson kuyulardan örnek alımı için, pirinç alaşımlı paslanmaz 250 ml'lik örnek alma kabı kullanılmıştır. Bu kuyulardan yeraltı su derinliği ölçümleri Eijelkamp marka 30 m uzunluğundaki kuyu düdüğü ile yapılmıştır.

Çalışma alanında yer alan AMG'lerin birinde 17-19 Temmuz 2010 tarihlerinde limnolojik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 10). Araştırmalar için, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi'nden 4 m uzunluğunda kayık temin edilmiştir. Kayık ile asit gölünün çevresi boyunca GPS kullanılarak yaklaşık 10'ar metre aralıklarla koordinatlar saptanmıştır. Bu koordinat verilerinden yararlanarak gölün çevresi ve yüzey alanı hesaplanmıştır. Ayrıca asit gölünde kayık ile aynı doğrultuda ilerlenebilmesi amacıyla, 235 m uzunluğundaki bir sicim ile GB-KD hattı oluşturulmuştur. Bu hat boyunca 15 m aralıklarla toplam 15 derinlik ölçümü gerçekleştirilmiş ve batimetri haritası hazırlanmıştır. Ayrıca, yine aynı hat boyunca 30 m aralıklarla yüzeyden ve farklı derinliklerden (-3, -6, -9 ve -12 m) su örnekleri alınmış ve yerinde fizikokimyasal parametre ölçümleri yapılmıştır. Gölde, derinliğe bağlı fizikokimyasal ölçümler ve örnekleme için 5 l kapasiteli HydroBios marka Niskin şişesi kullanılmıştır.

Arazi çalışmaları sırasında çalışma yapılan noktaların koordinatları ve yükseklik değerleri (H) Garmin 62s marka el tipi GPS ile belirlenerek 1/25.000 ölçekli topografik haritaya işlenmiştir.



Şekil 10. AMG'de yapılan limnolojik çalışmalar.

### **3.3. Laboratuvar Çalışmaları**

#### **3.3.1. Jeokimya**

Jeokimya çalışmalarında ince kesit, parlak kesit, indüklenmiş çift plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) yöntemleri uygulanmıştır.

##### **3.3.1.1. İnce kesit**

Toplanan kayaç örneklerinin ince kesitleri Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit ve Gemoloji Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. İnce kesitlerin mineralojik bileşimlerinin ve dokusal yapılarının incelenmesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde, polarizan mikroskopta gerçekleştirilmiştir. İnce kesit çalışmalarının ardından, seçilen ince kesitlerden dijital fotoğraf makinesi ile önemli doku ve mineral resimleri çekilmiştir.

##### **3.3.1.2. Parlak kesit**

Parlak kesit örneği Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit ve Gemoloji Laboratuvarı'nda el ile hazırlandıktan sonra burada, cevher mikroskobunda incelenmiş, dijital fotoğraf makinesi ile önemli doku ve mineral resimleri çekilmiştir.

**3.3.1.3. İndüklenmiş çift plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS)**

Çalışma alanında yüzlek veren sedimanter kayalardan kömür ve kilaşları ile alterasyondan etkilenmemiş volkanik kaya birimlerinden 16 adet örneğin majör oksit, iz element ve nadir toprak element analizleri ICP-MS yöntemi ile Kanada'da ACME Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

**3.3.1.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)**

SEM çekimlerinin bir kısmı İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Merkez Araştırma Laboratuvarı'nda (MAM) bir kısmı ise (çalışma yapılan dönemde İYTE MAM'daki EDX cihazının bozuk olması nedeniyle) Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Merkez Araştırma Laboratuvarı'nda (MAM) yapılmıştır. SEM öncesinde net görüntü alınabilmesi amacıyla örnekler altın ile kaplanmaktadır. Numune kaplama işlemi için İYTE'de Emitech K550X marka, ODTÜ'de ise Polaron Sputter Cooter marka cihaz kullanılmıştır. SEM çekimleri İYTE'de FEI Quanta250 FEG 250 markalı cihaz, ODTÜ'de ise Quanta 400F Field Emission SEM cihazı ile (1,2 nm çözünürlükte) yapılmıştır.

**3.3.1.5. X-Işını kırınımı (XRD)**

Çalışma sahasından alınan 18 adet sedimanter ve volkanik kayalık ve pasa örneklerinin XRD analizleri Ankara'da Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü Mineraloji Petrografi Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Numunelerin mineralojik bileşim tayinleri, Cu X-ışın tüplü Philips PW 3710/1830 XRD analiz cihazı ile yapılmış, çekimler 2,5-70° arasında gerçekleştirilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi International Centre for Diffraction (ICDD) Data PDF-2 Data Base kullanılarak karşılaştırma metodu ile yapılmıştır. XRD grafiklerinde tespit edilen mineraller, yüzde oranları şeklinde rakamsal değil, mineral adı, majör, az veya eser gibi ifadelerle verilmiştir. Mineral çoktan aza doğru sıralanarak, çizelgeler oluşturulmuştur.

**3.3.2. Su kimyası**

Su kimyası çalışmaları, majör iyon ve element analizleri ile birlikte alkalinite, asidite, toplam askıda katı madde, toplam çözünmüş katı madde ve demir tayinini kapsamaktadır.

**3.3.2.1. Majör iyon ve element analizi**

Su noktalarından, Temmuz 2011 ve Şubat-Mart 2012 aylarında alınan su örnekleri, uygun koşullarda saklanarak korunmuş ve Kanada'ya gönderilmiştir. ACME Laboratuvarları'nda ICP-ES/ICP-MS cihazı ile toplam 104 su noktasında 70 element, iyon kromatografisi cihazı ile de anyon (Cl, SO<sub>4</sub>) analizleri yapılmıştır.

**3.3.2.2. Alkalinite tayini**

Çalışma alanından derlenen su örneklerinin (pH> 4,5) bikarbonat ölçümleri, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi (ÇOMÜ) Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda titrasyon yöntemi ile yapılmıştır (Şekil 11). 0,45 µm çapında gözenekli filtreden süzülen 100 ml su numunesine 3-4 damla metiloranj indikatörü ilave edilmiş ve renk sarıdan portakal rengine dönene kadar 0,02 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile titre edilmiştir. Elde edilen sonuçlar formülde yerine yerleştirilerek hesaplama yapılmıştır.

$$\text{Alkalinite (CaCO}_3\text{mg/l)} = \frac{\text{Sarfiyat (ml)} \times \text{Normalite (H}_2\text{SO}_4) \times 50000}{\text{Örnek hacmi (ml)}}$$



Şekil 11. Alkalinite tayini.

Su noktalarından alınan toplam 67 örnekte alkalinite tayini yapılmıştır. Analizin en kısa sürede yapılması gerekmesi nedeniyle +4 °C'da muhafaza edilen örneklerin alkalinite tayinleri, arazi çalışmaları sonrasındaki 2 gün içerisinde gerçekleştirilmiştir.

### **3.3.2.3. Asidite tayini**

Asidite tayininde, 50 ml su örneğine 3-4 damla metil oranj ilave edilmiş, 0,02 N NaOH ile renk açık portakal rengine dönene kadar titrasyon yapılmış ve sarfiyat kaydedilmiştir. Elde edilen sarfiyat aşağıdaki formülde yerine konularak hesaplama yapılmış ve numunenin asiditesi tayin edilmiştir. AMG'lerde, Kasım 2011 ve Ağustos 2012 aylarında asidite tayini yapılmıştır.

$$\text{Asidite (CaCO}_3\text{mg/l)} = \frac{\text{Sarfiyat (ml)} \times \text{Normalite (NaOH)} \times 50000}{\text{Örnek hacmi (ml)}}$$

### **3.3.2.4. Toplam askıda katı madde tayini**

Toplam askıda katı madde analizinde herhangi bir reaktif kullanılmamaktadır. Sabit tartımı alınmış filtre kağıdı (0,45 µm gözenekli) filtrasyon düzeneğine yerleştirilmiştir. Çok iyi karıştırılmış 500 ml hacmindeki örnek manifold düzeneğinde süzülmüş (Şekil 12), filtre kağıdı dikkatlice pens yardımı ile alınarak alüminyum tabla üzerine konulmuş ve 103-105 °C'da 1 saat etüvde kurutulmuştur (Şekil 13). Kurutma işleminden sonra dışarıdan nem almasını önlemek amacıyla filtreler desikatöre konulmuş ve sonrasında da filtreler hassas terazide tartılmıştır. AMG'lerden Kasım 2011 ve Ağustos 2012 aylarında alınan su örneklerinde toplam askıda katı madde tayini yapılmıştır.

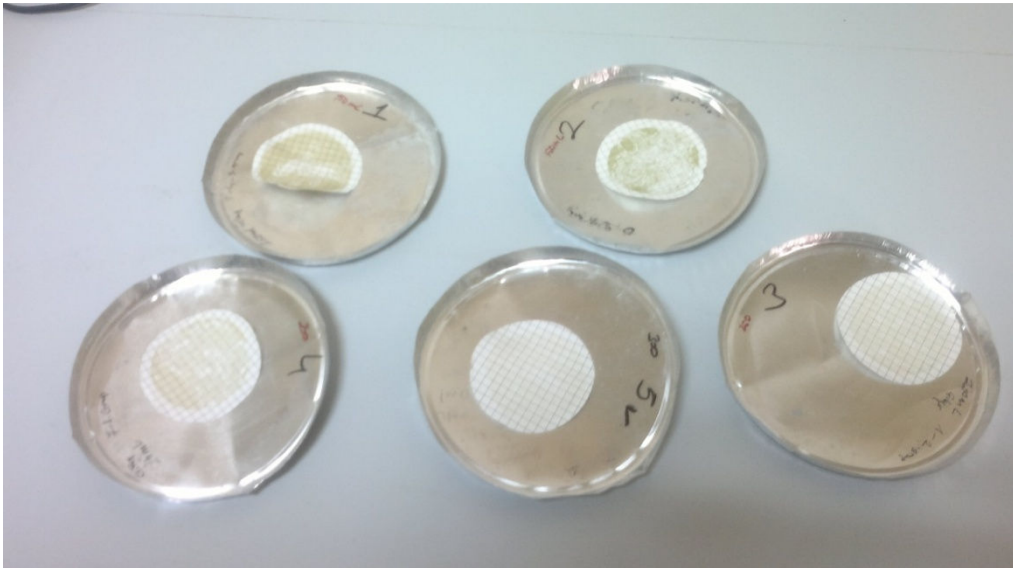
$$\text{TAKM (mg/l)} = \frac{(A - B) \times 100}{\text{Örnek hacmi (ml)}}$$

A = Filtre ağırlığı + kurutulmuş kalıntı (mg)

B = Filtre ağırlığı (mg)



Şekil 12. Vakum manifold düzeneğinde filtrelenen su örneği.



Şekil 13. 0,45 µm filtre üzerinde kalan toplam askıda katı madde.

### 3.3.2.5. Toplam çözünmüş katı madde tayini

Toplam çözünmüş katı madde analizinde herhangi bir reaktif kullanılmamaktadır. Suyun 0,45 µm filtreden geçen kısmınının 20 ml'si sabit tartımı alınmış krozelere konulmuş, doğrudan su banyosu üzerinde buharlaştırıldıktan sonra, 103-105 °C'de etüvde kurutulmuştur. Tekrar tartımları alınarak krozelerin ağırlığı belirlenmiştir. Krozelerin ilk ağırlık ölçümü ile deney sürecinden sonra ağırlık ölçümleri farkı, toplam çözünmüş

maddenin mg/l cinsinden ifadesidir (Şekil 14). AMG'lerden, Kasım 2011 ve Ağustos 2012 aylarında alınan su örneklerinde toplam çözünmüş katı madde tayini yapılmıştır.



Şekil 14. Buharlaştırma sonucunda krozelere kalan toplam çözünmüş katı madde.

### 3.3.2.6. Demir ( $Fe^{2+}$ ) tayini

Demirin yükseltgenmesini önlemek için 100 ml şişe içine 2 ml derişik HCl asit ilave edilip numune, şişeye doğrudan konulmuş ve ağzı kapalı olarak, analiz yapılmaya kadar bekletilmiştir. Asitlendirilmiş numunedan 50 ml alınarak 20 ml fenantrolin çözeltisi ve 10 ml amonyum asetat çözeltisi ilave edilerek karıştırılmıştır. Hazırlanan çözelti 100 ml'ye tamamlanmış ve 5 dakika sonra renk şiddeti DR 5000 Hach Lange spektrofometre ile ölçülmüştür. Numunenin  $Fe^{2+}$  konsantrasyonu 508 nm'de okunan absorbanans değerinin kalibrasyon eğrisi denkleminde yerine konulması ile belirlenmiştir.  $Fe^{3+}$  miktarı; toplam demir ile  $Fe^{2+}$  miktarının farkı alınarak hesaplanmıştır. Şubat ve Temmuz 2012 dönemlerinde AMG'lerden alınan su örneklerinde  $Fe^{2+}$  tayini yapılmıştır.

### 3.3.3. İzotop analizleri

İzotop analizlerini,  $\delta^{18}O$ ,  $\delta^2H$ , T, sülfatta sülfür ( $\delta^{34}S_{SO_4}$ ) ve oksijen 18 ( $\delta^{18}O_{SO_4}$ ) izotop tayinleri oluşturmaktadır.

**3.3.3.1. Oksijen 18 ve döteryum**

$\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  izotop analizleri Hacettepe Üniversitesi Karst Araştırma Merkezi'nde kütle spektrometresi ile yapılmıştır. Çalışma alanındaki toplam 40 su noktasında, Temmuz 2011 ve Şubat-Mart 2012 tarihlerinde  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  analizi yapılmıştır. Ayrıca, arazi çalışmaları sırasında Mayıs ve Aralık 2012'de yağın yağmurlardan ve Mart 2012'de yağın kardan da örnekleme yapılarak  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  analizi yaptırılmıştır.

**3.3.3.2. Tritiyum**

T analizleri, Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği A.B.D. Çevresel İzotoplar Laboratuvarı'nda Temmuz 2011 ve Şubat-Mart 2012 aylarında, 40 ayrı su noktasından alınan örneklerde yapılmıştır. Ayrıca 6.3.2012 tarihinde araziden alınan kar örneklerinde sıvı parıldama (sintilasyon) yöntemi ile T analizi gerçekleştirilmiştir.

**3.3.3.3. Sülfatta sülfür ve oksijen 18 izotopu tayini**

AMG'lerin  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$  ve  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$  analizleri için su örnekleri, 50 ml'lik polietilen kaplara 0,45  $\mu\text{m}$  filtre ile süzölmüştür. Örneklere, Merck marka % 10'luk  $\text{BaCl}_2$  eklenerek sudaki sülfat  $\text{BaSO}_4$  olarak çöktürölmüş ve saf su ile bir kaç kez yıkandıktan sonra krozelere konulmuş, 500 °C'da 1 saat kül fırınında bekletilmiştir. Krozelerin dibinde beyaz çökeltiler olarak elde edilen sülfat, spatöl yardımıyla eppendorf tüplere konularak analize gönderilmiştir.  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$  ve  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$  oranları, ABD'de Isotech Laboratuvarları'nda sürekli kütle akış spektrometresi (CF-IRMS) ile ölçölmüştür.  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$  ve  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$  değerlerinin standart sapma değeri ‰  $\pm 0,5$ 'dir. Bu çalışmada,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$  ve  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$  sonuçları  $\delta$  notasyonuna göre ifade edilmiştir.  $\delta$  notasyonu, örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$  için Standart Mean Ocean'a (SMOW) ve sülfür izotopu için Canyon Diablo Trioilit (CDT) standartlarına oranla binde (‰) cinsinden ifadesidir ve aşağıdaki formölda verilmiştir [10].

$$(\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})})_{\text{örnek}} = [(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}})_{\text{örnek}} / (\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}})_{\text{SMOW}} - 1] \times 10^3 \quad [10]$$

Ayrıca jips örneğinde  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^{34}\text{S}$ , sedimanter kayaçlar içerisinde yer alan kükürtlü seviyelerin  $\delta^{34}\text{S}$ , kömür ve volkanik kayaçtaki pirit örneklerinin  $\delta^{34}\text{S}$  izotopu analizleri Isotech Laboratuvarları'nda yapılmıştır.



### **3.3.4. Jeokimyasal statik testler**

#### **3.3.4.1. Örnek seçimi ve hazırlığı**

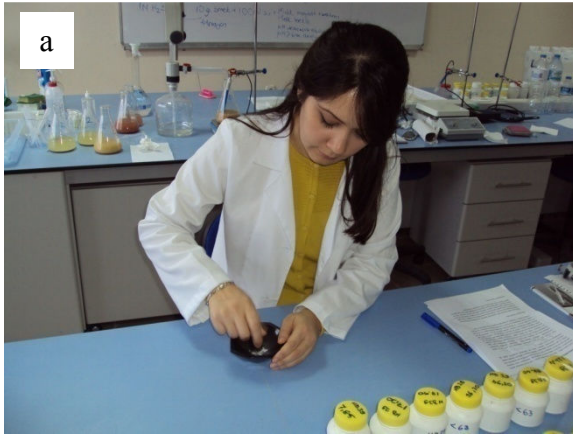
Çalışma alanında yer alan kayaçların asit üretme potansiyeli (AÜP) ve nötrleştirme potansiyellerinin (NP) belirlenmesi amacıyla örnekleme çalışmaları AMG'lerin çevresinde yüzlek veren Çan formasyonuna ait kilitaşları ve kömürlerden, kömür madenciliği faaliyetleri neticesinde oluşan pasalardan, Çan volkanitlerine ait farklı alterasyon zonlarındaki kayaçlardan yapılmıştır. Ayrıca, Teck Madencilik Şirketi tarafından işletilmesi planlanan altın-bakır madeni sahası sınırları içerisinde kalması sebebiyle HD-39 no'lu araştırma sondajının farklı derinliklerinden de örnekler alınmıştır. Karot örnekleri Teck Madencilik Şirketi'nden temin edilmiştir.

Jeokimyasal statik testler Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Maden Yatakları ve Jeokimya Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Karot ve kayaç örnekleri Jeotest marka çeneli kırıcı ile toz haline getirilmiştir (Şekil 15). Bu işlem sırasında herhangi bir karışma olmaması için her örnekten sonra çeneli kırıcı saf su ile temizlenmiştir. Toz haline gelen örneklerin her biri agat el havanında öğütülmüştür. Örneklerin, statik test prosedüründe istenilen tane boyutuna getirilmesi için elek analizinde shaker ile 10 dk x 3 kez çalkalanmıştır. (Şekil 16 a ve b).

Jeokimyasal statik testler kapsamında "Standart asit baz hesaplama" ve "pH6 testi" ile "Net asit üretme" testi yapılmıştır. Ayrıca, örnekler üzerinde, minerallerin suyla ilk teması ile gösterecekleri davranışı temel alan "çamur pH'ı" testi de yapılmıştır.



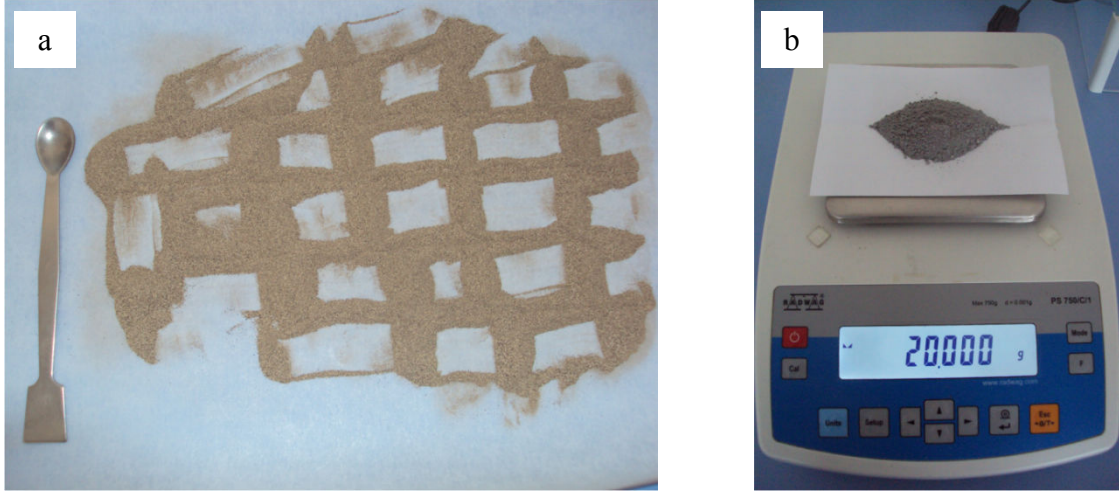
Şekil 15. Çeneli kırıcı ile örneklerin tane boyutunun küçültülmesi.



Şekil 16. Örneklerin a. agat havanda öğütülmesi b. Elenmesi.

#### 3.3.4.2. Çamur pH'ı

Çamur pH'ı testi öncesinde, tane boyu 1 mm'den küçük olacak şekilde örnekler hazırlanmıştır. Örnekler, test için ince bir tabaka halinde yağlı kağıt üzerine yayılmış ve homojen olması için karelejlanmış (Şekil 17 a), spatül ve tartım cihazı yardımı ile 20 g olarak hazırlanmıştır (Şekil 17 b).



Şekil 17 a. Çamur pH'ı testi için örneğin karelajlanması b. Örneğin tartımı.

Hazırlanan 20 g'lık numuneler 50 ml'lik behere alınmıştır. Dijital büret yardımıyla, numunenin ağırlığı kadar (20 ml) ultra saf su eklenerek, cam baget ile 10 sn süresince karıştırılmıştır. Buharlaşmaya bağlı su kaybının ölçümde sorun çıkarabileceği dikkate alınarak, beherin üstü ilk bir saatlik süre boyunca saat camı, daha sonrası için parafilm ile kapatılmıştır. İlk ölçüm 10. dk yapılmış, peşi sıra 20. dk, 1. sa, 24. sa, 48. sa, 1. hafta, 2. hafta ve 3. haftada ölçüm tekrarlanmıştır. Her ölçümden sonra, ortama oksijen sağlayarak tepkimelerin devam edebilmesini sağlamak adına, çözelti 10 sn kadar karıştırılmıştır. Her ölçümde pH, sıcaklık, redoks potansiyeli, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk parametreleri ölçülmüştür. Üçüncü haftanın sonunda deney sona erdirilmiştir (Şekil 18).



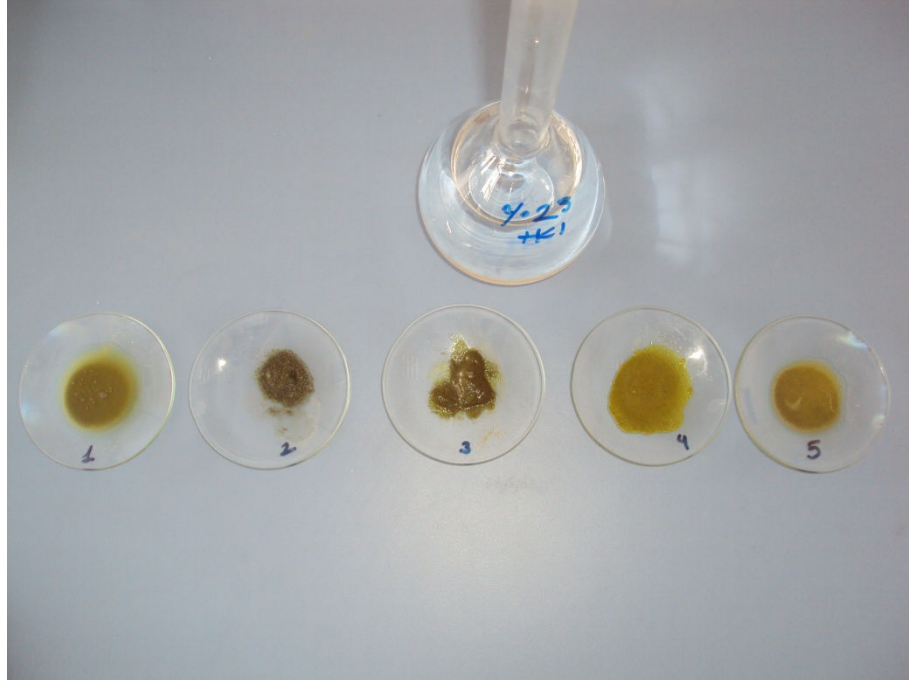
Şekil 18. Çamur pH'ının ölçümü.

#### 3.3.4.3. Standart asit baz hesaplama (ABH) testi

Standart ABH testi öncesinde örneklerin tane boyutu 250  $\mu\text{m}$  olacak şekilde hazırlanmıştır. Ardından, malzeme ince bir tabaka halinde yayılıp karelajlanmış ve bir spatül ve tartım cihazı yardımıyla 0,5 ve 2'şer g'lık fişirdama testi ve deney numuneleri alınmıştır.

Fişirdama, asitle çözeltiye alma ve geri titrasyon testlerinde kullanılmak üzere 0,1, 0,5 M ve % 25'lik HCl'in yanı sıra 0,1 ve 0,5 M NaOH çözeltileri hazırlanmıştır. Çözelti hazırlamada Merck marka asit ve baz kullanılmıştır.

İlk aşamada, deneylerde kullanılacak asidin hacim ve molaritesini, buna bağlı olarak da bazın molaritesini saptamak için fişirdama testi uygulanmıştır. Teste tabi tutulacak numuneden 0,5 g miktarında bir örnek alınıp saat camı üzerine konulmuş ve ardından birkaç damla % 25'lik HCl damlatılmak suretiyle, asitle muamele edilmiştir (Şekil 19). Asit çözeltisi numune ile temas ettiğinde gelişen tepkimelerle oluşan kabarcıkların yoğunluğu ve büyüklüğü izlenmiş ve Çizelge 4'ten o numunenin testinde kullanılacak asidin uygun hacim ve molaritesi belirlenmiştir.



Şekil 19. % 25'lik HCl ile muamele edilen örnekler.

Çizelge 4. Fıırdama testi için asit miktar ve Şiddetinin belirlenmesi (Sobek ve ark., 1978; Noll ve ark., 1988; Sobek ve ark., 1996; Karadeniz, 2011)

Fıırdama hızı	Gözlem	Asit miktarı (ml)	Asit Şiddeti (M)
Yok	Tepkime yok	20	0,1
Hafif	Çok az tepkime, saniyede birkaç baloncuktan çok sayıda küçük baloncuđu kadar	40	0,1
Orta Őiddette	Küçük sıçramayla beraber aktif baloncuklaşma	40	0,5
Kuvvetli	Esaslı sıçramalar içeren son derece aktif baloncuklaşma	80	0,5

Fıırdama testleri tamamlanınca, numunelerin NP değerlerinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Önce 2 g'lık numune 250 ml'lik geniş ağızlı bir erlene alınıp üzerine, o numune için çizelgeden saptanan miktar ve molaritede asit ilave edilmiştir. Ardından, erlen ısıtılarak sıcaklığı 85 °C'a sabitlenen su banyosuna yerleştirilmiş ve 5'er dakika

aralıklarla çalkalanmıştır. Erlen, en az 2 saat veya tepkime tamamlanıncaya (baloncuklaşma veya gaz çıkışı duruncaya) değin su banyosunda tutulmuştur (Şekil 20). Sonrasında, toplam hacim 125 ml olacak biçimde saf su eklenip, çözelti 1 dakika kadar daha su banyosunda bekletilmiştir. Ortam sıcaklığının biraz üzerinde bir sıcaklığa geldiğinde (~28-30 °C), erlenin ağzı kendi kapağı ile sıkıca kapatılıp, ortam sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan çözelti, malzemenin muamele edildiği asit şiddetindeki NaOH çözeltisi ile dijital büret vasıtasıyla pH 7'ye geri titre edilerek ve o noktada en az 60 saniye sabit kalıncaya kadar sürdürülmüş ve test tamamlanmıştır (Şekil 21). Her numune için en az iki paralel deney yapılmıştır.



Şekil 20. Standart ABH deneyinde sıcak su banyosunda bekletilen örnekler.



Şekil 21. Standart ABH deneyinde NaOH ile örneklerin pH'ın 7'ye titrasyonu.

Hesaplama aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$NP = \frac{50 \times [(a_M \times v_A) - (a_B \times v_B)]}{n_A}$$

NP: Nötrleştirme potansiyeli, kg CaCO<sub>3</sub>/t

a<sub>M</sub>: asidin molaritesi, M

b<sub>M</sub>: bazın molaritesi, M

v<sub>A</sub>: ilave edilen asidin hacmi, ml

v<sub>B</sub>: ilave edilen bazın hacmi, ml

n<sub>A</sub>: numune ağırlığı, g'dır.

#### 3.3.4.4. pH6 testi

pH6 testi öncesinde, malzemenin en az % 70'i 45 µm tane boyutuna indirilmiştir. Tartımları alınarak, 10'ar g'lık ağırlığa ulaşacak biçimde hazırlanmıştır. Bu deney yönteminde ultra deiyonize saf su haricinde kullanılan tek kimyasal H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'dir. Deneyler için 1 N'lik çözelti hazırlanmıştır. Çözelti hazırlamada Merck marka asit kullanılmıştır.

Öğütülerek istenen boyuta getirilen numune 600 ml'lik behere alınmış ve üzerine 100 ml ultra saf su eklenmiştir. Hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcı ile 15 dk kadar karıştırılıp çökmeye bırakılmıştır (Şekil 22). Katı kısmın çökmesi için 15 dk beklenmiş ardından çözeltinin başlangıç pH'ı ve sıcaklığı ölçülüp kaydedilmiştir. Sonrasında 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilavesiyle titrasyona başlanmış ve işlem pH yaklaşık 6'ya ulaşıp sabitleninceye dek sürdürülmüştür. Her numune için en az iki paralel deney yapılmıştır.



Şekil 22. pH6 deneyinde manyetik karıştırıcılarla karıştırılan örnekler.

Hesaplama aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$NP = \frac{49 \times v_A \times a_N}{n_A}$$

NP: numunenin nötrleşme potansiyeli, kg CaCO<sub>3</sub>/t

v<sub>A</sub>: ilave edilen H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> asit miktarı, ml

a<sub>N</sub>: kullanılan asidin normalitesi, N

n<sub>A</sub>: testte kullanılan numunenin ağırlığı, g'dır.



**3.3.4.5. Net asit üretme (NAÜ) testi**

Tane boyutu 75 µm olarak hazırlanan numuneler, ince bir tabaka halinde bir yağlı kağıt üzerine yayılmış ve karelajlanmış ve bir spatül ve tartım cihazı yardımıyla 2,5 g'lık numuneler olarak hazırlanmıştır.

NAÜ testinde % 15'lik H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 0,1 M NaOH ve 0,5 M NaOH çözeltileri kullanılmıştır. Deney için kullanılan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin pH'ının 4-7 arasında olması gerektiği belirtilmekte olup, eğer pH < 4 ise pH 4-6 aralığında bir değere ulaşmaya kadar seyreltik NaOH (1000 ml deiyonize suda 1 g NaOH çözündürülerek hazırlanmış, 0,025 M) ilavesi önerilmektedir (Mills, 2007). Bu durum dikkate alınarak testlere başlamadan önce H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çözeltilisinin pH ve sıcaklık değeri ölçülmüş ve 17,8 °C'de 3,25 olarak kaydedilmiştir. Dijital büret yardımı ile 5 ml 0,025 M NaOH eklenerek pH değeri 4,65'e çıkarılmıştır.

2,5 g olarak hazırlanan numune erlene konulmuş üzerine 250 ml % 15'lik H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eklenmiş, erlenin ağzı da saat camıyla kapatılmıştır. Çeker ocak altına bırakılan çözelti, iki saatten az olmamak üzere, tepkimeler devam ettiği sürece (kabarcıklaşma veya gaz çıkışı görülmeyinceye kadar) bekletilmiş (Şekil 23), sonrasında sıcaklığı 70 °C olan su banyosuna yerleştirilmiştir. Isıl işlemin sebebi, peroksidin fazlasını uzaklaştırmak ve numune bünyesinde mevcut nötrleştirme yeteneğini açığa çıkarmaktır (Stewart ve ark., 2006). En az iki saat süreyle ya da tepkimeler bitene kadar banyoda tutulan çözelti, ardından su banyosundan çıkarılıp soğumaya terk edilmiştir. Ortam sıcaklığına inen çözeltinin NaOH ile titrasyonu öncesinde, sıcaklık ve pH'ı ölçülmüştür. Miller ve ark. (1997), çözelti pH'ı 2,5'dan büyükse 0,1 M NaOH, 2,5 veya daha küçükse 0,5 M NaOH tercih edilmesi gerektiğini belirtmiştir. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gibi serbest asitten kaynaklanan asiditeyi, serbest kalan Fe ve Al'u saptamak için önce pH 4,5'e titre edilmiş, pH 4,5-7,0 aralığında iken hidroksitler halinde çöken Cu ve Zn gibi metalik iyonları hesaplamak amacıyla da pH 7,0'ye kadar titrasyon sürdürülmüştür.



Şekil 23. Çeker ocakta bekleyen çözeltiler.

Hesaplama aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$NAÜ = \frac{49 \times v_B \times b_M}{n_A}$$

NAÜ: net asit üretimi, kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/t

v<sub>B</sub>: ilave edilen bazın hacmi, ml

b<sub>M</sub>: bazın molaritesi, M

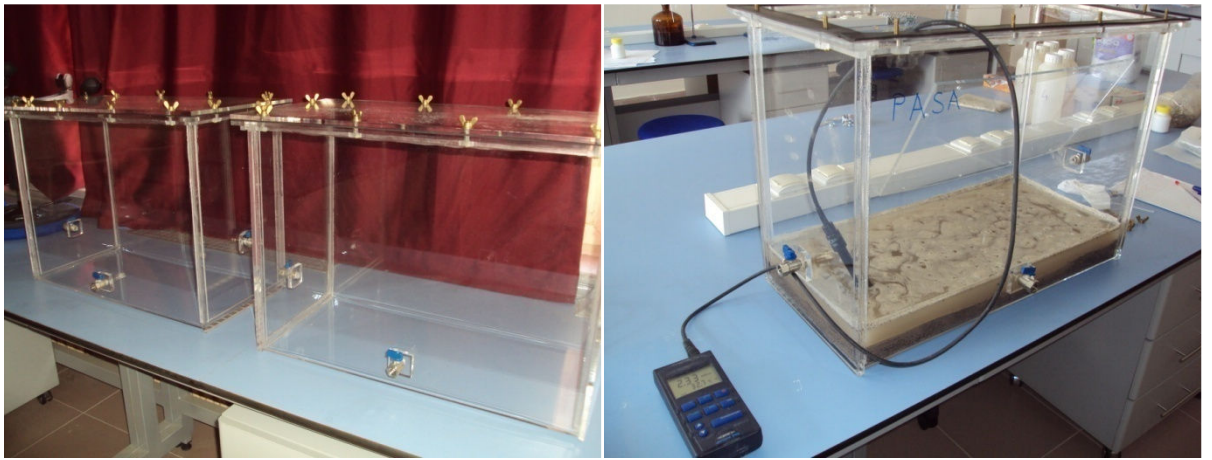
n<sub>A</sub>: testte kullanılan numunenin ağırlığı, g'dır.

### 3.3.5. Deney havuzu

Deney havuzuna yerleştirilecek örneklerin tane boyutunun saptanması amacıyla, AMG'lerin çevresindeki pasa örneklerinde TS 1900-1 standardına göre tane boyut dağılımı analizi yapılmıştır. Örnekler öncelikle tartılmış, 24 saat 105 °C'da etüvde kurutulmuştur. Kurutulan numune tekrar tartılmış ve pasanın nem içeriği belirlenmiştir. Daha sonra, kendinden daha büyük tanelerin üzerine yapışan kil+silt tanelerini numunedan uzaklaştırmak için 200 no'lu elekten (tane açıklığı 125 µm) yıkanarak elenmiş ve ardından

elek üstünde kalan ıslak numune tekrar kurutulmuştur (24 saat 105 °C). Kuruyan numune ertesi gün eleklerden elenerek tane boyutu dağılım grafikleri hazırlanmıştır.

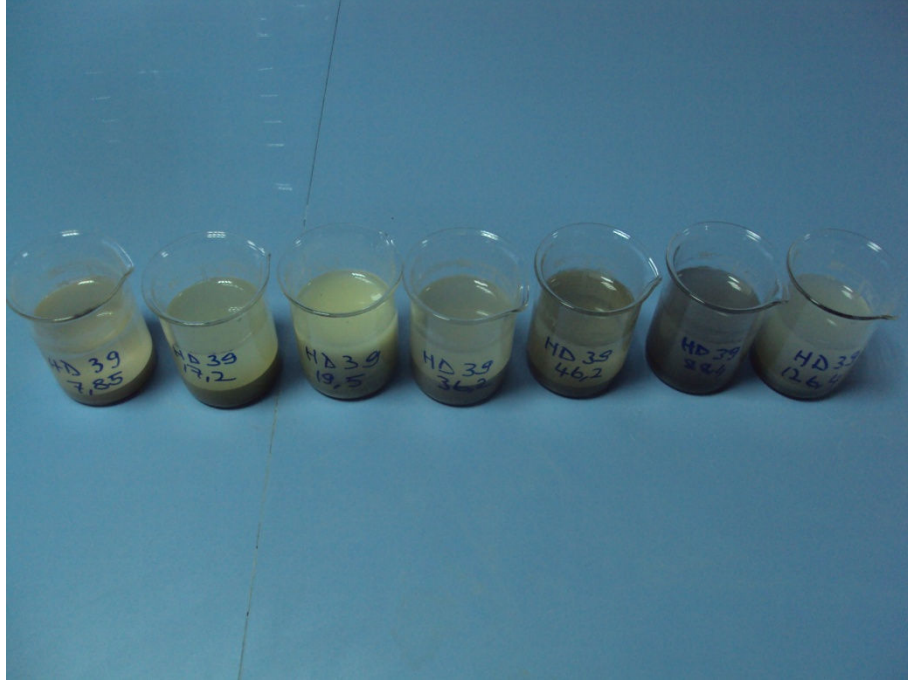
Boyutları 30 x 45 x 60 cm olan deney havuzları plexiglas malzemeden özel olarak yaptırılmıştır (Şekil 24). 2 no'lu asit gölünün çevresinden alınan pasa örnekleri elek seti ile tane boyu 2 mm'den daha ince tane olacak şekilde, örnek hacmi ise 4 kg olarak hazırlanmıştır. 4 kg pasa üzerine 8 l ultra saf su ilave edilmiş ve 30.07.2012 tarihi ile 06.11.2012 tarihleri arasında düzenli olarak her gün fizikokimyasal parametre ölçümleri yapılmış, renk değişimi takip edilmiş ve her hafta kimyasal analizler için örnekler alınmış böylelikle su haftada bir 50 ml saf su ilavesi ile sirküle ettirilmiştir.



Şekil 24. Deney havuzunun görünümü.

### 3.3.6. Temas sızıntı testi

Teck Madencilik Şirketi'ne ait HD-39 no'lu araştırma sondajının 7 ayrı derinliğinden alınan karot örnekleri modifiye US EPA 1312 standardına göre temas sızıntı testine tabi tutulmuştur. Testte, kayaç örnekleri 24 saat süreyle 3:1 sıvı/katı oranı (25 g örnek, 75 ml ultra saf su) ultra deiyonize su muamele edilmiştir (Şekil 25). 24 saatin sonunda 0,45 µm filtre ile süzülen örnekler analiz için ACME Laboratuvarı'na gönderilmiştir. Elde edilen su kimyası analiz sonuçları uluslararası standartlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 25. HD-39 no'lu araştırma sondajına ait farklı derinliklerde uygulanan temas sızıntı testi örnekleri.

### **3.4. Büro Çalışmaları**

Arazi çalışmaları ile elde edilen jeolojik verilerin coğrafi bilgi sistemi (CBS) ortamına aktarılmasında ve raster haritaların sayısallaştırılmasında MapInfo Professional 11.0 yazılımı kullanılmıştır. Su ağı, yerler (mahalle, köy, mevki, tepe vb.) belirlenmesinde 1/25.000 ölçekli raster paftalar kullanılmıştır. Bu bilgiler de sayısallaştırılarak CBS ortamına aktarılmıştır. Vektör verilerin projeksiyon dönüşümleri MapInfo Professional 11.0 ve GlobalMapper 12 programlarında yapılmıştır. Tüm veriler ArcGIS 9.3 programında birleştirilip görselleştirildikten sonra basılı harita haline getirilmiştir.

Akarsu ağı ve havza sınırları belirlenmesinde ise ArcHydro GIS, su noktalarının bazı kimyasal sonuçlarının grafiklendirilmesinde Microsoft Excel 2010 ve su kimyası (Piper ve Schoeller) diyagramlarının çiziminde ise AquaChem 4.0 programı kullanılmıştır. Arazide çekilen litolojilerin fotoğrafları ve ince kesit fotoğraflarının hazırlanmasında CorelDRAW X5 programı kullanılmıştır.

Çalışma alanındaki Çan volkanik kayaçlarından alınan örneklerin jeokimyasal analiz sonuçları Mineralogical and Petrological Data Processing System (Minpet) Versiyon 2.02 programında değerlendirilmiştir.

AMG'lerin yıllar bazında alansal değişiminin ve madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla 1977, 1985, 1987, 1999, 2003, 2008 ve 2011 yıllarına ait uydu görüntüleri üzerinde çalışılmıştır. 2000 yılı öncesine ait veriler Landsat uydu görüntüleri, 2000 yılından sonraki veriler için ise yüksek çözünürlüklü Quickbird-2 ve Worldview-1 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Landsat görüntüleri, U.S. Geological Survey (USGS)den sağlanmış, Quickbird-2 ve Worldview-1 görüntüleri ise NİK Sistemden satın alınmıştır. Uydu görüntülerinin geometrik düzeltme işlemleri ENVI 5.0 programında yapılmıştır. Bu işlemde sonra uydu görüntüleri ArcGIS 9.3 yazılımına aktarılarak üst üste çakıştırılmıştır. İncelenen yıllara ait uydu görüntülerinde bulunan AMG'lerin sınırları sayısallaştırılarak vektör veri formatında alanları çizilmiştir. Bu şekilde AMG'lerin farklı yıllara göre sınırlarındaki (çevre ve alan) değişimler saptanmıştır. Ayrıca 2011 yılı uydu görüntüsü üzerinde kömür madenciliği faaliyetleri ile oluşan pasaların alanı hesaplanmıştır.

Önceki çalışmalar, arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları sırasında elde edilen tüm veriler ışığında oluşturulan harita, kimyasal analiz sonuçları ve diyagramlar büro çalışmalarında birlikte değerlendirilerek doktora tezi hazırlanmıştır.

**BÖLÜM 4****ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA**

Bu doktora tezi kapsamında araştırma bulguları ve tartışma bölümü, altı ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar sırasıyla i) jeoloji, ii) jeokimya, iii) hidrojeoloji, iv) hidrojeokimya, v) asit maden drenajının kestirimi ve vi) tartışma alt bölümleridir.

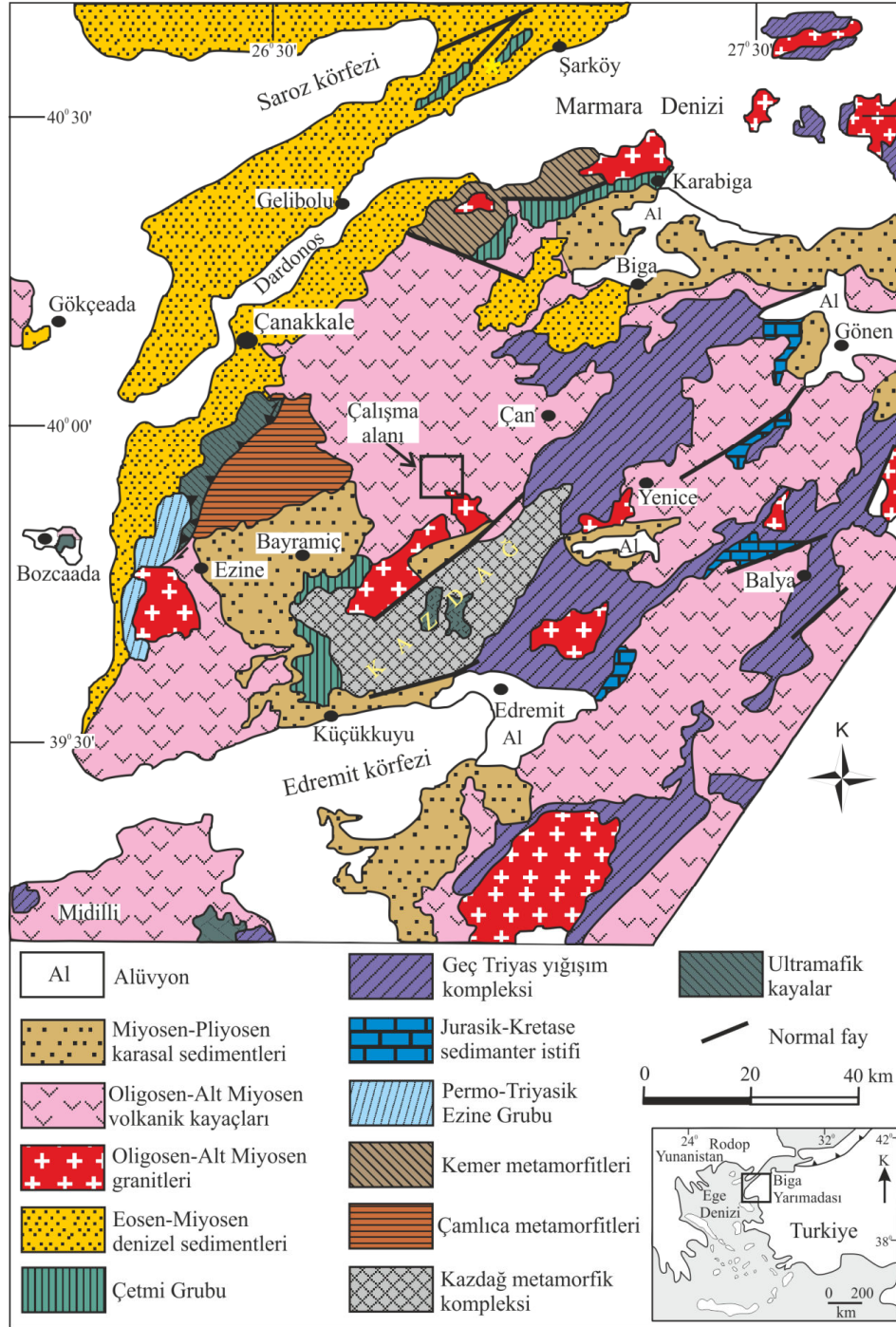
**4.1. Jeoloji****4.1.1. Bölgesel jeoloji**

Biga Yarımadası'nın temelini Kazdağ grubu metamorfikleri ile bu metamorfikler üzerinde tektonik ilişkili Karakaya kompleksi birimleri ve Triyas sonrası yaşlı çökeller oluşturur (Okay ve ark., 1990) (Şekil 26). Bingöl (1968; 1969) tarafından, metadümit, metaharzburjit, metagabro, piroksenit, amfibol, gnays, şist, mermer ve bunların epimetamorfik karşılıklarından oluşan birimler Kazdağ grubu olarak tanımlanmıştır. Kazdağ grubu metamorfikleri güneyde Edremit körfezi ile kuzeyde Yenice-Bayramiç arasında uzanan Kazdağ'ın merkezi kesimlerinde yüzeleyen yüksek derecede metamorfik kayalar ile temsil edilir (Duru ve ark., 2012).

Kazdağ grubu metamorfik kayaları üzerine tektonik dokanaklı olarak Karakaya formasyonu kaya birimleri gelir. Bu birimler, başlıca spilitik bazalt, diyabaz, gabro, çamurtaşları, çört ve radyolaritlerle girikli feldspatlı kumtaşı, kuvarsit, konglomera ve siltaşı araldanmasından oluşur (Bingöl ve ark., 1973). Aynı birim, Okay ve ark. (1990) tarafından, Karakaya kompleksi olarak tanımlanmış, değişik havza koşulları ve tektonik ortamlar dikkate alınarak dört tektonostratigrafik birime ayrılmıştır. Bunlar Nilüfer birimi, Hodul birimi, Orhanlar grovakı ve Çal birimidir. Duru ve ark. (2012) tarafından, Karakaya kompleksi içerisinde formasyon mertebesinde ayrılabilir farklı türde litolojilerin yer aldığı belirtilmiştir.

Kazdağ grubu ve Karakaya kompleksi üzerinde yüzeleyen Üst Kretase yaşlı karmaşık, Okay ve ark. (1990) tarafından, Çetmi ofiyolitik melanji olarak adlandırılmıştır. Çetmi ofiyolitik melanji, ofiyolitik kayalardan daha çok, farklı kökendeki kayaların tektonik dilim veya olistostrom şeklinde karışık halde bir arada bulunduğu bir topluluktur

(Duru ve ark., 2012). Birim başlıca spilit, grovak, kireçtaşı, pelajik şeyller, radyolarit ve serpantin bloklarından oluşmaktadır (Okay, 1990).



Şekil 26. Biga Yarımadası'nın genelleştirilmiş jeoloji haritası ve çalışma alanının konumu (Okay ve Satır, 2000).

Biga Yarımadası'nda, Mesozoyik yaşlı birimler üzerine Paleosen yaşlı birimler gelir. Bu birimler, Biga ilçesinin hemen batısında pelajik kireçtaşı, kalsitürbidit, moloz akıntısı, grovak, bazalt ve çok sayıda iri kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır (Yıkılmaz ve ark., 2002). Bu birimler üzerine uyumsuzlukla Eosen yaşlı birimler gelmektedir. Eosen yaşlı birimler tabanda çakıltaşı ile başlar, sonra kumtaşı, silttaşı, tuf ve aglomeralar ile devam eder; detritik kireçtaşları ve resifal kireçtaşları ile son bulur (Ergül ve ark., 1984).

Biga Yarımadası'nda Alt Eosen'den itibaren etkin olmaya başlayan Tersiyer volkanizması çeşitli evrelerde Üst Miyosen sonlarına kadar sürmüştür (Ercan ve ark., 1995). Alt Oligosen'den itibaren bölge tamamen kara haline gelmiş ve oluşan havzalarda kömürlü düzeyler içeren karasal Neojen çökelleri gelişmiştir. Akarsu ve göl ortamlarında gelişen çökeller genellikle; çakıltaşı, kumtaşı, kiltası ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bölgede etkin olan volkanizmayla girik istifler şeklinde gözlenir. Çan ve civarında işletilebilir büyüklükte kömür yatakları gelişmiştir. Bölgedeki karasal sedimanter istif Oligosen-Miyosen yaş aralığında çökelmiştir (Hazarfen, 1976).

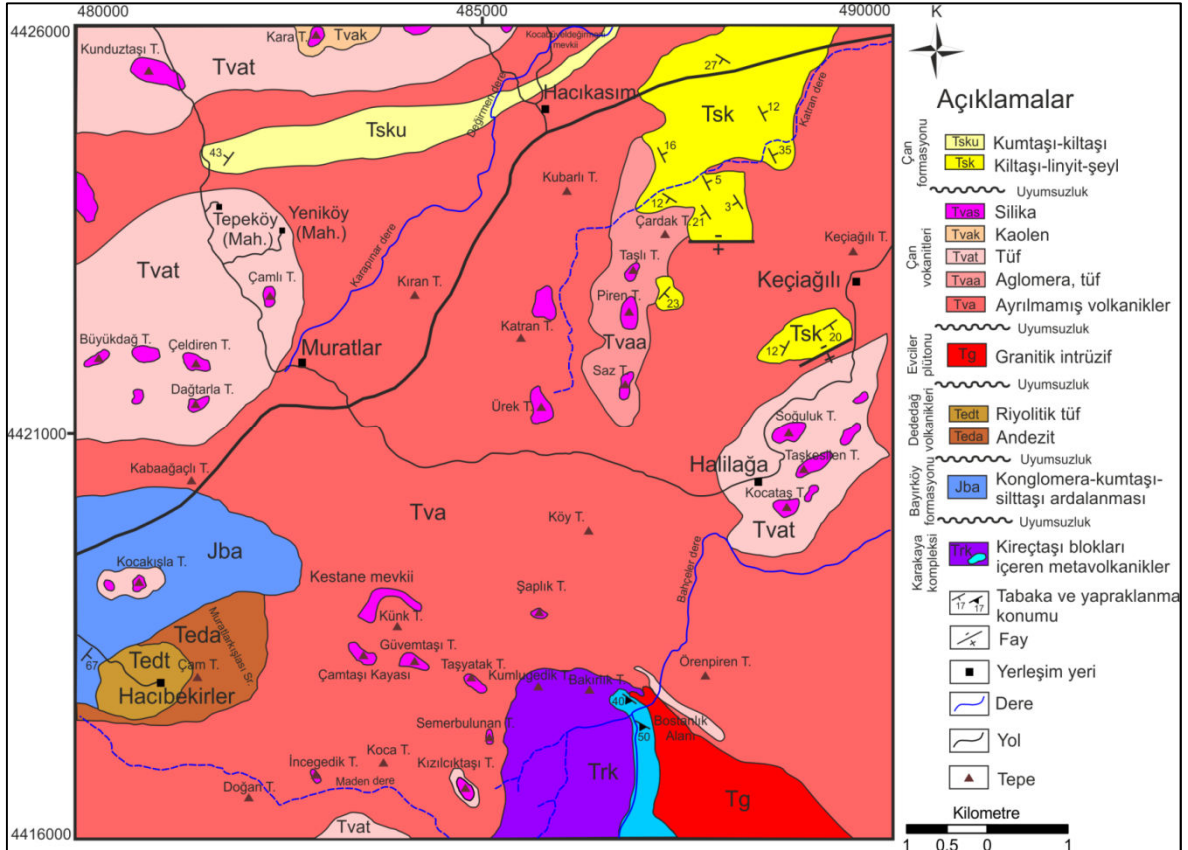
Bölgedeki kalkalkalen magmatizmasına bağlı olarak genellikle granodiyorit bileşimli sığ sokulumlar Biga Yarımadası'nın tüm birimlerine intrüzif olarak sokulum yapmıştır ve bu kayaçların K-Ar, Rb-Sr ya da U-Pb yaşları 53 ile 21 My arasında değişmektedir (Bingöl ve ark., 1973; Fytikas ve ark., 1976; Birkle ve Satır, 1995; Delaloye ve Bingöl, 2000; Okay ve Satır, 2000; Beccaletto ve Steiner, 2005; Beccaletto ve ark., 2007; Altunkaynak ve Genç, 2008; Karacık ve ark., 2008; Şengün, 2011). Bunlar arasında yaşı izotopik olarak; Kapıdağ granitoyidi 42-36 My (Delaloye ve Bingöl, 2000), Eybek 23-31 My (Bingöl ve ark., 1982), Nevruz-Çakıroba 24 My (Anıl ve ark., 1989), Karabiga  $36,1 \pm 0,8$  (Delaloye ve Bingöl, 2000), Kestanbol 28 My (Fytikas ve ark., 1976) granodiyoritleri Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşlarını vermektedir.

Geç Miyosen'de volkanizma etkinliğini kaybetmiştir. Biga Yarımadası'nda genç fay zonları boyunca yükselmiş ve Taştepe bazaltı olarak adlanmış olan Pliyo-Kuvaterner yaşlı genç lavlar da bulunmaktadır. Bölgede Pliyo-Kuvaterner'de çakıltaşı, kumtaşı ve şeyllerden oluşan flüviyal çökeller ile göl sel karbonatlar oluşmuşlardır (Ercan, 1996). Siyako ve ark. (1989) tarafından, Bayramiç formasyonu olarak adlandırılan bu birimler kendinden yaşlı kayaçlar üzerine uyumsuz olarak yerleştiği belirtilmiştir. Biga Yarımadası Kuzey Anadolu fayının güney kollarının etkisiyle günümüzdeki morfolojisini kazanmıştır.



## 4.1.2. Çalışma alanının jeolojisi

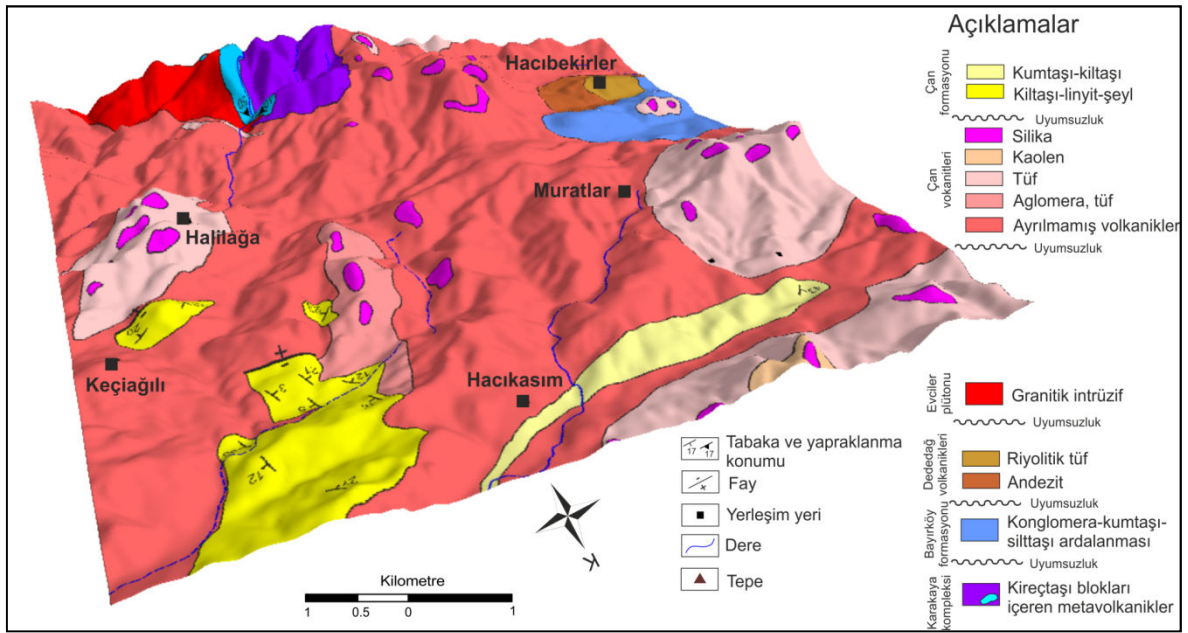
Çalışma alanında yüzeylenen kayalar; saha gözlemleri, mineralojik ve petrografik incelemeler ve önceki araştırmaların bulguları da dikkate alınarak altı farklı litostratigrafi birimine ayrılmıştır (Şekil 27). Bunlar Karakaya kompleksi, Bayırköy formasyonu, Dededağ volkanitleri, Evciler plütону, Çan volkanitleri ve Çan formasyonudur.



Şekil 27. Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli genel jeoloji haritası.

Çalışma alanındaki temel kaya birimlerini, sahanın güney kesimlerinde yüzlek veren Triyas yaşlı Karakaya kompleksine (Okay ve ark., 1990) ait kireçtaşı blokları içeren metavolkanik kayalar oluşturur (Şekil 28). Karakaya kompleksine ait birimler üzerinde uyumsuzlukla Jura yaşlı Bayırköy formasyonu (Bingöl ve ark., 1975) gelir. Hacibekirler köyü çevresinde yüzlek veren Eosen yaşlı Dededağ volkanitleri (Dönmez ve ark., 2005) Bayırköy formasyonuna ait birimleri keserek yerleşmiştir. Çalışma alanının güneydoğusunda yüzlek veren Geç Oligosen- Erken Miyosen yaşlı granit, granodiyorit ve kuvars diyorit bileşimde olan Evciler plütону (Öngen, 1978) Karakaya kompleksine ve

Bayırköy formasyonuna ait birimleri kesmiştir. Alttaki birimler üzerinde andezit, andezitik tüften oluşan Oligosen yaşlı Çan volkanitleri (Ercan ve ark., 1995) kendisinden yaşlı birimleri kesmiştir ve bu birimler üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Çalışma alanındaki en genç birim olan, içerisinde linyit bulunduran kırıntılı ve gösel çökellerden oluşan Erken-Orta Miyosen yaşlı Çan formasyonu (Hezarfen, 1976) Çan volkanitleri üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. İnceleme alanında yüzlek veren kayaların jeolojik özellikleri aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 28. Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli 3 boyutlu genel jeoloji haritası.

#### 4.1.2.1. Karakaya kompleksi (Trk)

Biga Yarımadası'nda Permo-Karbonifer yaşlı egzotik kireçtaşı blokları kapsayan hafif metamorfizma geçirmiş, Erken Triyas yaşlı çakıltıtaşı feldspatlı kumtaşı, kuvarsit, siltaşı, çamurtaşı, spilitik bazalt ve diyabaz karmaşığı litolojilerinden oluşan birim ilk kez Bingöl (1968) tarafından Karakaya serisi daha sonra da Karakaya formasyonu (Bingöl ve ark., 1973) olarak tanımlanmıştır. Okay ve ark. (1990) tarafından, birim içerisindeki farklı birimlerin birbirinden farklı havza ve/veya ortam özellikleri göstermesi nedeniyle Karakaya formasyonuna Karakaya kompleksi adlanması yapılmıştır. Bu çalışmada Okay ve ark. (1990)'nın adlanması kullanılmıştır. Jeoloji haritasında Trk simgesiyle gösterilmiştir.

Karakaya kompleksi kuzey Anadolu'da batıdan doğuya, Ege Denizi'nden İran'a kadar yaklaşık 1100 km dağılımı olan bir dalma-batma-eklenme kompleksidir (Pickett ve Robertson, 2004). Biga Yarımadası'nda Karakaya kompleksinin tip lokalitesi Zeytinli köyünün (i17 c3) kuzeydoğusundaki Karakaya mevkiidir (Duru ve ark., 2012). Okay ve Göncüoğlu (2004), Karakaya kompleksini şiddetlice deforme olmuş, kısmen metamorfizma geçirmiş Permiyen ve Triyas yaşta klastik ve volkanik serilerden oluştuğunu belirtmiştir. Kompleksin stratigrafik konumuna göre yaşının en geç Permiyen (Culfiyen)-Orta Triyas aralığında olduğu saptanmıştır (Duru ve ark., 2012). Karakaya kompleksine ait birimlerin oluşum ortamları değerlendirildiğinde, kompleksin jeodinamik açıdan hareketli olan sığ-derin denizel ortamda çökelen kayaçlar içermektedir. Bu sedimanter kayaçlar içerisinde yer yer volkanik kayaçlar ile değişik köken ve farklı yaşlarda bloklar yer almaktadır (Duru ve ark., 2012).

Çalışma alanının güney kesiminde temeli teşkil eden metavolkanik kayalar Karakaya kompleksinin düşük dereceli metamorfik kayalarını oluşturmaktadır. Birim, Leylek tepe, Kumlugedik tepe ve Bakırlık tepe çevresinde yüzlek vermektedir. Karakaya kompleksine ait metalavlar, düşük derecede deformasyona uğramış olup, dış yüzeyi kahverengi, taze yüzeyi yeşil renklidir, zayıf sistroziteli yapı göstermektedir (Şekil 29).

Karakaya kompleksi içerisinde değişik boyutlarda olistolitler şeklinde Karbonifer-Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları yer almaktadır (Duru ve ark., 2012). Rekrystalize kireçtaşı blokları çalışma alanının güneyinde bulunan Bakırlık tepenin güneydoğusunda yüzeylenmiştir. Kireçtaşları, metavolkaniklerin içerisinde koyu gri, siyah renkli, çoğunlukla mikritik ince taneli olup, bazı kısımları ise sparitik iri taneli ve masiftir (Şekil 30).



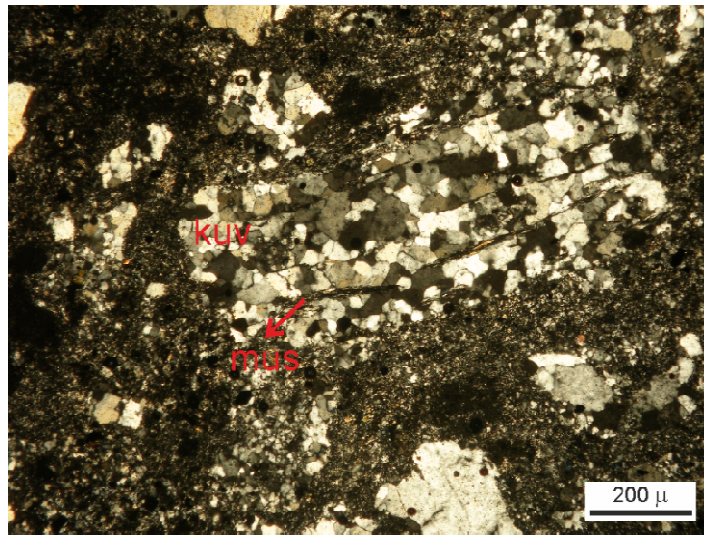
Şekil 29. Metalavların görünümü (Koordinat: 485889-4416534, bakış yönü: B'dan D'ya).



Şekil 30. Rekristalize kireçtaşının görünümü (Koordinat: 486719-4417490).

**4.1.2.1.1. Karakaya kompleksinin petrografik özellikleri*****Metalav***

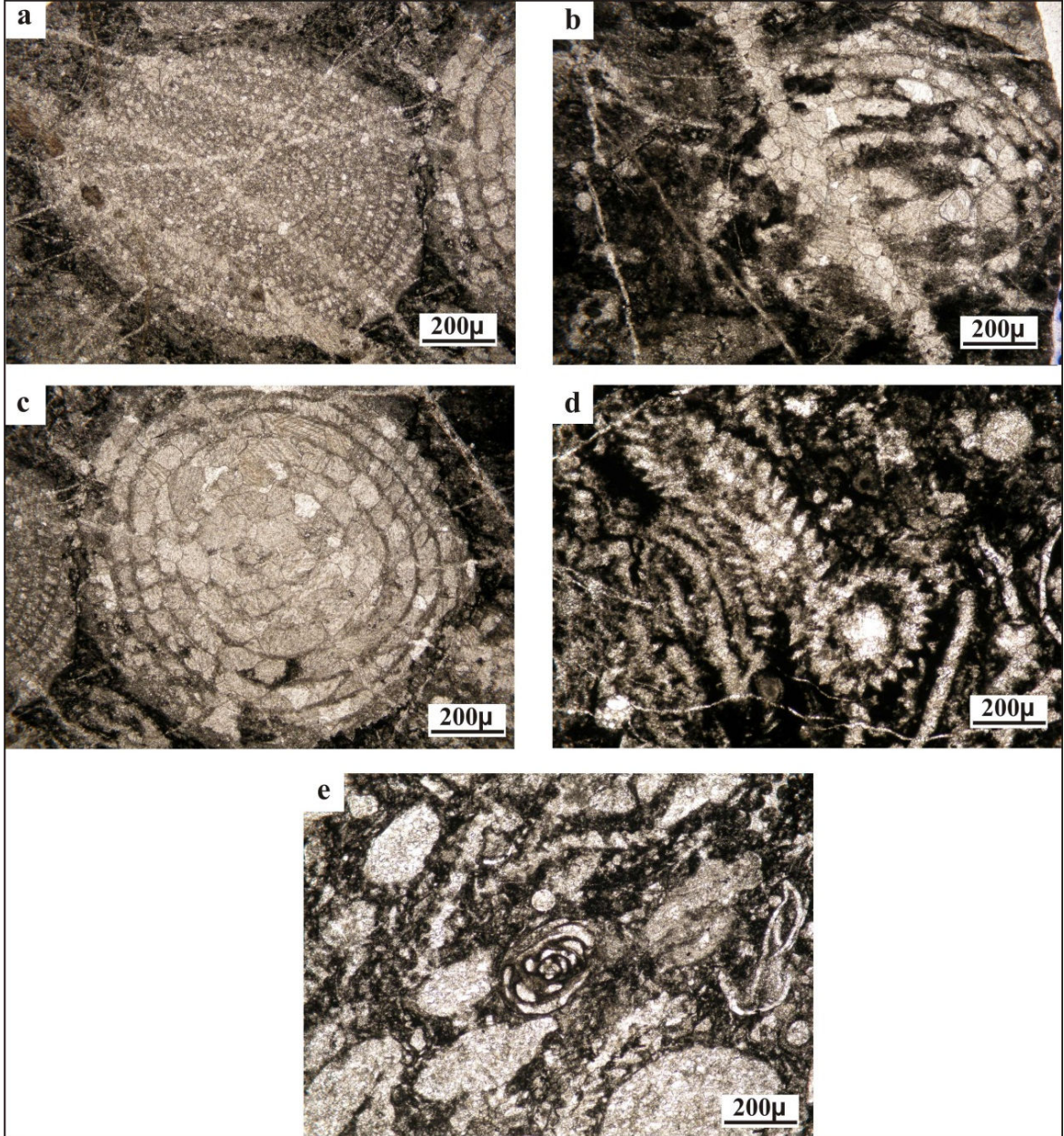
Metalavların genel mineral bileşimleri kuvars+ epidot+ amfibol (tremolit-aktinolit)+ opak minerallerden oluşmaktadır. Az yönlenmeli, bol miktarda ezilmiş dalgalı sönmeli kuvarslar hakimdir (Şekil 31). Camsı hamuru silisleşmiş olup kuvarslar özşekilsiz ve polikristalin özelliklidir. Opak minerallerden biri dissemine pirittir. Amfibol mineralleri soluk yeşil pleokroizma göstermektedir. Kayaç kataklastik deformasyona uğramıştır. Matriks devitrifiye olmuş, matriks içerisinde yer yer epidotlaşma gözlenmiştir.



Şekil 31. Yönlenme gösteren kuvars mineralleri arasındaki muskovit bantları (Çift nikol, kuv: kuvars, mus: muskovit).

***Rekristalize kireçtaşları***

Bostanlık alanının kuzeybatısındaki terk edilmiş rekristalize kireçtaşı ocağından alınan çok sayıda örnekte Orta Permian (Vordiyen-Kapitaniyen) yaşlı *Neoschwagerina*, *Staffella sp.*, *Verbeekina sp.*, *Gymnocodium sp.*, *Baisalina sp.* fosilleri saptanmıştır (Şekil 32 a; b; c; d; e). Fosil tanımlamaları Prof. Dr. Demir Altınar tarafından yapılmıştır. Saptanan yaş, Duru ve ark. (2012)'nin saptadığı yaş tanımlamalarıyla uyumludur.



Şekil 32. Rekristalize kireçtaşlarında saptanan fosiller a. *Neoschwagerina*, b. *Staffella sp.*, c. *Verbeekina sp.*, d. *Gymnocodium sp.*, e. *Baisalina sp.* (Koordinat: 486719-4417490).

#### 4.1.2.2. Bayırköy formasyonu (Jba)

Çalışma alanında Karakaya kompleksine ait birimler üzerinde uyumsuzlukla Bayırköy formasyonu yüzlek vermektedir. İçerisinde metakuvars ve metavolkanik parçalar içeren, yeşil renkte kloritleşmiş matriksli konglomeralarla, kumtaşları ve kilttaşlarının arдалandığı Erken Jura yaşlı birim, ilk kez Bilecik yöresinde Granit ve Tintant (1960)

tarafından Bayırköy kumtaşı olarak adlandırılmıştır. Altınlı (1973), birimi Bayırköy formasyonu olarak tanımlamıştır (Duru ve ark., 2012). Okay (1988), Bayırköy formasyonun kalınlığının on metre ile yüz metre arasında değiştiğini belirtmiştir. Formasyon, jeoloji haritasında Jba simgesiyle gösterilmiştir.

Çalışma alanının güneybatısında Çan-Bayramiç karayolunda, Hacıbekirler köyü yol sapağı ve çevresinde gözlenen formasyon, tabanda konglomerayla başlar, üstte doğru kumtaşı ve silttaşı ardalanmasıyla devam eder. Konglomera, koyu sarı, yeşil ve kahve renkli orta-kalın katmanlı, kötü boylanmalı olup, karbonattan oluşmuş bir çimentoya sahiptir. Konglomeralar, kloritleşmiş matriksli, 1-3 mm'den 2-3 cm'ye kadar değişen yuvarlak ve yer yer köşeli metakuvars, metavolkanik parçalar ve çört taneleri içeren polimiktik konglomeralardır. Tane boyutlarının küçülmesi ile litoloji kumtaşlarına dereceli olarak geçmektedir. Hacıbekirler köyü yol sapağında konglomeralarla kumtaşları arasında faylı bir ilişki saptanmıştır (Şekil 33). Konglomeralarda tabaka düzlemlerinin belirgin olmamasına rağmen aşınma yüzeyleri ile tabaka durumu belirlenebilmiştir. Kumtaşları, kahve ve yeşil renk tonlarında, orta-kalın katmanlı ve kötü boylanmalıdır. Üst seviyelere doğru silttaşlarına geçiş gösterir. Silttaşları kıvılcak-kahve renkli, ince taneli ve az dayanımlıdır (Şekil 34).



Şekil 33. Bayırköy formasyonuna ait konglomeralarla kumtaşlarının faylı ilişkisi (Koordinat: 480384-4419714, bakış yönü: B'dan D'ya).



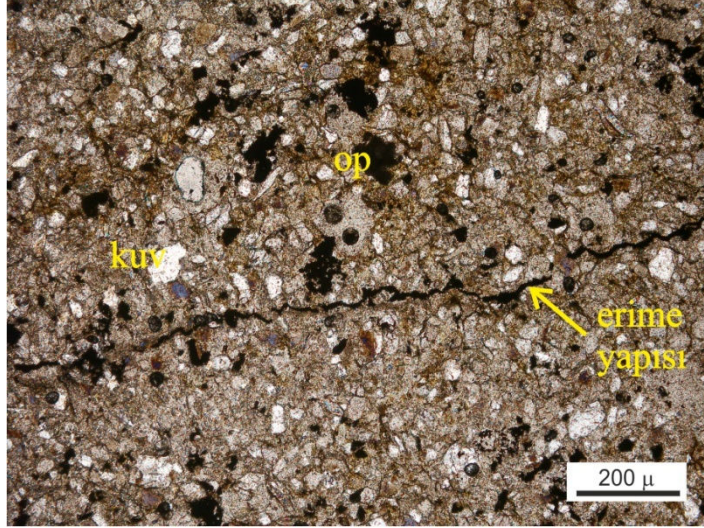
Şekil 34. Bayırköy formasyonuna ait silttaşlarının görünümü (Koordinat: 480232-4419656).

#### **4.1.2.2.1. Bayırköy formasyonunun petrografik özellikleri**

##### ***Silttaşı***

Bayırköy formasyonuna ait silttaşları kuvars+ muskovit+ biyotit+ opak minerallerden oluşmaktadır. Kayaç ince taneli havan dokusu göstermektedir (Şekil 35). Silisifiye çimentoludur. Bazı kuvars kristalleri polikristalli kuvars şeklindedir. Basınç ve sıcaklık etkisiyle opak minerallerde erimeler oluşmuş, eriyikler iki farklı litoloji sınırında stiolitik yapıların gelişmesine neden olmuştur. Stiolitler demir çimento ile dolmuştur. Biyotitler çift nikolde ince, çubuksu ve kahve renklidir. Muskovitler ise çift nikolde ince, çubuksu ve mavimsi yeşil girişim renklerine sahip olup, çoğunlukla biyotit ile birlikte bulunmaktadır. Bazı muskovit ve biyotitler klorite dönüşmüştür.





Şekil 35. Siltaşının dokusu ve stiolit erime yapısı (Çift nikol, kuv: kuvars, op: opak mineral).

#### 4.1.2.3. Dededağ volkanitleri (Ted)

Andezitik riyoitik lav ve piroklastiklerden oluşan kayaçlar Dededağ volkanitleri olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Birim Doyran volkanitleri (Siyako ve ark., 1989) ve Ercan ve ark. (1995) tarafından tanımlanan Oligosen volkanitlerinin bir bölümü ile eşdeğerdir (Genç ve ark., 2012). Dededağ volkanitleri, Korudere ignimbrit üyesi, Kazmalı tuf üyesi ve Hacıbekirler üyesi olmak üzere 3 üyeye ayrılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Dönmez ve ark. (2005), Dededağ volkanitlerinin Hacıbekirler köyü güneyinde tuf, Etili-Hacıbekirler köyü yol ayrımında ise andezitlerle temsil edildiğini belirtmiştir. Birim, jeoloji haritasında Ted simgesiyle gösterilmiştir.

Çalışma alanının güneybatı kesiminde yer alan Hacıbekirler köyü ve çevresinde Dededağ volkanitlerinin Hacıbekirler üyesi yüzeylenmektedir. Köy girişinde açık sarı, krem renkli riyoitik tüfler içerisinde yer yer silika damarları gözlenmiştir (Şekil 36). Muratlarkışlası sırtında ve Çam tepe çevresinde ise Dededağ volkanitlerine ait yeşil renkli andezitler yüzlek vermektedir (Şekil 37).



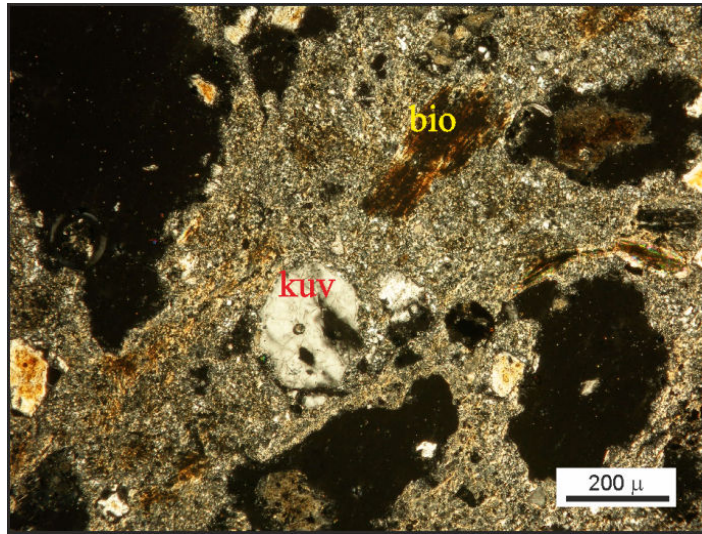
Şekil 36. Riyolitik tüf içerisinde gözlenen silika damarı (Koordinat: 480422-4418166, bakış yönü: KB'dan GD'ya).



Şekil 37. Yeşil renkli andezitlerinin görünümü (Koordinat: 481764-4418035, bakış yönü: GD'dan KB'ya).

**4.1.2.3.1. Dededağ volkanitlerinin petrografik özellikleri*****Riyolitik Tuf***

Hacıbekirler köyü girişinden alınan riyolitik tuf örneği, fenokristaller halinde kuvars+ plajiyoklas+ biyotit+ opak minerallerden oluşmaktadır (Şekil 38). Matriksi ileri derece altere olmuştur. Kayaçta çok fazla killeşme ve demiroksit alterasyonu vardır. Özşekilli amfibol kristalleri de dahil olmak üzere FeO'li alterasyon nedeni ile opaklaşmışlardır.



Şekil 38. Riyolitik tüfte gözlenen kuvars ve kısmen opaklaşmış biyotit kristali (Çift nikol, kuv: kuvars, bio: biyotit).

***Andezit***

Dönmez ve ark. (2005), Dededağ volkanitleri içerisinde gözlenen andezitik kayaçların yeşil renkli, iri ve özşekilsiz feldspatlı olup, hipokristalin porfirik ve seriate dokulu olduğunu belirtmiştir. Mineralojik bileşiminde ise plajiyoklas, biyotit, kuvars, apatit, zirkon, rutil ve çeşitli opak mineraller saptanmıştır. Kayaçta ikincil mineral olarak kalsit, klorit, kuvars, serizit, epidot ve turmalin gözlenmektedir. Hamur ince taneli altere feldspat taneleri, devitrifiye volkan camı ve diğer ikincil minerallerden oluşmaktadır (Dönmez ve ark., 2005).

**4.1.2.4. Evciler plütönu (Tg)**

Granit, granodiyorit, kuvarslı diyorit bileşimindeki plütönik kayalar Öngen (1978) tarafından “Evciler plütönu” olarak tanımlanmıştır. Granit, kuvars monzonit ve kuvars monzodiyoritten oluşan Evciler plütönu Üst Oligosen-Alt Miyosen yaş aralığındadır (Birkle ve Satır, 1995; Yılmaz ve ark., 2001; Yiğit, 2012). Genç (1998)'e göre plütönu, BGB-DKD uzanımlı yaklaşık olarak 180 km<sup>2</sup>lik bir alanı kapsayan eliptik bir kütledir. Evciler plütönu için, Birkle ve ve Satır (1995) Rb/Sr yöntemi ile biyotit minerali üzerinde yaklaşık 25 ± 0,3 My, Delaloye ve Bingöl (2000) K/Ar yöntemi ile biyotit minerali üzerinde 26,4 ± 0,6 My ile 36,0 ± 1,4 My arasında değişen yaşlar saptamıştır.

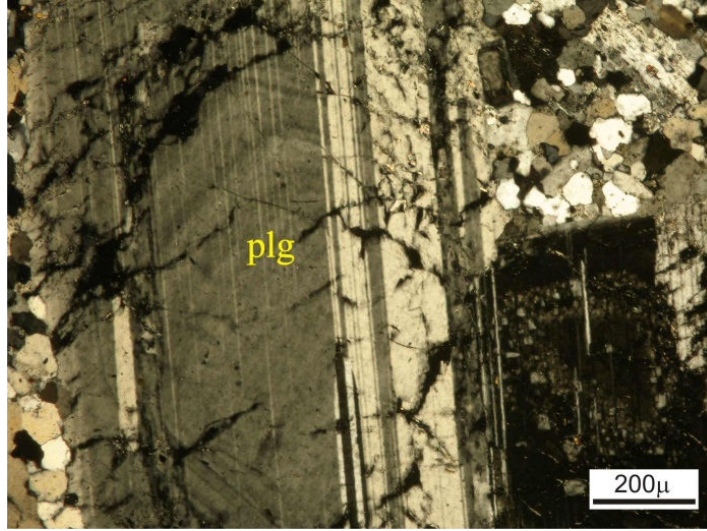
Evciler plütönu çalışma alanının güney kesimlerinde, Bostanlılık alanı mevki ve güney ve güneybatısında yüzeylenir. Plütönu, çalışma alanında temel kaya olarak tanımlanan metavolkanikler ile bu metamorfiklerin içerisinde bulunan kireçtaşı bloklarını kesmektedir. Granitlerin taze yüzeyi beyazımsı gri, ayrışma rengi bozumsu gridir. Makroskobik görünümünde biyotit, iri kuvars ve feldspat mineralleri porfiritik dokuludur. Granit yer yer arenalaşmıştır (Şekil 39).



Şekil 39. Arenalaşmış granitin görünümü (Koordinat: 487622-4416879, bakış yönü KD'dan GB'ya).

**4.1.2.4.1. Evciler plütonunun petrografik özellikleri*****Granit***

Çalışma alanında yüzlek veren granitlerin genel mineral bileşimleri ortoklas+ plajioklas+ biyotit+ kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Ortoklaslarda kaolinleşme, plajioklaslarda ise serisitleşme görülmektedir (Şekil 40). Kuvars kristalleri özşekilsiz ve monokristalen kuvars şeklindedir.



Şekil 40. Kısmen serisitleşmiş albit ikizli plajioklas kristallerinin görünümü (Çift nikol, plg: plajioklas).

**4.1.2.5. Çan volkanitleri (Tv)**

Çan volkanitleri ilk kez Ercan ve ark. (1995) tarafından tanımlanmıştır. Bu volkanitler literatürde Krushensky (1976) tarafından tanımlanan Hallaçlar formasyonu ve Dönmez ve ark. (2005) tarafından tanımlanan Hallaçlar volkanitlerinin eş değeridir. Bu volkanitlerin bir çok mostrası aşırı alterasyona uğramış olup arazide beyaz, sarı, kahverengi ve kırmızı renkleri ile dikkat çekmektedir (Genç ve ark., 2012). Ercan ve ark. (1995), birimin Gökçeada'daki yüzleklerinden aldıkları numunelerde K/Ar yöntemiyle yapılan radyometrik yaş tayini sonucu  $30,4 \pm 0,7$  ve  $34,3 \pm 1,2$  My yaş saptamışlardır. Krushensky (1976) tarafından yapılan radyometrik yaşlandırma 23,6 milyon yıl, Genç ve ark. (2012) ise andezit bileşimli kayaç örneğinden K/Ar yöntemi ile yaptıkları yaşlandırma  $26,5 \pm 1,1$  milyon yıllık yaş tespit etmişlerdir. Batı Anadolu'daki zengin

cevher yataklarının yer aldığı bu volkanizma Geç Oligosen'de etkin olmaya başlamış, Erken Miyosen'e kadar etkinliğini sürdürmüştür (Genç ve ark., 2012).

Çan volkanitleri çalışma alanının büyük bir bölümünü (yaklaşık % 75'ini) kaplamaktadır. Volkanik birimler dokanak ilişkileri ve litolojik farklılıkları göz önüne alınarak ayrışma ürünleri ile birlikte 5 litostratigrafi birimine ayrılmıştır. Bu birimler; andezit, andezitik tüf, trakiandezitik, dasitik bileşimli lav, andezit, dasitik bileşimli aglomera, bunların alterasyon ürünleridir. Volkanitler, çoğunlukla hidrotermal alterasyona uğramış, bunun sonucunda kayalar kloritleşmiş, killeşmiş ve silisleşmiştir. Birim, jeoloji haritasında Tv simgesi ile gösterilmiştir.

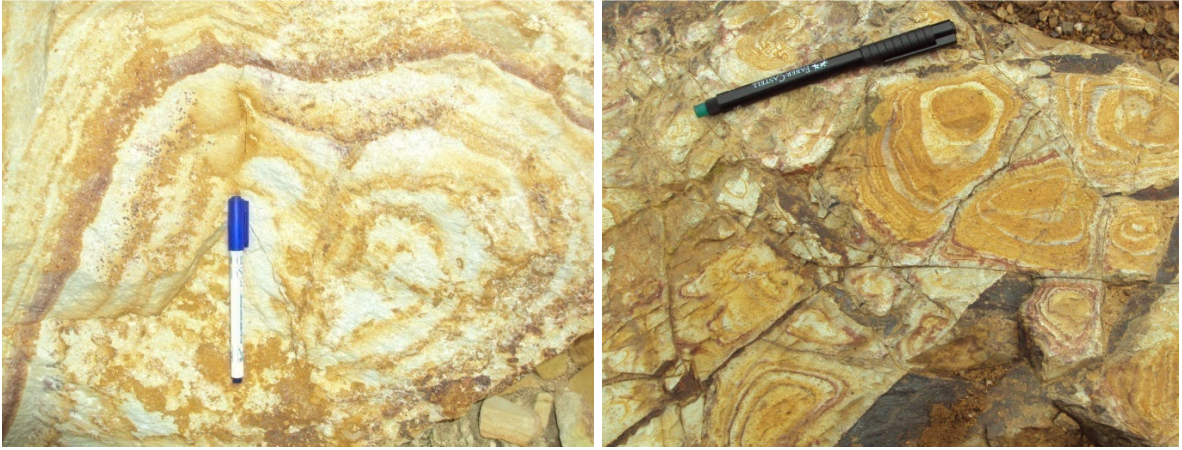
Ayrılmamış volkanitler; gri, yeşilimsi, bordomsu kahverenginde olup, çoğunlukla masif, düzenli eklem ve çatlaklara sahip akma düzlemleri gösteren yaygın olarak andezit, ender olarak da trakiandezit, dasit ve bazalt bileşimindedir. Keçiagılı köyü çevresi ve kuzeyinde, Muratlar köyü güneyinde yaygın olarak yüzeylenmektedir. Masif, yer yer bol miktarda düzenli eklem ve çatlaklara sahip akma düzlemleri gösterirler (Şekil 41). Alterasyona uğramış andezitik bileşimli volkanik kayalarda demiroksitleşme ile birlikte killeşme ve silisleşme yaygın olarak gözlenmektedir. Birçok alanda alterasyonun ve mekanik parçalanmanın etkisi nedeniyle lavlar ile aglomera ve hatta tüflerin sınırını belirlemek zordur. Bitki örtüsünün yoğunluğu da da bu zorluğu arttırmaktadır.



Şekil 41. Keçiagılı köyü girişinde andezitik lavların görünümü (Koordinat: 489389-4422688, bakış yönü: KB'dan GD'ya).

Aglomeralar; morumsu, bordo renklerde olup andezitik bileşimli kaya parçalarından oluşmuştur. Aglomeralar içerisindeki çakıl boyutları 5-10 cm'den 1 m'ye kadar değişen kaya parçaları vardır. Çardak tepe ile Saz tepe arasında, Çan formasyonu ile dokanaklı olarak gözlenmiştir. Birçok alanda tüfler ile aglomeralar ardışıklı ya da iç içe gözlenmeleri nedeniyle ayrılmaları zordur.

Tüfler; yer yer riyolitik bileşimli olup, açık sarımsı, krem renkleriyle ayırt edilmektedir. Alterasyon sonucunda, kayaçta hematitleşmiş ve limonitleşmiş harelî bir yapı oluşmuştur. Farklı desenlerde olan bu kayaçlar, yörede dekoratif amaçlı ve kaplama taşı olarak kullanılmaktadırlar (Şekil 42). Muratlar köyü çevresinde, Halılağa köyü çevresinde, Hacıbekirler köyü kuzeyinde Kocakışla tepede gözlenmiştir.



Şekil 42. Açık krem kahve renkli tüflerde görülen demir oksitli harelî yapı (Koordinat: 480274-4419343).

Çalışma alanında hidrotermal ya da atmosferik suların etkisiyle yoğun bir kaolenleşme görülmüştür. Kara tepe çevresinde Kalemaden'e ait bir kaolen ocağı bulunmaktadır. Ayrıca linyitli zonun yakınında yer alan bölgelerde hümik asitin de etkisiyle kaolenleşme görülmektedir.

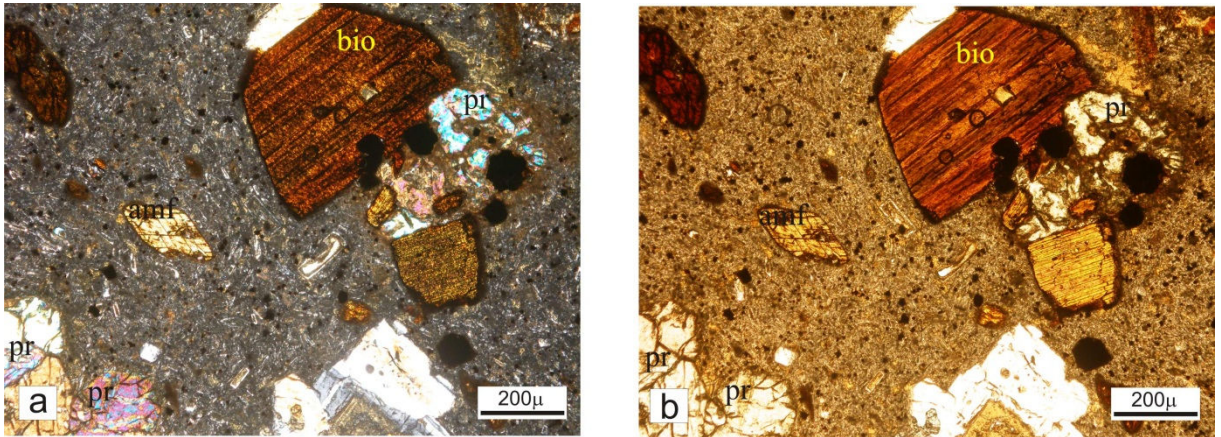
Volkanizmanın son ürünü olarak veya volkanizmadan sonraki jeotermal eriyiklerle gelen  $\text{SiO}_2$  ile bölgede yaygın bir silisleşme gerçekleşmiştir. Bazı alanlarda tüfler ile birlikte ve tüflerin silisifiye olması şeklinde, bazı alanlarda da kriptokristalin kuvars elemanlarından oluşmuş çatlak ve damar dolguları şeklinde görülmektedir (Bozcu ve ark., 2008). Yüzeysel ayrışmaya karşı dayanımlı olmaları nedeniyle bu silisce zengin kesimler,

bazı alanlarda belli doğrultularda uzanan sırtlar ya da tepcıklar şeklinde yüzeylemektedirler. Halılağa köyünün kuzeydoğusunda Soğuluk ve Taşkesilen tepede, Muratlar köyünün batısındaki Çeldiren tepe, Dağtarla tepe çevresinde önemli yüzeyleme sunarlar.

#### 4.1.2.5.1. Çan volkanitlerinin petrografik özellikleri

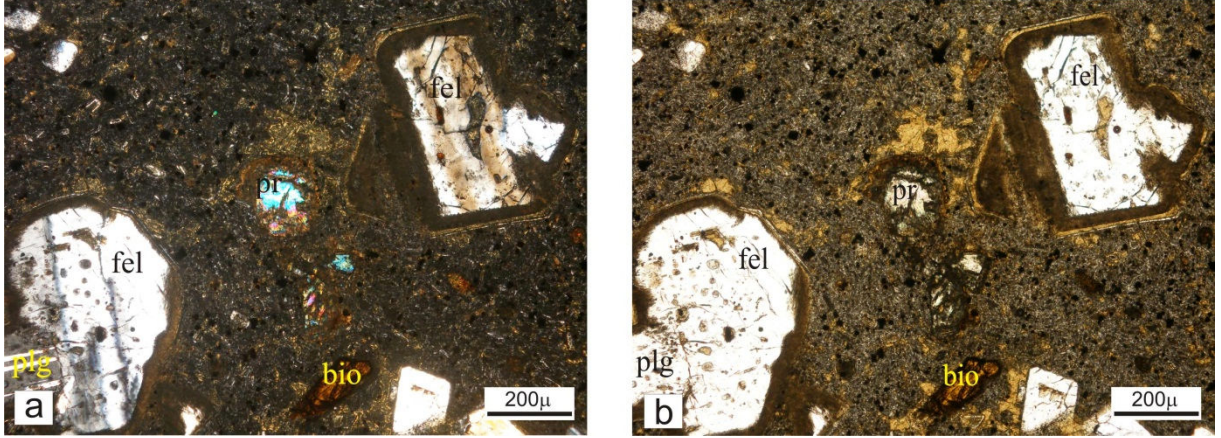
##### *Andezit*

Çalışma alanında geniş yayılım sunan andezitlerin genel mineral bileşimleri amfibol+ piroksen+ feldspat+ plajiolklas+ biotit+ kuvarsdan oluşmaktadır (Şekil 43). Amfiboller çift nikolde özşekilli, tek nikolde ise belirgin röliyefi ve çift yönlü dilinimi ile ayırt edilmektedir. Kayaç içerisinde büyük oranda bulunan piroksenler ise çift nikolde mavimsi sarımsı girişim renklerine sahip ve tek nikolde belirgin röliyefi ile tanınmaktadır. Fenokristalleri oluşturan feldspatlar çift nikolde grimsi sarı renkli genellikle özşekilli olarak gözlenmektedir. Feldspatlar kenarlarından itibaren killere dönüşmüştür. Bir diğer fenokristal olan plajiolklaslar ise çift nikolde polisentetik ikizlenmesi ile ayırt edilmektedir. Biotitler tek nikolde tek yönde dilinimi ve kahverengi pleokroizması ile kolaylıkla tanınmaktadır. Andezitler genel olarak porfirik dokuludur (Şekil 44). Ayrıca farklı büyüklükteki plajiolklas ile piroksen minerallerinin kümelenmesiyle oluşan glomeroporfirik doku gözlenmektedir.



Şekil 43. Andezit örneklerinin mikroskop altında genel görünümü (Çift nikol (a), Tek nikol (b), bio: biotit, pr: piroksen, amf: amfibol).

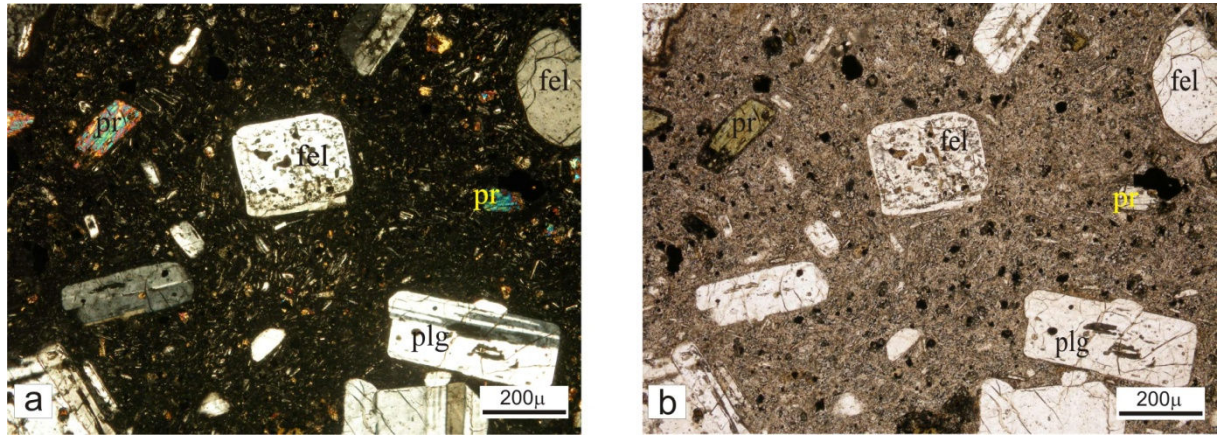




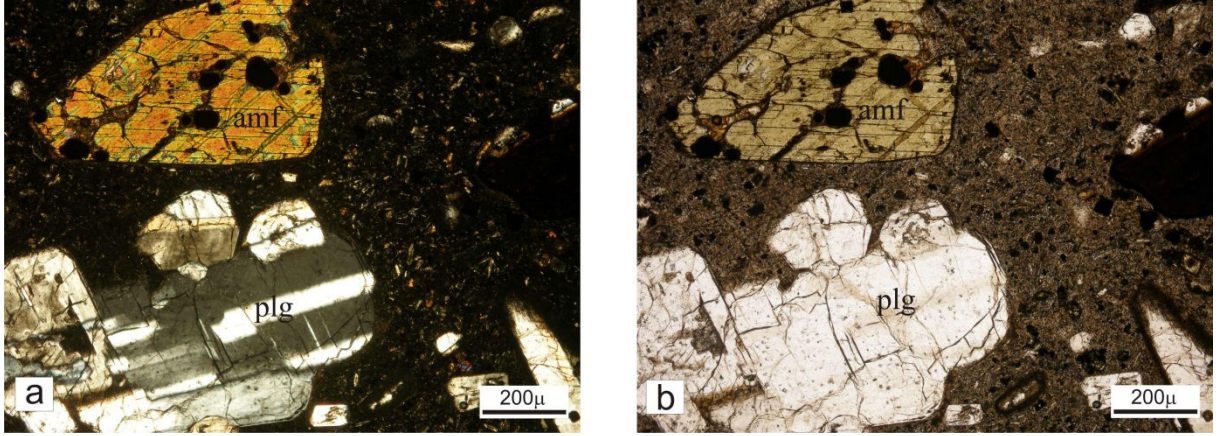
Şekil 44. Andezit örneklerinde gözlenen porfirik doku (Çift nikol (a), Tek nikol (b), fel: feldspat, bio: biotit, pr: piroksen, plg: plajioklas).

### *Trakiandezit*

Trakiandezitlerin genel mineral bileşimi amfibol+ biotit+ feldspat+ piroksen+ plajioklasdan oluşmaktadır (Şekil 45). Amfiboller özşekilli, belirgin roliyefe ve çift yönlü dilinime sahiptir. Plajioklaslar çift nikolde grimsi sarı renkte ve polisentetik ikizlenme göstermektedir. Feldspatlar ise özşekilli ve zonlanma gösterir. Trakiandezitlerde genel olarak porfirik doku gözlenmektedir (Şekil 46). Matriks plajioklas mikrolitlerinden oluşmaktadır.



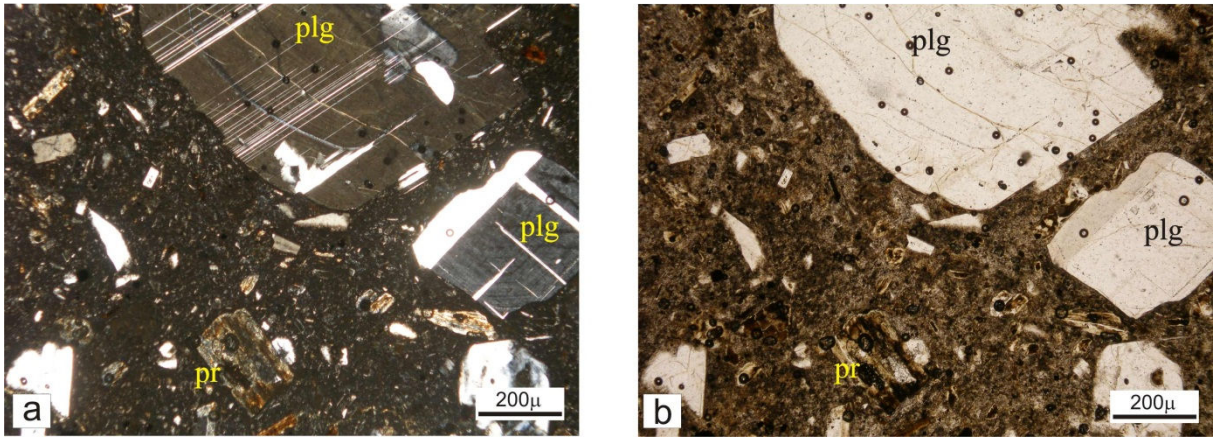
Şekil 45. Trakiandezit örneklerinin mikroskopik görünümü (Çift nikol (a), Tek nikol (b), plg: plajioklas, pr: piroksen, fel: feldspat).



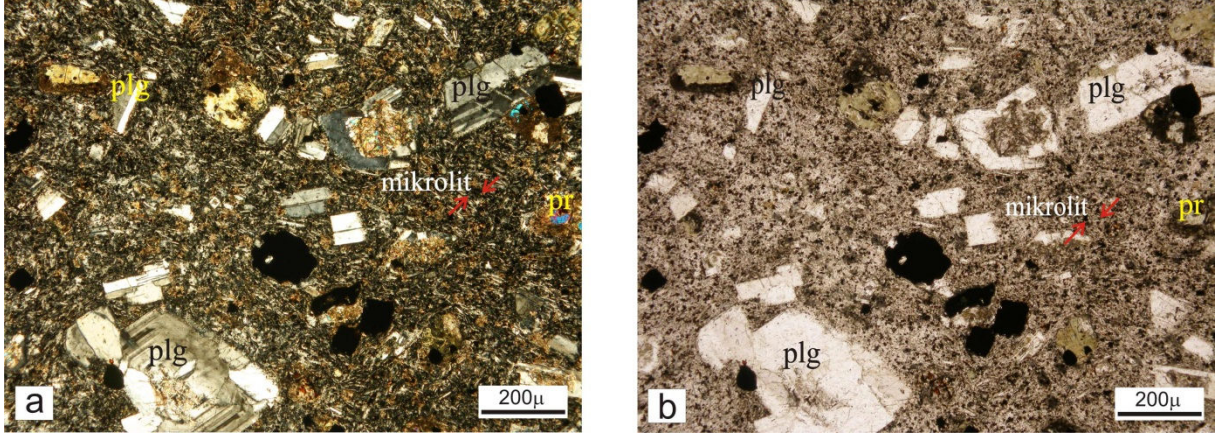
Şekil 46. Trakiandezit örneklerinde gözlenen porfirik doku (Çift nikol (a), Tek nikol (b), amf: amfibol, plg: plajioklas).

### ***Bazalt***

Bazaltların genel mineral bileşimi piroksen+ plajioklardan oluşmaktadır (Şekil 47). Mineralojik olarak büyük bölümü oluşturan piroksenler mavimsi pembemsi renklerde olup belirgin roliyefi ile ayırt edilmektedir. Plajioklaslar polisentetik ikizlenme göstermekte ve bazı bölgelerde iç içe geçmiş plajioklas kristalleri şeklinde gözlenmektedir. Bazaltlarda genel olarak mikrolitik doku vardır (Şekil 48).



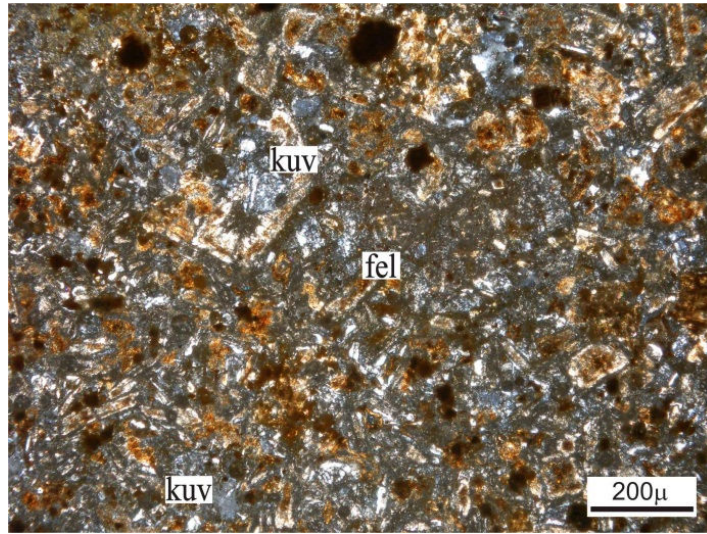
Şekil 47. Bazalt örneklerinin mikroskopik görünümü (Çift nikol (a), Tek nikol (b), plg: plajioklas, pr: piroksen).



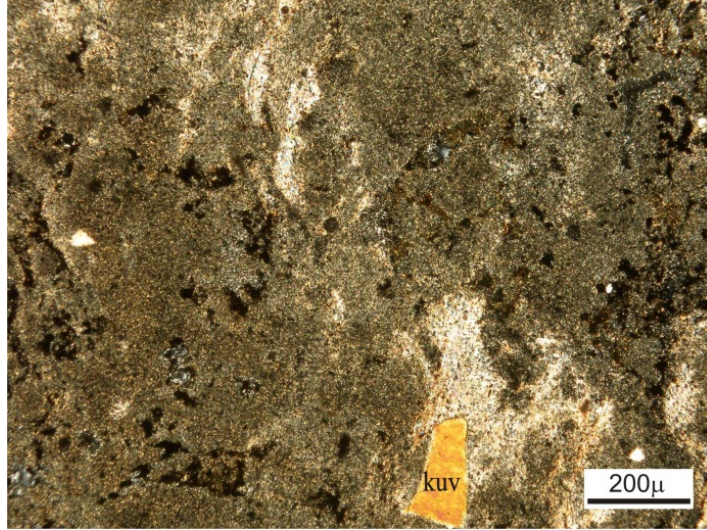
Şekil 48. Bazalt örneklerinde gözlenen mikrolitik doku (Çift nikol (a), Tek nikol (b), plg: plajioklas, pr: piroksen).

### ***Tüf***

Tüflerin genel mineral bileşimleri feldspat+ plajioklas ve daha az oranda kuvarstan oluşmaktadır (Şekil 49). Feldspatların çoğunluğu killeşmiştir. Tüflerde genel olarak camsı doku gözlenmektedir (Şekil 50).



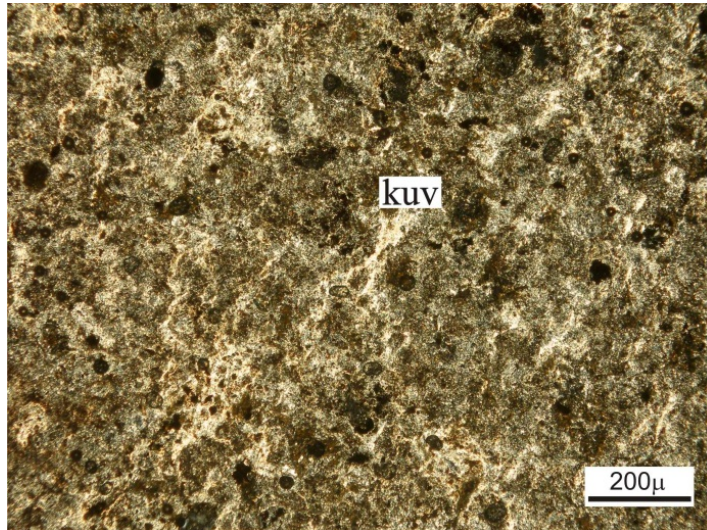
Şekil 49. Tüf örneklerinin mikroskobik görünümü (Çift nikol, kuv: kuvars, fel: feldspat).



Şekil 50. Tüf örneklerinde gözlenen camsı doku (Çift nikol, kuv: kuvars).

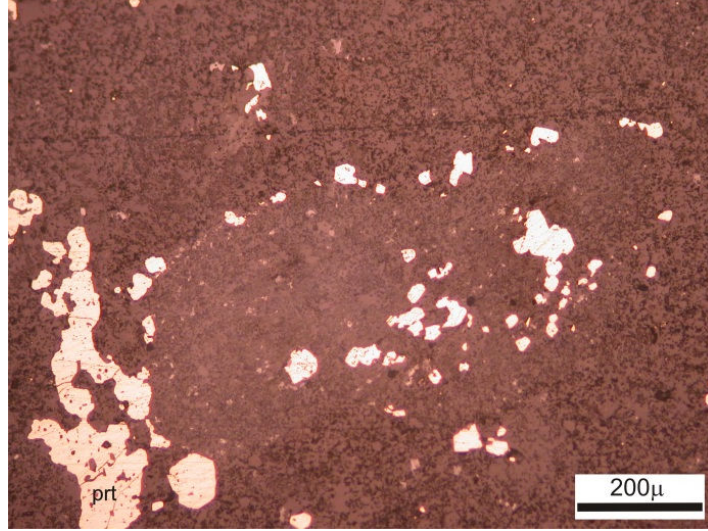
### ***Silika***

Büyük oranda kuvars minerallerinden oluşan silikada ayrıca plajiolklas+ epidot+ opak mineraller de bulunmaktadır. Kuvarların tane boyutları genellikle mikrokristalin boyutta olup, çift nikolde beyaz ve gri renklerde gözlenmektedir (Şekil 51). Plajiolklas mineralleri polisentetik ikizlenme göstermekte olup, bu minerallerin de büyük çoğunluğu killeşmiştir. Matriks küçük kuvars kristallerinden oluşmaktadır. Epidot minerali küçük kristaller şeklinde, çift nikolde sarı, pembe girişim renklerine sahip ve tek nikolde yüksek roliyeflidir.

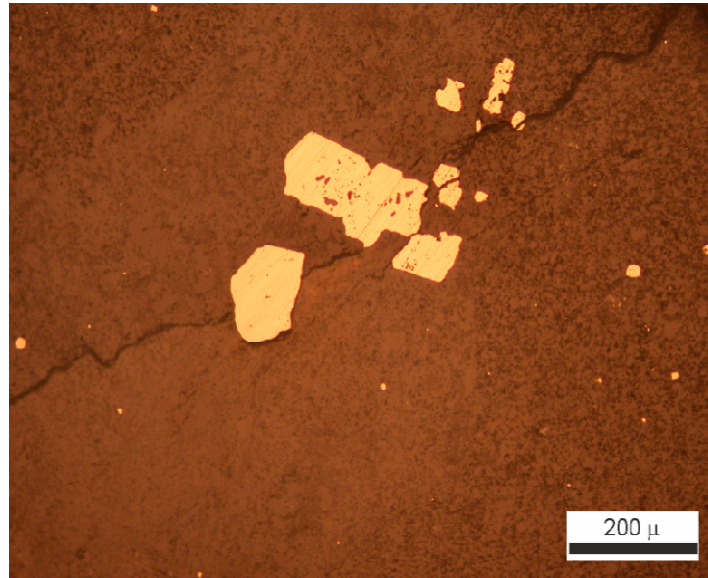


Şekil 51. Silika örneğinin mikroskobik görünümü (Çift nikol, kuv: kuvars).

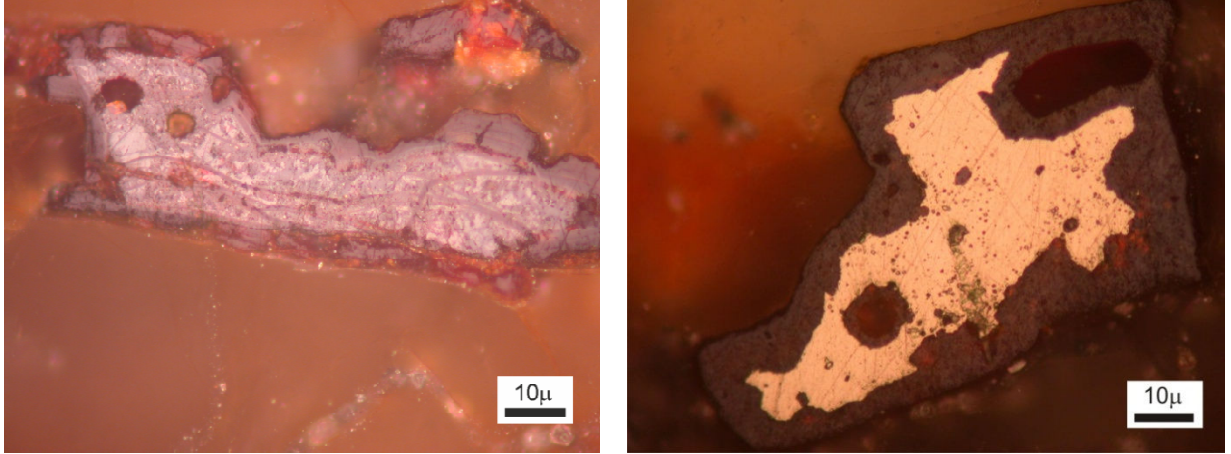
Silika örneklerinde, cevher mikroskobu incelemelerinde ilk görülen opak mineral pirittir. Piritler özşekilsiz, boşluk dolgusu olarak son evrede oluşmuştur. İnce taneli demir oluşukları minerallerden itibaren ikincil olarak minerallerin çevresini mantolayan pirit ortadaki minerali ornatmıştır (Şekil 52). Pirit mineralleri nadiren yarı özşekilli olarak gözlenmiştir (Şekil 53). Alterasyon zonunda gözlenen piritler oksitlenerek limonit-götit minerallerine dönüşmüştür (Şekil 54).



Şekil 52. Özşekilsiz pirit minerallerinin cevher mikroskobunda görünümü (prt: pirit).



Şekil 53. Yarı özşekilli pirit minerallerinin görünümü.



Şekil 54. Piritin oksitlenerek limonit-götit minerallerine dönüşümü.

#### 4.1.2.6. Çan formasyonu (Ts)

Biga Yarımadası'nın iç kesimlerinde, Çan yöresinde yüzeyleyen ve kumtaşı, çamurtaşı, bütümlü şeyl, tuf, volkanoklastik kayalar ve kömürden oluşan kayaç topluluğu ilk kez Hezarfen (1976) tarafından Çan formasyonu olarak tanımlanmıştır. Gürdal ve Bozcu (2011), Çan formasyonun yüzeylediği alanlarda başlıca konglomera, kumtaşı, kıltaşı, linyit, organik maddeli kıltaşı, aglomera, tuf, tüfit gibi heterojen litolojilerden oluştuğunu belirtmiştir (Şekil 55). Çan formasyonu, Erken-Orta Miyosen'deki volkanizma ile eş zamanlı olarak, faylarla sınırlanmış birbirinden izole ufak gösel havza çökellerini temsil eder (Siyako ve ark., 1989). Tip kesit yeri Çan ilçesinin kuzeybatısında yer alan Çan kömür işletmesidir (İlgar ve ark., 2012). Bu formasyona ait 250 m kalınlık ölçülmüştür (Siyako ve ark., 1989). Bozcu ve ark. (2008), Çan havzasında hazırladıkları ölçülü kesitlerle Çan formasyonunun kalınlığının 60 ile 270 m arasında değiştiğini belirtmiştir. Çan-Etili linyit havzasında genel olarak flüviyatil ve gösel kırıntılılar ile volkanoklastiklerden oluşan birim içerisinde yer alan kömür damarı ortalama 17 m kalınlık sunmakta olup, yöreden yöreye 0-38 m arasında değişen kalınlıklar gösterir (Bozcu ve ark., 2008).

Yaş	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	Açıklama
Erken-Orta Miyosen	Çan	60.00		Kiltaşı, tuf
				Kumlu siltaşı, kiltaşı
		25.00-30.00		İnce tabakalı, laminalı siltaşı ve organik kiltaşı
		17.00		Linyit
		8.00		Koyu gri organik şeyl
		2.00		Konglomera
	Çan Volkanitleri			Uyumsuzluk Ayrılmamış volkanik kayalar

Şekil 55. Çan formasyonunun stratigrafik dizilimi (Gürdal ve Bozcu, 2011).

Çalışma alanının kuzey kesimlerinde Keçiğılı köyü güneybatısında, Hacıkasım köyü güneydoğusunda ve Hacıkasım köyü ile Tepeköy mahallesi kuzeyi arasında yüzlek veren Çan formasyonu, çalışma alanında geniş yayılım sunan Çan volkanitlerinin üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Keçiğılı ile Hacıkasım köyleri arasındaki açık kömür işletmeleri, birimin çalışma alanında iyi mostra verdiği alanlardır (Şekil 56).

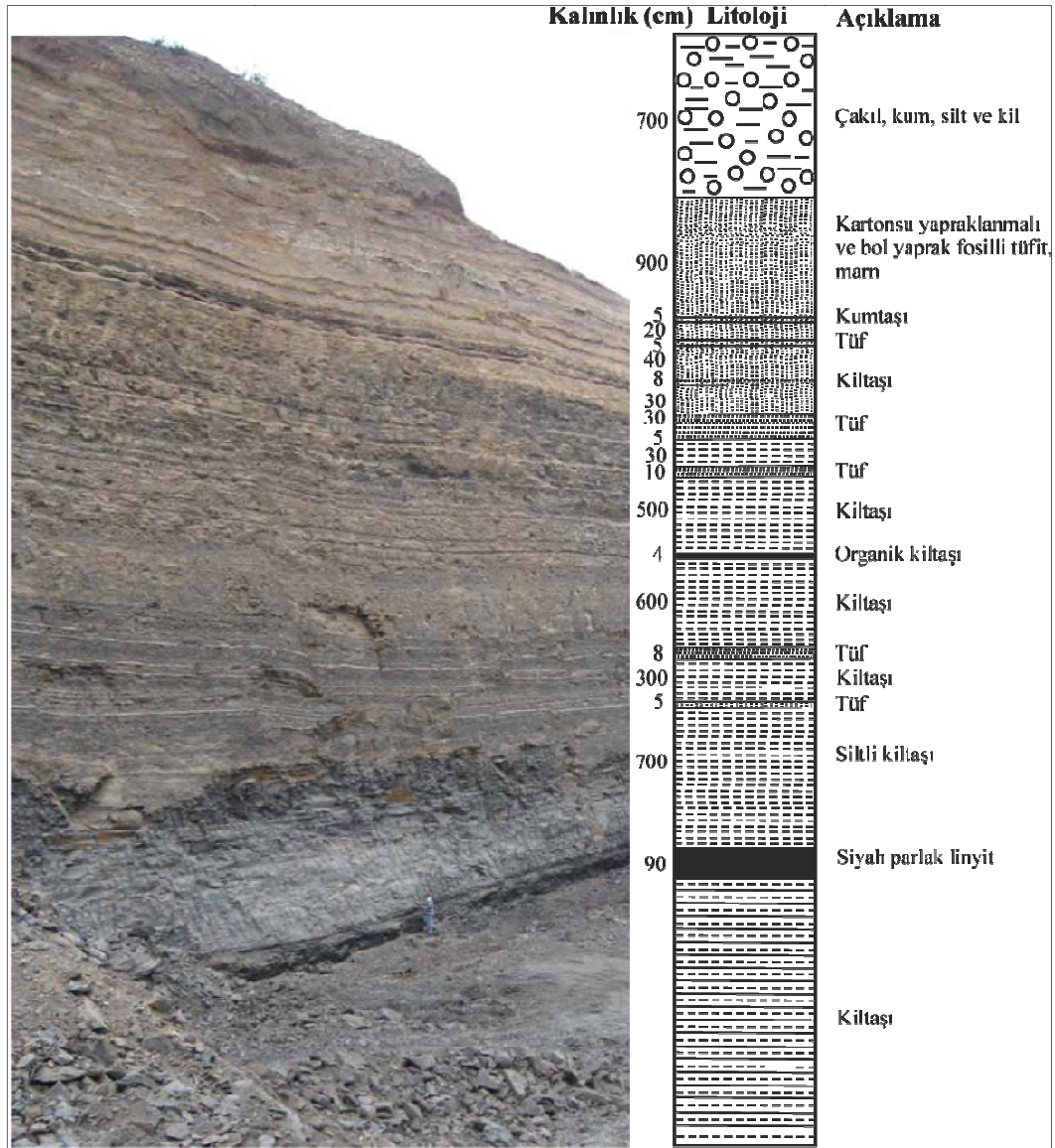


Şekil 56. Açık kömür işletmesinde Çan formasyonuna ait sedimanter birimler.

Formasyon jeoloji haritasında Tsk ve Tsku olarak adlandırılmıştır. Tsk, Hacımkasım köyü ile Keçiağılı köyleri arasında yüzlek veren linyit içeren seviyelerden oluşmaktadır. Tsku, Hacımkasım köyü ile Tepeköy mahallesi arasında yüzlek vermekte ve kumtaşı, kıltaşı araldanmasında oluşan birimde linyitçe zengin seviyeler bulunmamaktadır.

Bozcu ve ark. (2008), çalışma alanında yer alan açık kömür işletmelerinden birindeki sevi ölçülü stratigrafik kesit ile tanımlamışlardır. Çan formasyonu altta ayrıışmış volkanitler ve aglomera birimi üzerine ince bir kil düzeyi ile başlamaktadır. Kil düzeyi üzerinde kalınlığı yanal yönde kısa mesafelerde değişkenlik gösteren, ortalama kalınlığı 4-6 m arasında değişen iki linyit düzeyi bulunur. Linyit düzeyi üzerinde ise yeşilimsi gri kil, killi siltaşı ve kumtaşı araldanması şeklinde devam eden ve üste doğru jips mineralli, yapraklı kıltaşı, marn, sarımsı beyaz renkli tüfitlere geçen bir istiflenme sunmaktadır (Şekil 57) (Bozcu ve ark., 2008).





Şekil 57. Kömür işletmesi şevinde Çan formasyonuna ait ölçülü stratigrafik kesit (Bozcu ve ark., 2008).

Çan formasyonunun çökelme koşulları, birimi oluşturan litolojiler ve içerdiği sedimanter yapılar göz önüne alındığında flüviyal ve gölsel bir ortamı yansıtır (Bozcu ve ark., 2008). Kömür çökelleri üzerinde yer alan blok ve kül akması çökelleri olası Çan volkanitlerinin eş zamanlı piroklastik faaliyetlerini yansıtmaktadır. Bu piroklastik aktivite havzaya yoğun malzeme girişine neden olmuş ve kömür çökeli mi geçici olarak duraksamıştır (İlgar ve ark. 2012).

Bozcu ve ark. (2008), Çan formasyonu içerisindeki kömürlü düzeyden derlenen örneklerde yapılan palinolojik incelemelerle birimin yaşı geç Erken Miyosen ile erken Orta Miyosen olarak belirlenmiştir. Birim içerisinde tatlı su göl havzalarında yaygın olarak bulunan gölssel gastropoda ve pelecypoda fosillerinin bu havzada bulunmaması, birimin çökelişi sırasında ortamın asidik olması ve bölgede çok fazla karbonatlı kayaların yer almaması şeklinde yorumlanmıştır.

#### **4.1.3. Yapısal jeoloji**

Biga Yarımadası Hersiniyen ve Alpin orojenezlerinin etkisi altında kalmıştır (Okay ve ark., 1990). Bu tektonik hareketliliğin sonucu olarak Biga Yarımadası KD-GB gidişli birbirine paralel, aşmalı geometri sunan, doğrultu atımlı faylar ve bunlarla ilişkili çek-ayır havzaları ve/veya sıkıştırma büküm alanları ile karakterize edilmektedir.

Çalışma alanında gelişen yapısal unsurlar; uyumsuzluklar, faylar, kıvrımlar, tabaka doğrultu ve eğimleri, eklem çatlak sistemleri ve heyelanları içermektedir.

##### **4.1.3.1. Uyumsuzluklar**

Çalışma alanında temeli oluşturan Triyas yaşlı Karakaya kompleksine ait metavolkanik kayaların üzerine uyumsuz olarak Jura yaşlı Bayırköy formasyonuna ait sedimanter birimler gelmektedir. Bu birimlerin üzerine Eosen yaşlı Dededağ volkanikleri uyumsuzlukla gelmiştir. Granodiyorit bileşimdeki intrüzif olan Evciler plütönu tüm birimleri keserek uyumsuzlukla yerleşmiştir. Andezitik, dasitik ve trakiandezitik lavlardan oluşan Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Çan volkanitleri, hemen hemen aynı dönemde oluşmuş olan Evciler plütönu üzerine uyumsuzlukla gelir. Çan volkanitlerinin üzerine Alt-Orta Miyosen yaşlı kırıntılı sedimanlardan oluşan Çan formasyonu açısal uyumsuzlukla yerleşmiştir.

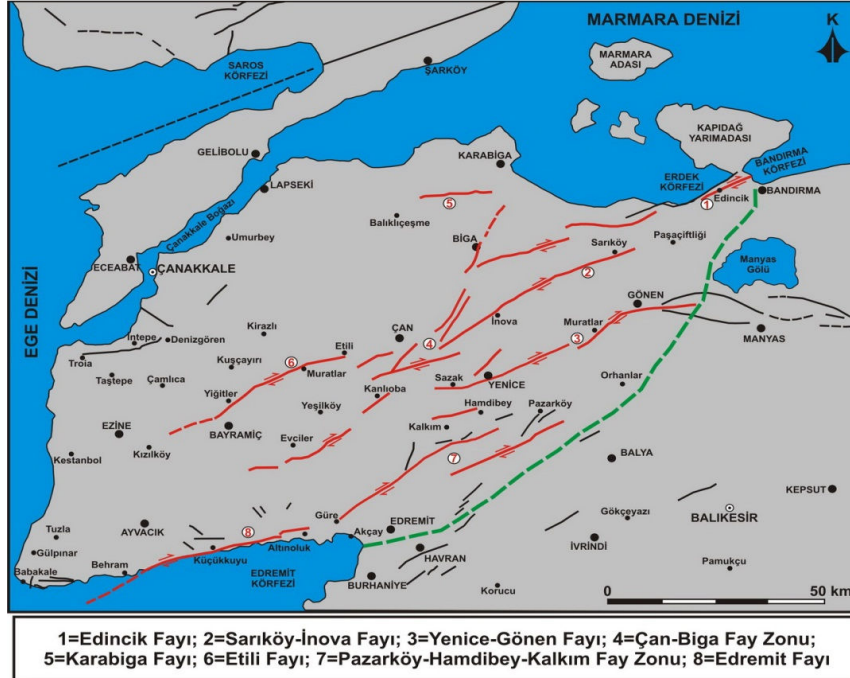
##### **4.1.3.2. Faylar**

Biga Yarımadası'ndaki faylar önceki çalışmalara ait jeolojik haritalar, Landsat ve Aster görüntüleri ve arazi gözlemleri ışığında 3 ana gruba ayrılmaktadır, bunlar; KD, D ve KB gidişli faylardır (Yiğit, 2012). Kuzey Anadolu fayının batı kolu, pull-apart havzaları

oluşturarak, Oligo-Miyosen dönemindeki sedimantasyon ve volkanik aktiviteyi kontrol etmiştir (Yiğit, 2012).

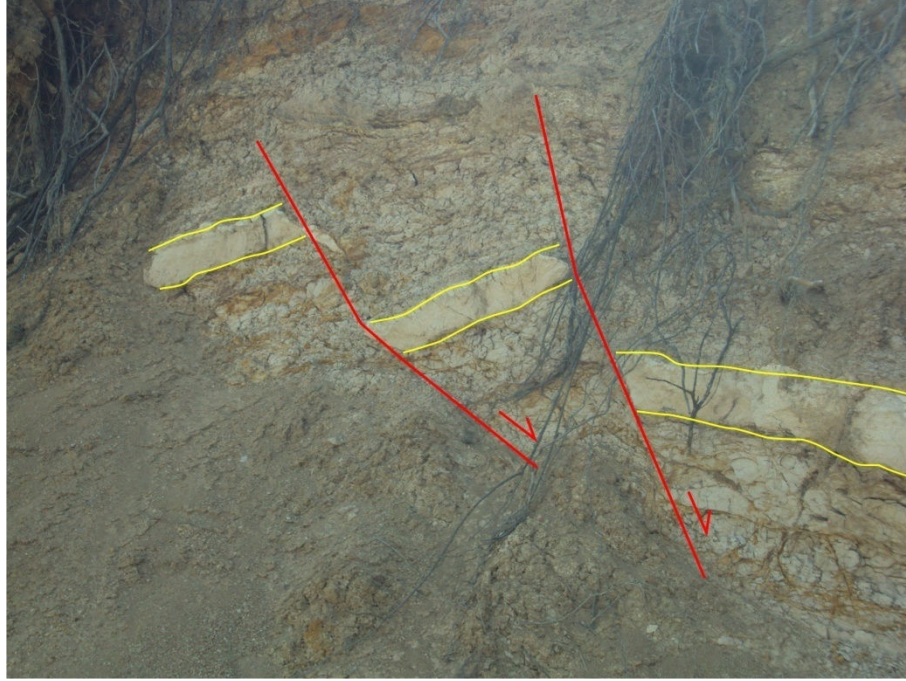
Bozcu ve ark. (2008), Çan-Etili linyit havzasında köken ve gelişim zamanlarına göre iki grup fay belirlemiştir. Bunlar; sinsedimanter büyüme fayları ve post sedimanter tektonik kökenli faylardır. Bu faylar, genel olarak KD-GB, D-B ve KB-GD doğrultularında uzanım gösterirler.

Etili ile Bayramiç'in kuzeybatısı arasında uzanan ve Şaroğlu ve ark. (1992) tarafından hazırlanan Türkiye diri fay haritasında, yaklaşık 50 km uzunluğunda bir aktif fay olarak haritalanan Etili fayı, bir vadi konumdadır (Şekil 58). Biga Yarımadası'nda en bilinen faylardan biri olan Etili fayı, Kuzey Anadolu fayının kollarından biri olan KD-GB gidişli sağ yönlü yanal atımlı bir faydır (Grieve, 2009). Bozcu ve ark. (2008), Üst Miyosen-Pliyosen döneminde gelişen Etili fayının, yaklaşık KD-GB doğrultulu, fay düzlemi sağ oblik atım bileşeni de gösteren yanal atımlı bir fay olduğunu belirtmiştir. Etili fayı 06.03.1737 tarihinde bir deprem üretmiş olup, bu deprem sonucunda Etili'de 49 km uzunluğunda yüzey kırığı olduğu rapor edilmiştir (Ambraseys ve Jackson, 2000). Çalışma alanında Etili fayının yüzey kırık izine rastlanılmamıştır.



Şekil 58. Biga Yarımadası'ndaki aktif faylar (Şaroğlu ve ark., 1992).

Terk edilmiş kömür ocaklarında, Çan formasyonunda gelişen normal faylar tespit edilmiştir (Şekil 59). Çalışma alanının güneydoğusunda granitik kayaçlar ile tuf arasında fay kili tespit edilmiştir fakat fayın devamı örtülüdür.



Şekil 59. Çan formasyonunda gelişen normal faylar (Koordinat: 487840-4423620, bakış yönü: KD'dan GB'ya).

#### **4.1.3.3. Kıvrımlar**

Çan formasyonunun hem çökelişi sırasında gelişen tektonik olaylar hem de çökelişinden sonra gelişen tektonik olaylar birimi etkilemiştir. Fay düzlemlerine yakın kesimlerde tabakalarda eğimlenmeler ve kıvrımlanmalar gelişmiştir. Terk edilmiş kömür ocaklarında küçük ölçekli antiklinal ve senklinal varlığı saptanmıştır.

#### **4.1.3.4. Tabaka doğrultu ve eğimleri**

Çan formasyonu tektonik etkilerden oldukça etkilenmiş olup, çok kısa mesafelerde eğim ve doğrultularında önemli değişiklikler görülmektedir. Çalışma alanında, Çan formasyonuna ait tabakalar 5 ile 43 derece arasında değişen eğimlere sahiptir. Hacıkasım köyü güneydoğusundaki linyit işletmesinde birimin konumu yataya yakın iken, bu

işletmenin yaklaşık 300 m kuzeybatısındaki başka bir işletmede tabakaların konumu 33 derece GD'ya eğimlidir.

#### **4.1.3.5. Eklem ve çatlaklar**

Volkanik kayaçlar içinde, volkanizmanın soğuması sırasında gelişen düzgün eklem ve çatlaklara rastlanılmaktadır. Bu eklem ve çatlaklar, volkanik kayaçlar için akma düzlemlerini oluşturmaktadır.

#### **4.1.3.6. Heyelanlar**

Keçiğalı ile Hacıkasım köyleri arasında işletilen kömür ocaklarında, Çan formasyonunun heterojen litolojisi, yüzey sularının etkisi ile killi seviyelerin şişmesi ve basamak şev açısının düzgün olmayışı faktörlerinin biraraya gelmesi ile hafriyat sırasında yersel heyelanlar oluşmuştur. Heyelanlar, Çan formasyonunun içerisindeki fayların zayıflık zonlarını kayma düzlemleri olarak kullanmıştır. Uygun yöntemler kullanılmadan, bilinçsizce yapılan açık ocak işletmeciliği sonucunda oluşan heyelanlar, firmalara büyük sıkıntılar yaşatmış ve firmalar ocaklarını terk etmek zorunda kalmıştır.

#### **4.1.4. Ekonomik jeoloji**

Biga Yarımadası'nda bilinen maden yataklarının büyük bir bölümü sıkışma ve genişleme rejiminin birlikte etkin olduğu Eosen-Alt Miyosen yay magmatizması ilgili damar skarn ve porfiri tip kurşun, çinko, bakır, molibden, civa, antimuan ve epitermal altın cevherleşmeleri oluşturmaktadır (Engin ve ark., 2012). Enerji ve endüstriyel hammadde ile metalik maden yataklarına ev sahipliği yapan yarımada'nın antik çağlarda başlayan bir madencilik geçmişi vardır. Stewig (1968), Biga Yarımadası'ndaki madenciliğin M.Ö. 1800-1200 yılları arasındaki Truva'nın bronz devrinde başladığını ifade etmiştir.

Çalışma alanı, ekonomik öneme sahip metalik cevher, endüstriyel ve enerji hammaddeleri açısından oldukça zengin bir bölgedir. Sahada bulunan metalik madenler; altın, bakır ve demir, endüstriyel hammaddeler; sileks, kaolen, kil, kireçtaşı, vollastonit ve andezit, enerji hammaddesi ise kömürdür.

**4.1.4.1. Mineralizasyon**

SRK (2012a) tarafından, Haliğa köyü ve çevresinde magmatik ve hidrotermal süreçlerle oluşan üç farklı cevherleşme türü tanımlanmıştır. Kestane mevki; porfiri Cu-Au zonu, Bakırlık tepe skarn Au-Ag +/- baz metal zonu, Künk, Çeldiren, Soğuluk tepe epitermal tipi yüksek sülfidasyon stili mineralizasyon zonudur. Porfiri cevherleşmesinde kalkopirit, bornit, biyotit, magnetit ve kalkosit, skarn cevherleşmesinde ise kuvars, granat ve vollastonit, yüksek sülfidasyon epitermal cevherleşmesinde kuvars ve alunit, mineralleri saptanmıştır (SRK, 2012a). Şekil 60'da Çeldiren tepeden Bakırlık tepe, Künk tepe ve Kestane mevkinin konumları görülmektedir. Yiğit (2012), Biga Yarımadası'nda Oligosen'in ekonomik epitermal ve porfiri sistemlerin oluşumu için önemli olduğunu, ana kaya ile ilişkili altın mineralizasyonun önemli mineralizasyon fazlarının 38 ile 22 My arasında gerçekleştiğini ifade etmiştir.



Şekil 60. Çeldiren tepeden, farklı mineralizasyonların gözlendiği Kestane mevki, Künk ve Bakırlık tepelerin görünümü (KB'dan GD'ya bakış).

**4.1.4.1.1. Epitermal tipi yüksek sülfidasyon stili mineralizasyon**

Çalışma alanında, yüksek kotlarda bulunan Çan volkanitlerine ait masif silikaların vuggy silikalara geçiş göstermesi, limonitleşmiş breşlerin varlığı, silisleşmenin etrafında

gelişen ileri arjilik zondaki kuvars-alunit birlikteliği, ileri arjilik zondan arjilik ve sistemin en dışındaki propilitik alterasyona geçmesi epitermal tipi yüksek sülfidasyon stili mineralizasyon varlığını işaret etmektedir. Minerilizasyon, çalışma alanının güney kesiminde yer alan Künk tepe, Soğuluk tepe, Çeldiren tepe ve Kunduztaş tepenin çevresinde saptanmıştır.

Çeldiren tepedeki epitermal tipi yüksek sülfidasyon stili mineralizasyon, MTA tarafından 1990 yılında keşfedilmiştir. Mineralizasyonun ana kayacı Oligosen yaşlı andezitik lav ve piroklastiklerdir (Yiğit, 2012). D-B gidişli mineralizasyon 1 km genişliğinde ve 3,5 km uzunluğundadır (Yiğit, 2012). MTA (1991) tarafından, Muratlar köyünün batısında maksimum 2060 ppb Au konsantrasyonu saptanmıştır. Pehlivan ve Çetin (1997), Çeldiren tepe çevresinde tenörü 0,1-0,2 g/t dissemine olarak yoğun silisli arjilik özellikteki Miyosen yaşlı andezitler içerisinde hidrotermal kökenli Au rezervi bulunduğu belirtmiştir. Grieve (2009), Çeldiren tepe ve Büyükdağ tepe arasında yaptıkları sondajlarda 38 m derinlikte 1,83 g/t altın mineralizasyonu saptandığını ifade etmiştir. Yiğit (2012), bu sahadan aldığı kayaç örneklerinde 2,19 g/t Au saptanmıştır.

Halılağa köyünün kuzeydoğusundaki epitermal Au-Ag mineralizasyonu MTA tarafından 1990'lı yılların başında keşfedilmiştir. Ana kayacı andezitik lav ve piroklastiklerdir. İki zondan oluşan mineralizasyonun ana zonu; 1 km uzunluğunda, 0,2 km genişliğinde ve DKD gidişli Soğuluk tepe zonedir (Yiğit, 2012). Diğer zon, Taşkesilen ve Kocataş tepe zonu olup, 1 km uzunluğunda, 0,3 km genişliğinde ve KKD gidişlidir (Yiğit, 2012). MTA (1991), Soğuluk tepenin silika-arjilik altere zonlarında yapılan MJT-2 no'lu sondajda 13,85 m derinlikte 0,58 g/t altın mineralizasyonu tespit etmiştir. Pehlivan ve Çetin (1997), Halılağa köyünde tenörü 2 gr/t dissemine olarak yoğun silisli arjilik Miyosen yaşlı andezitler içerisinde hidrotermal kökenli altın rezervi bulunduğu ifade etmiştir. Yiğit (2012), bu sahadan aldığı kayaç örneklerinde 2,38 g/t Au ve 60 g/t Ag tespit etmiştir.

MTA (1991) tarafından, çalışma alanının kuzeybatısında yer alan Kunduztaş tepeden başlayıp, çalışma alanı sınırlarının dışında kalan Akmaçakıl tepeye kadar olan yaklaşık olarak 12 km uzunluğunda ve genişliği ise 0,5 km ile 2,5 km'lik bir hat boyunca ve andezitlerdeki KD-GB makaslama zonları kontrolünde, epitermal tip yüksek sülfidasyon stili mineralizasyon saptanmıştır. Yiğit (2012), bu sahanın, altın potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir.

**4.1.4.1.2. Porfiri tipi mineralizasyon**

Çalışma alanının güneyinde, Kestane mevkinde, 2007 yılında ilk kez Teck-Fronteer Madencilik Şirketleri tarafından Kestane porfiri Cu-Au mineralizasyonu tanımlanmıştır (Yiğit, 2012). Kestane mevkindeki mostralarda birbirini kesen kuvars+manyetit, kuvars damarcıklarının bulunması, stokvörk yapılarının gözlenmesi ve ikincil Cu minerallerinin oluşumu, bu zonda porfiri tipi altın-bakır mineralizasyonuna işaret etmiştir. Halilağa (Kestane) porfiri sistemi sadece Biga Yarımadası'nda değil, Türkiye'deki en büyük Cu-Au porfiri yatağı olmaya adaydır (Yiğit, 2012).

Grieve (2009), Cu-Au porfiri mineralizasyonunun ana kayaç olarak; Oligosen yaşlı kuvars, feldspat-hornblend porfiri, andezitik lav ve tüften oluştuğunu belirtmiştir. Yapılan araştırma sondajlarında, kayaçların; pirit, magnetit, kalkopirit, az miktarda kalkosit ve molibdenit ile gözle görülebilir dissemine Cu içerdiği belirlenmiştir (Grieve, 2009). Porfiri ile ilişkili alterasyon zonu 4 km uzunluğunda ve 2 km genişliğinde iken, ana mineralizasyon zonu 0,4 km uzunluğunda ve 0,3 km genişliğindedir (Yiğit, 2012). Kestane mevkinde, manyetit stokvörkleri içeren cevherleşme zonları tespit edilmiştir (Şekil 61).



Şekil 61. Kestane mevkinde stokvörk yapılarının görünümü (Koordinat: 483156-4419201, bakış yönü: GB'dan KD'ya).

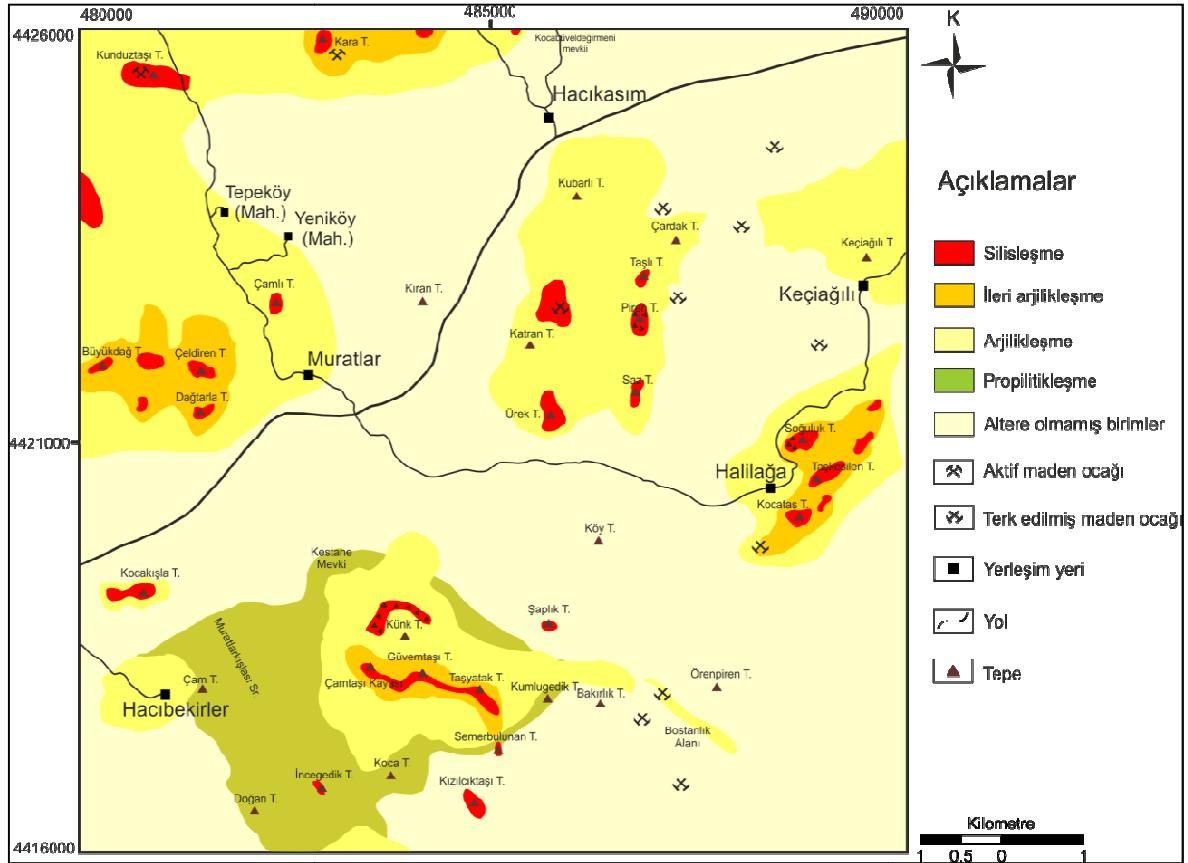


**4.1.4.2. Alterasyon**

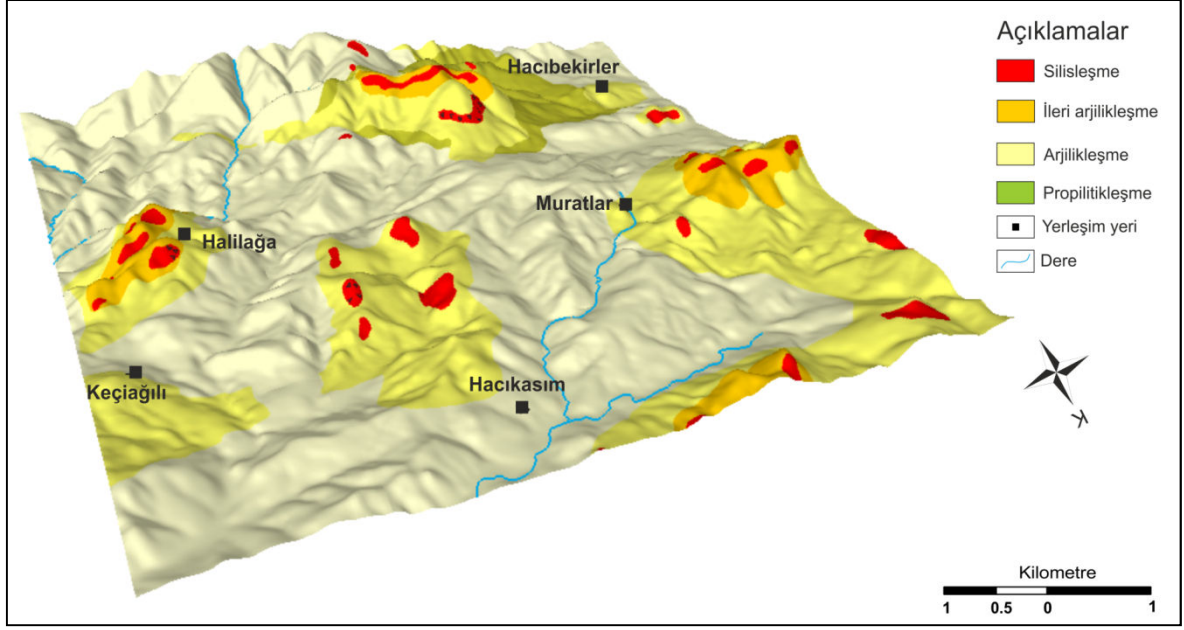
Çalışma alanında gözlenen alterasyonlar Dededağ ve Çan volkanitleri ile Karakaya kompleksine ait birimlerde oluşmuştur. Çalışma alanında 3 tip alterasyon çeşidi gözlenmiştir. Bunlar;

- Silisik alterasyon
- Arjilik/İleri arjilik alterasyon
- Propilitik alterasyon

bu alterasyon zonları birbirleriyle yakından ilişkili ve geçişlidir (Şekil 62; 63). Çalışma alanında gözlenen alterasyonlarla ilgili bilgiler aşağıda anlatılmıştır.



Şekil 62. Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli alterasyon haritası.



Şekil 63. Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli 3 boyutlu alterasyon haritası.

#### 4.1.4.1. Silisleşme

Çalışma alanında volkanik kayaların hidrotermal alterasyonu sonucu oluşmuş ekonomik önem taşıyabilecek nitelikte silisleşme zonları bulunmaktadır. Silisler, silis bakımından zengin hidrotermal sıvıların volkanik kayalar üzerindeki silisik alterasyonu ile ilişkilidir. Silisifiye olan bu volkanik ürünler dayanımlarının yüksek olmasından dolayı genellikle volkanik kayaların bulunduğu tepelerin üst seviyelerinde şapka gibi yer almaktadır. Yüksek, zayıf ve düşük dereceli silisifiye zonlar bulunmaktadır. Çalışma alanı içerisindeki silisleşmeler genel olarak andezitik bileşimli kayaların ve tüflerin bünyesinde gelişmiştir.

Silis kütleleri çalışma alanının yüksek kotları olan Büyükdağ tepe, Çeldiren tepe, Dağtarla tepe, Kunduztaşı tepe, Çamtaşı kayası, Güvemtaşı tepe, Taşyatak tepe ve Pirentepe'de yüzlek vermektedir (Şekil 64). Silis kütleleri açık gri, sarımsı renklere olup, genellikle çatlaklar ve kırıklar boyunca hematitleşme ve limonitleşme görülür. Soğuluk tepe, Künktaş tepe ve Piren tepede lokal olarak breşik zonlar saptanmıştır. Grieve (2009), Taşyatak tepedeki silisleşmenin yüzey kalınlığının yaklaşık 25 m olduğunu belirtmiştir.



Şekil 64. Güvemtaşı tepedeki gri renkli silikaların görünümü (Koordinat: 484363-4417971, bakış yönü: G'den K'ye).

#### **4.1.4.2. Arjilik/İleri arjilik alterasyonu**

Silisleşmiş volkanitlerin altında gözlenen arjilikleşme, çalışma alanındaki epitermal tipi cevherleşme sistemiyle yakından ilişkili olup bölgenin geniş alanında arjilikleşme ve ileri arjilikleşme olarak kendini göstermektedir (Şekil 65). İleri arjilikleşme Muratlar köyü batısında, Künk tepe, Güvemtaşı tepe Taşyatak tepe ve Kara tepe çevresinde ve Halılağa köyünün doğusunda gözlenmiştir. Çalışma alanı içerisinde arjilik alterasyon andezitlerde, aglomera ve tüflerde görülmektedir. Bazı bölgelerde kayacın dokusu tanınmayacak kadar killeşirken bazı bölgelerde kayaç içerisindeki feldspat-hornblend gibi mineraller killeşmiş fakat kayacın dokusu hala tanınabilir durumdadır. Grieve (2009), Künk tepe, Güvemtaşı tepe ve Taşyatak tepe çevresinde gelişen ileri arjilik alterasyonun andezitlerin ve tüflerin alterasyonu sonucunda geliştiğini belirtmiştir.



Şekil 65. Kara tepenin doğusunda gözlenen ileri arjilik alterasyon (Koordinat: 484072-4425762, bakış yönü: D'dan B'ya).

#### 4.1.4.3. Propilitik alterasyon

Çalışma alanında propilitik alterasyon, Kumlugedik tepe, Muratlarkışlası sırtı ve güneyinde gözlenmiştir. Alterasyon, Çan volkanitlerine ve Dededağ volkaniklerine ait andezitler ile Karakaya kompleksine ait metavolkaniklerde oluşmuştur (Şekil 66). Kayalarda kloritleşme meydana gelmiş ve yeşil bir renk almıştır. Bu alterasyon tipi bölgede mevcut olan cevherleşmelerin dış zonunu oluşturmaktadır.



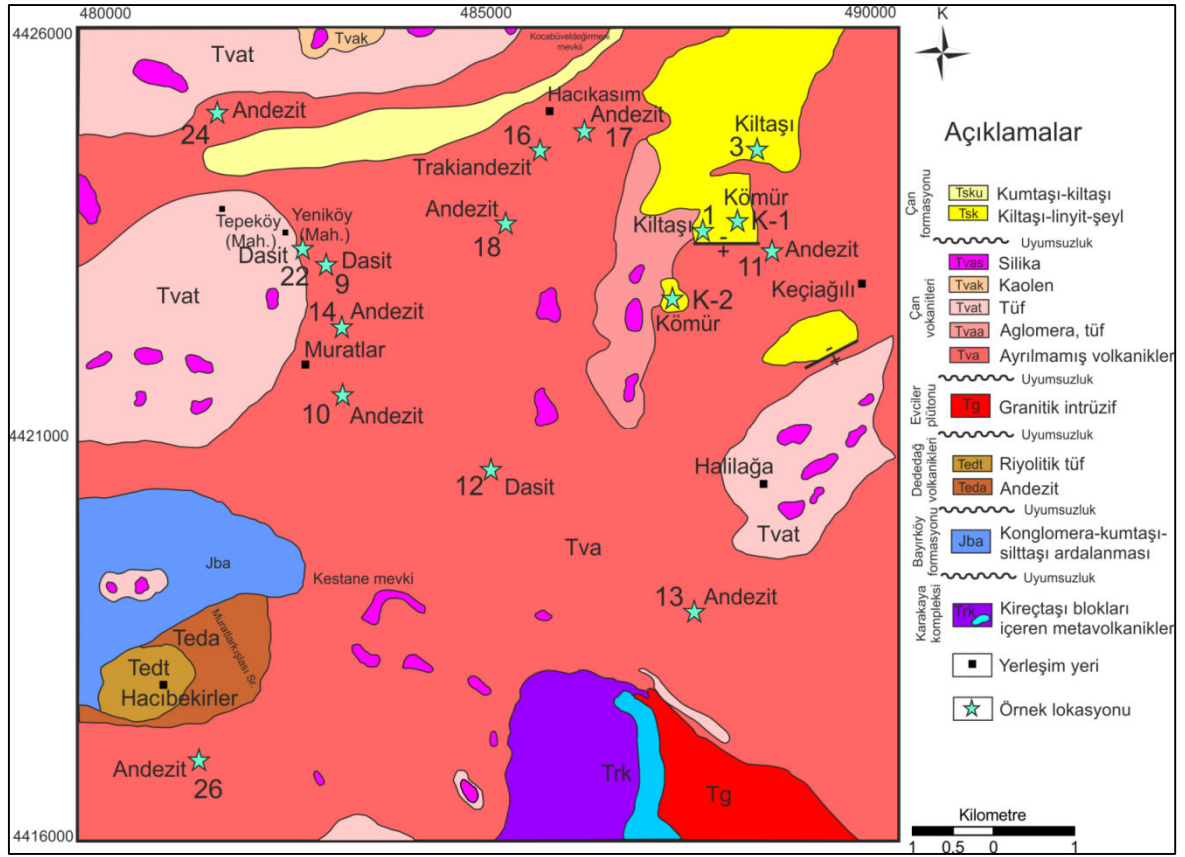
Şekil 66. Propilitik alterasyona uğramış a. Çan volkanitlerine ait tüfler (Koordinat: 482500-4417531) b. Dededağ volkaniklerine andezitler (Koordinat: 481760-4418343).

## **4.2. Jeokimya**

Bu bölümde, çalışma alanında yüzeylenen kayaçların jeokimyasal özellikleri; XRD, SEM, EDX ve jeokimyasal analiz sonuçları ile değerlendirilmiştir. Çan volkanitleri ve Çan formasyonun alterasyona uğramamış kayaçlarından alınan 16 örneğin jeokimyasal analiz sonuçları incelenmiştir. Örnekleme noktaları Şekil 67'de sunulmuştur. Ayrıca çalışma alanında alterasyona uğramış olan Çan volkanitlerine ait kayaçların jeokimyasal özellikleri ve arazide tespit edilen ikincil mineral oluşumları ayrı başlıklar altında değerlendirilmiştir.

### **4.2.1. Çan volkanitlerinin jeokimyası**

Çan volkanitlerine ait jeokimyasal analiz sonuçları değerlendirilen 12 örneğin litoloji ve konumları Çizelge 5'de sunulmuştur. Majör oksit analiz sonuçlarına göre Çan volkanitlerine ait kayaçlarda, % 55,87-66,67 SiO<sub>2</sub>, % 14,48-19,85 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 0,27-3,18 Na<sub>2</sub>O ve % 1,84-4,31 K<sub>2</sub>O saptanmıştır (Çizelge 6). Analizi yapılan örneklerin toplam alkali-silika değişimlerinin belirlenmesi için Cox ve ark. (1979) tarafından önerilen toplam alkali silika diyagramına aktarılmıştır. Bu diyagrama göre örneklerin 8 tanesi andezit alanına, 3 tanesi dasit alanına ve 1 tanesi de trakiandezit alanına düşmektedir (Şekil 68). Volkanitlerin tümü Irvine ve Baragar (1971) tarafından oluşturulan alkalen-subalkalen ayırım diyagramına iz düşürülmüştür. Örnekler diyagramda alkalen-subalkalen ayırım çizgisinin altında, yani subalkalen alanında yer almaktadır (Şekil 69). Subalkalen örneklerin kalkalkalen mi, yoksa toleyitik mi olduğunun belirlenmesi amacıyla, analiz sonuçları Irvine ve Baragar (1971) tarafından önerilen AFM üçgen diyagramına aktarılmıştır. Örneklerin tümü kalkalkalen alana düşmektedir (Şekil 70).



Şekil 67. Jeokimyasal analizi yapılan örnek lokasyonları.

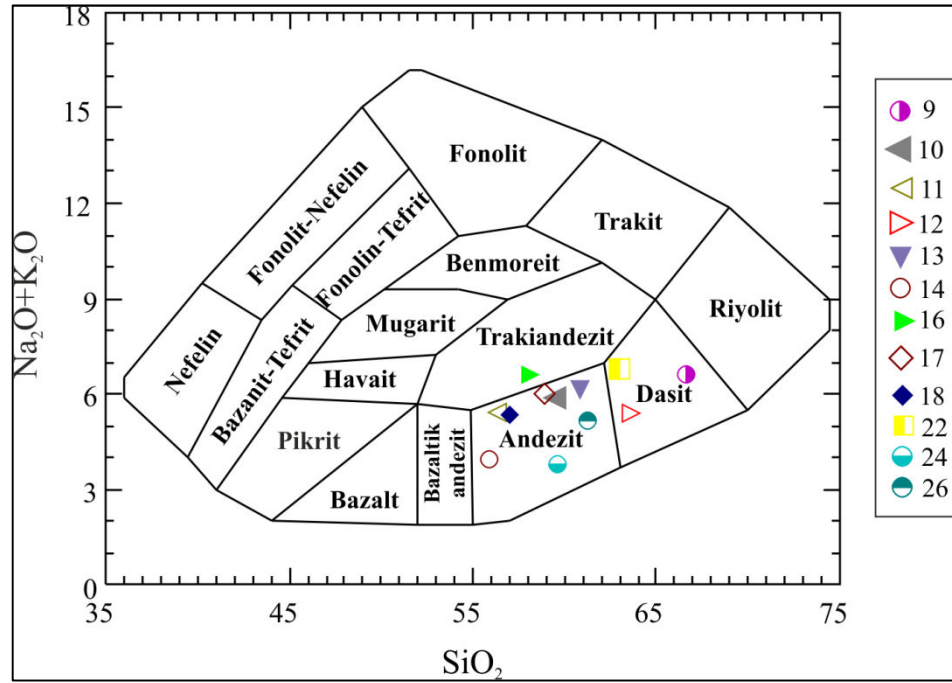
Çizelge 5. Jeokimyasal analizleri yapılan litolojiler ve lokasyonları

Litoloji	Örnek no	X	Y
Dasit	9	482930	4423036
Andezit	10	483159	4421577
Andezit	11	488497	4423216
Dasit	12	485009	4420697
Andezit	13	487444	4418921
Andezit	14	483164	4422289
Trakiandezit	16	485690	4424502
Andezit	17	486079	4424601
Andezit	18	485186	4423704
Dasit	22	482488	4423267
Andezit	24	481806	4424983
Andezit	26	481462	4417015

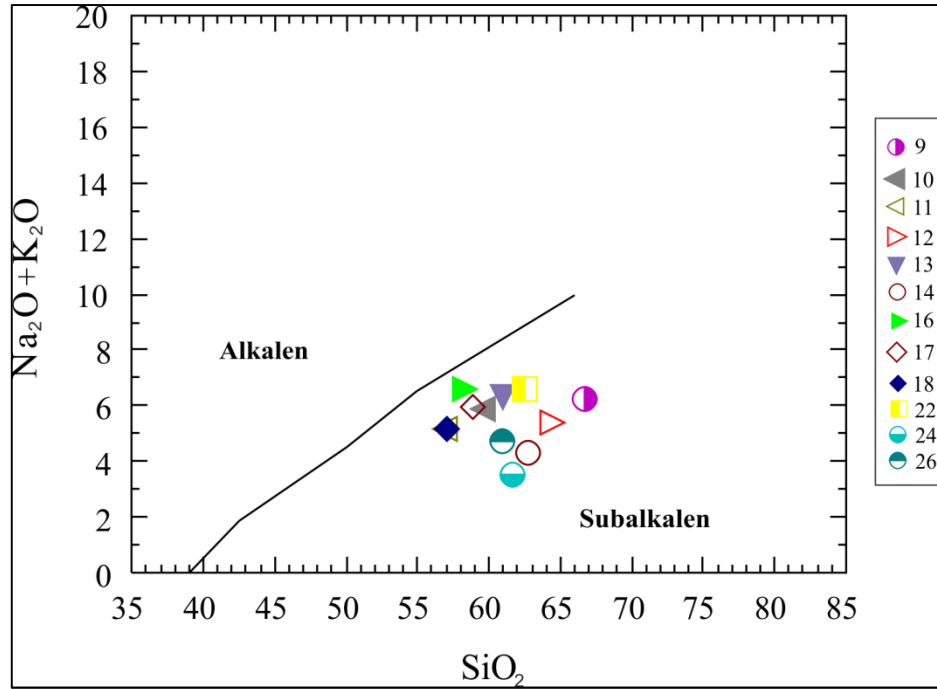
Çizelge 6. Çan volkanitlerine ait majör element analiz sonuçları (%)

Örnek no	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AZ	Toplam
9	66,67	14,48	4,78	0,53	2,21	2,32	3,91	0,47	0,1	0,04	0,002	4,3	99,84
10	59,52	17,08	6,92	1,34	4,32	3,08	2,81	0,74	0,17	0,16	0,002	3,7	99,8
11	56,89	19,85	3,1	0,75	1,55	1,59	3,56	0,84	0,12	0,01	0,005	11,5	99,76
12	64,38	17,07	2,02	1,14	0,8	0,42	4,31	0,71	0,06	0,02	0,002	8,9	99,82
13	61,03	17,6	6,38	0,87	2,15	2,89	3,4	0,68	0,21	0,17	0,002	4,4	99,81
14	55,87	17,86	8,53	0,62	0,16	0,46	2,71	0,93	0,16	0,01	0,005	12,2	99,46
16	58,31	17,64	7,37	0,5	4,97	3,18	3,18	0,7	0,21	0,06	0,002	3,7	99,8
17	58,9	17,77	6,63	0,98	3,65	2,77	3,22	0,79	19	0,04	0,003	4,8	99,76
18	56,99	19,49	7,39	0,44	0,67	0,91	4,23	0,71	0,1	0,09	0,004	8,7	99,74
22	62,57	16,3	5,34	0,63	3,64	2,91	3,67	0,51	0,15	0,09	0,002	4	99,8
24	61,06	17,35	8,16	1,08	0,08	0,27	3,8	0,6	0,21	0,03	0,002	7,2	99,79
26	62,2	18,04	4,6	0,91	0,68	1,41	1,84	0,71	0,05	0,03	0,002	9,5	99,91

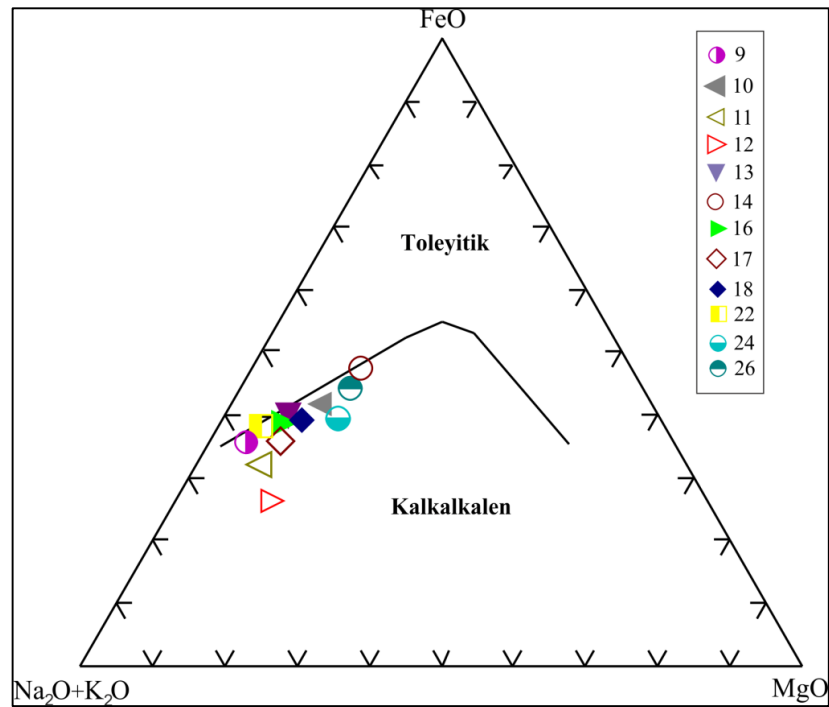
AZ: Ateş ziyatı



Şekil 68. Çan volkanitlerinin alkali-silika diyagramı (Cox ve ark., 1979).



Şekil 69. Çan volkanitlerinin alkalen-subalkalen ayrımını gösteren diyagram (Irvine ve Baragar, 1971).



Şekil 70. Çan volkanitlerinin kalkalkalen-toleyitik ayrımını gösteren AFM diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971).



Karacık ve Yılmaz (1997), Batı Anadolu'da kıta-kıta çarpışmasının geliştiğini ve buna bağlı olarak K-G yakınlaşmanın Erken Miyosen'e kadar sürmesiyle kıta kabuğunun kısıp kalınlaştığını ve böylece bölgede etkin olan magmatik faaliyetin sıkışma rejiminden kaynaklanmış çarpışma sonrası kalkalkalen karakterli magmatizma özellikleri sergilediklerini belirtmiştir. Bozcu ve ark. (2008), yaptıkları detaylı petrografik incelemeler sonucunda Çan volkanitlerinin yüksek potasyumlu ve kalkalkalen nitelikli bir magmadan kaynaklandığı belirlemiş, iz elementler vasıtası ile de Çan bölgesi volkaniklerine ait kayaların volkanik yay ortamı doğasını sergilediğini ve aynı kökenli bir magmadan türediğini ifade etmiştir.

#### 4.2.2. Çan formasyonun jeokimyası

Çan formasyonuna ait 4 ayrı lokasyondan jeokimyasal analiz için 2 adet kilitaşı, 2 adet kömür örneği alınmıştır. K-1 no'lu kömür örneği yüzeyden, K-2 no'lu kömür örneği ise İkizler Madencilik Şirketi'ne ait kapalı işletmeden, 40 m derinlikten temin edilmiştir. Örneklerin konumları ve uygulanan analiz yöntemleri Çizelge 7'de sunulmuştur.

Çizelge 7. Çan formasyonuna ait örnek alınan litolojilerin lokasyonu ve uygulanan analiz yöntemi

Litoloji	Örnek no	X	Y	Uygulanan analiz yöntemi			
				Jeokimyasal	XRD	SEM	EDX
Kömür	K-1	488035	4423708	✓		✓	
	K-2	487265	4422548	✓	✓	✓	✓
Kilitaşı	1	487732	4423416	✓		✓	
	3	488341	4424510	✓			

Kömürlerin majör oksit analiz sonuçlarına göre Si, Al ve Fe değişim aralığı sırasıyla % 10,7-26,83, % 7,88-10,97, % 3,5-8,19 arasındadır (Çizelge 8). Bu elementler dışındaki majör elementlerin değerleri genellikle % 1'in altındadır. Bu minerallerin değişim aralığı kömürün içerisindeki silis, kil ve sülfür minerallerinin kömürdeki derişimi ile ilişkilidir.

Kömür ile aynı çökelim ortamında bulunan killerin Si, Al ve Fe değişim aralığı sırasıyla % 51,35-61,25, % 14,8-19,8 ve % 2,34-2,96'dır. Killerin Al içeriği kömürlere göre oldukça yüksektir.

Çizelge 8. Çan formasyonuna ait majör oksit analiz sonuçları (%)

Kayaç	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AZ	TOP/C	TOP/S	Toplam
Kömür*	26,83	10,52	4,74	0,47	0,17	0,16	0,26	0,23	0,08	0,03	0,003	57,4	26,17	5,86	100,66
	24,87	10,4	5	0,46	0,15	0,12	0,32	0,21	0,09	0,03	0,003	58,9	26,19	6,04	100,56
	19,58	14,83	5,24	0,26	0,83	0,37	0,33	0,39	0,05	0,1	0,04	59,3	28,96	4,85	101,32
	10,7	7,88	4,12	0,25	1,05	0,25	0,15	0,23	0,04	0,01	0,003	75,4	41,39	4,52	100,08
	11,21	8,69	3,5	0,25	1,11	0,25	0,19	0,22	0,03	0,01	0,005	74,2	41,55	3,97	99,67
K-1	25,4	10,97	7,46	0,49	0,37	0,21	0,38	0,52	0,18	0,66	0,003	53,35	29,89	5,02	99,99
K-2	24,18	8,28	8,19	0,18	1,28	0,45	0,44	0,12	0,1	0,01	0,002	56,75	27,83	6,8	99,98
1	51,35	19,81	2,96	0,93	3,75	0,35	1,76	0,64	0,41	0,01	0,002	17,95	0,18	1,23	99,92
3	61,25	14,8	2,34	0,71	0,31	0,36	0,36	0,56	0,31	0,01	0,003	18,8	1,07	1,42	99,81

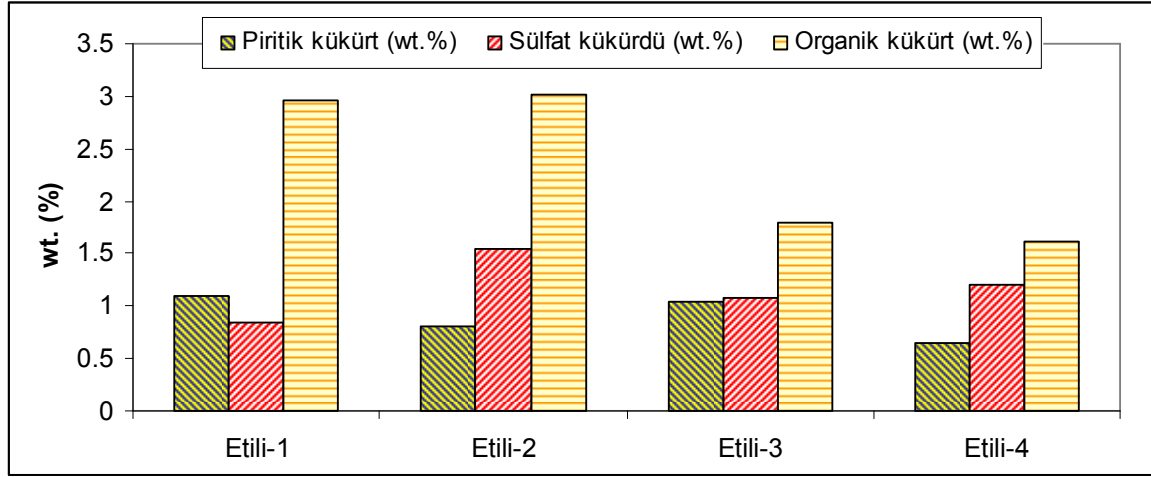
AZ: Ateş zayıyatı, TOP/C: Toplam karbon, TOP/S: Toplam kükürt

\*Kömür örneklerine ait ilk 4 analiz sonucu Baba ve ark. (2008) çalışmasından alınmıştır

Gürdal ve Bozcu (2011), Etili'de (Hacıkasım) terk edilmiş açık kömür ocaklarından aldıkları örneklerde, Çan formasyonuna ait kömürler içerisinde piritik, sülfat ve organik kükürt toplamının % 3,46-5,36 arasında değiştiğini belirtmiştir (Çizelge 9; Şekil 71). Bozcu ve ark. (2008), kükürt form analizlerinin, kükürtlerin ağırlıklı olarak organik ve piritik kaynaklı bileşenlerden oluştuğunu gösterdiğini ve piritik oluşumların hem anoksik ortam koşullarında sülfatın indirgenmesinden hemde havza jeolojisi gözetildiğinde volkanik kökenli malzemedan kaynaklandığı ifade etmiştir.

Çizelge 9. Kömür içerisindeki kükürt örneklerinin piritik, sülfat ve organik kükürt değerleri (%) (Gürdal ve Bozcu, 2011)

Örnek lokasyonu	Piritik kükürt	Sülfat kükürdü	Organik kükürt	Toplam kükürt
Etili-1	1,1	0,85	2,97	4,92
Etili-2	0,81	1,54	3,01	5,36
Etili-3	1,04	1,08	1,8	3,92
Etili-4	0,65	1,2	1,61	3,46



Şekil 71. Çan formasyonuna ait kömürlerinin kükürt dağılımı (wt. %) (Gürdal ve Bozcu, 2011).

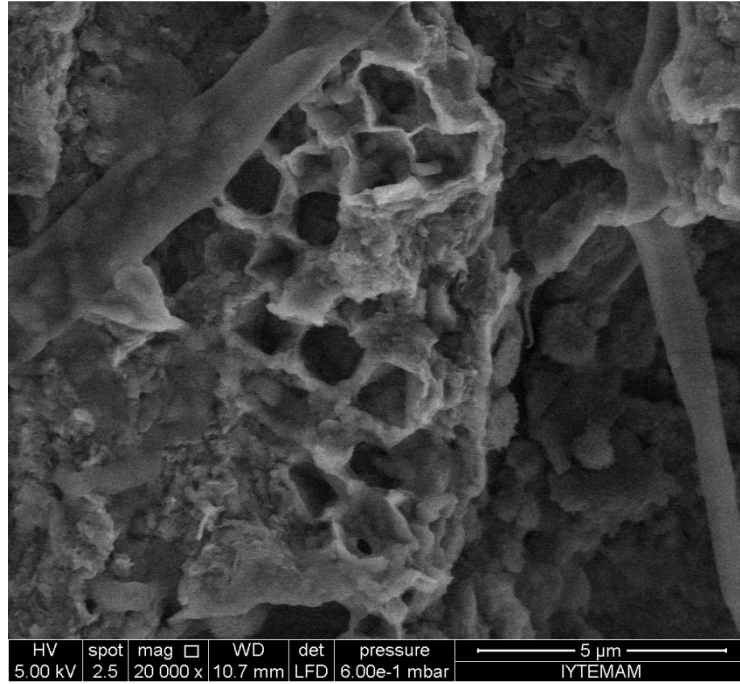
Kömürün içerisindeki iz elementler ya doğrudan kömürü oluşturan bitkilerden veya çökeltme ortamına ait sudan ya da havza içine taşınan kırıntılardan kaynaklanır (Ünalın, 2010). İz elementler kömürün maserallerine veya minerallerine (karbonat, sülfat, kil vb.) bağlı olarak bulunur (Pareek ve Bardhan, 1995). Çan formasyonuna ait kömürlerin bazı iz element sonuçları Çizelge 10'da sunulmuş, Dünya ortalamasından yüksek olan değerler koyu renkte yazılmıştır. As, B, Co, Cu, Pb ve Zn elementleri Dünya ortalama değerlerinin üzerindedir. Baba ve ark. (2008), Çan formasyonuna ait kömürler içerisinde As değerlerinin 6413 ppm'e kadar yükseldiğini belirtmiştir. Bozcu ve ark. (2008), kömürlerdeki yüksek As içeriğini pirit ile ilişkilendirmiştir.

Çizelge 10. Çan formasyonuna ait kömürlerin bazı iz element sonuçları ve Dünya ortalama değerleri (ppm)

As	B	Cd	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Referans
25,3	450,5	0,1	14,3	14	175,8	19,8	7,6	16,5	Tuncalı ve ark., 2002
29,9	166	2	71,2	47,8	VY	4,1	27,8	524	Baba ve ark., 2008
29,2	174	2	57,4	56,8		33	25,1	430	
115,4	435	0,1	9,2	30,1		9,3	27,7	35	
23,6	579	0,3	7,9	26,3		8,5	17,7	52	
16,7	618	0,1	5,4	25,3		7,1	21,5	46	Bu çalışma
29,2	417	0,2	7,1	59,8		4,2	18,6	13	
18,4	375	0,1	8,1	19,7		5,5	33,4	26	
10	50	0,5	5	15	70	20	20	50	Dünya ortalama değerleri (Swaine, 1990)

VY: Veri yok

Tuncalı ve ark. (2002), Etili (Hacıkasım) bölgesinden aldıkları kömür örneğinin inorganik madde bileşiminin % 19 olduğunu tespit etmiştir. Bu inorganik maddenin % 5,03'ünün jips, % 4,84'ünün pirit, % 4,47'sinin kaolinit, % 3,73'ünün kuvars, % 0,93'ünün smektit grubu kil olduğunu belirtmiştir (Çizelge 11). Bozcu ve ark. (2008), Çan havzasındaki kömürlerde gözlenen mineralleri; kil grubu mineraller (kaolinit, karışık tabakalı kil, illit), kuvars, mika/illit, pirit, feldispat ve amorf malzemedan oluştuğunu ve yanı sıra jips, zeolit grubu mineraller, tridimit ve klorit izlendiğini belirtmiştir. Baba ve ark. (2008), Etili (Hacıkasım) çevresinden aldıkları kömürlerin inorganik maddelerin amorf malzeme, karışık tabakalı kil, kaolinit, opal-CT, feldspat, pirit, zeolit grubu mineral (analsim+höylendit+klinoptilolit), jips, siderotil, kuvars, klorit, mika/illit, amfibol grubu mineralden (tremolit+aktinolit) oluştuğunu belirtmiştir (Çizelge 12). Kömürler içindeki kil mineralleri, bölgenin jeolojisi dikkate alındığında andezitik kayaçların hidrotermal ayrışma ürünü olarak oluşmuştur (Bozcu ve ark., 2008). K-1 no'lu kömür örneğinin elektron mikroskobu çekiminde petek yapılı jips kristalleri saptanmıştır (Şekil 72).



Şekil 72. Kömür içindeki petek yapılı jips kristallerinin elektron mikroskobu görüntüsü.

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

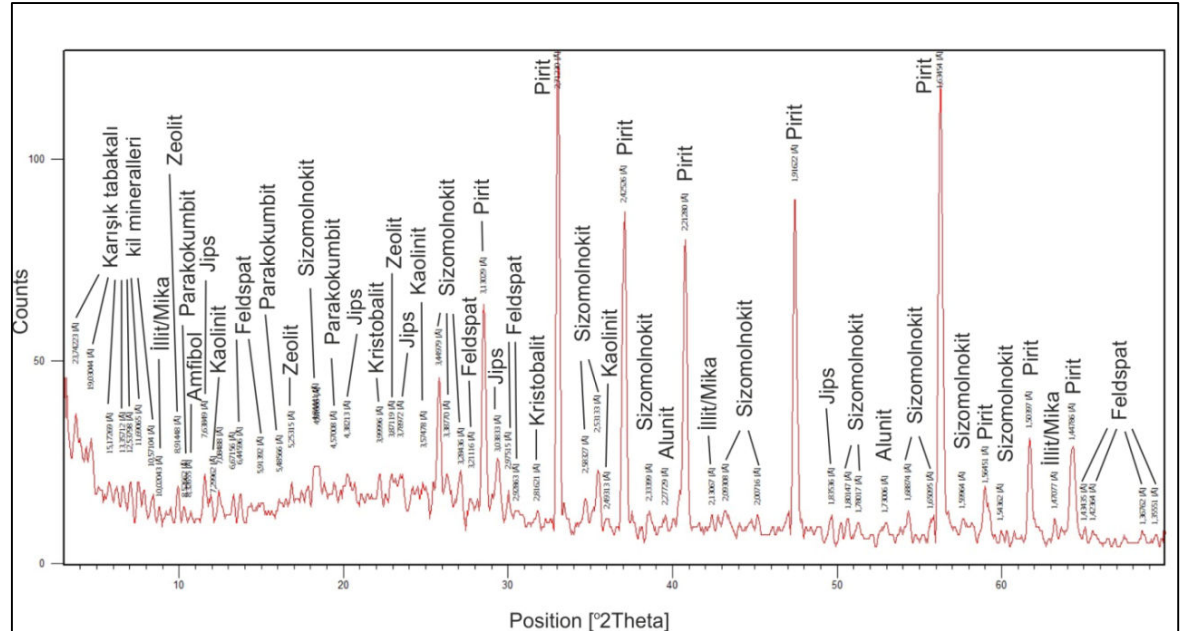
Çizelge 11. Etili kömür inorganik madde mineral içeriği (Tuncalı ve ark., 2002)  
(Koordinat: 487900-4424112)

Mineraloji (XRD)	Jips	Pirit	Kaolinit	Kuvars	Smektit grubu kil
İnorganik Toplam : % 19	5,03	4,84	4,47	3,73	0,93

Çizelge 12. Etili kömür inorganik madde mineral içeriği (Baba ve ark., 2008)

Lokasyon	Mineraloji (XRD)
Etili	Amorf malzeme, karışık tabakalı kil, kaolinit, opal-CT, feldspat, pirit, zeolit grubu mineral (analsim+höyländit+klinoptilolit), jips, siderotil, kuvars, klorit, mika/illit, amfibol grubu mineral (tremolit+aktinolit)
	Jips, kaolinit, pirit, amorf malzeme, feldspat, kuvars, karışık tabakalı kil, opal-CT, mika/illit, zeolit grubu mineral (höyländit+klinoptilolit), siderotil, klorit, amfibol grubu mineral (tremolit-aktinolit)

K-2 no'lu kömür örneğinin mineral bileşimi, majör olarak pirit ve sizomolnokit minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 73; Çizelge 13). Sulu demir sülfat minerali olan sizomolnokit mineralinin ( $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), AMD gelişim sürecinde doğal alterasyon sonucu oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 73. İkizler madencilikten alınan (K-2) kömür örneğinin XRD grafiği.

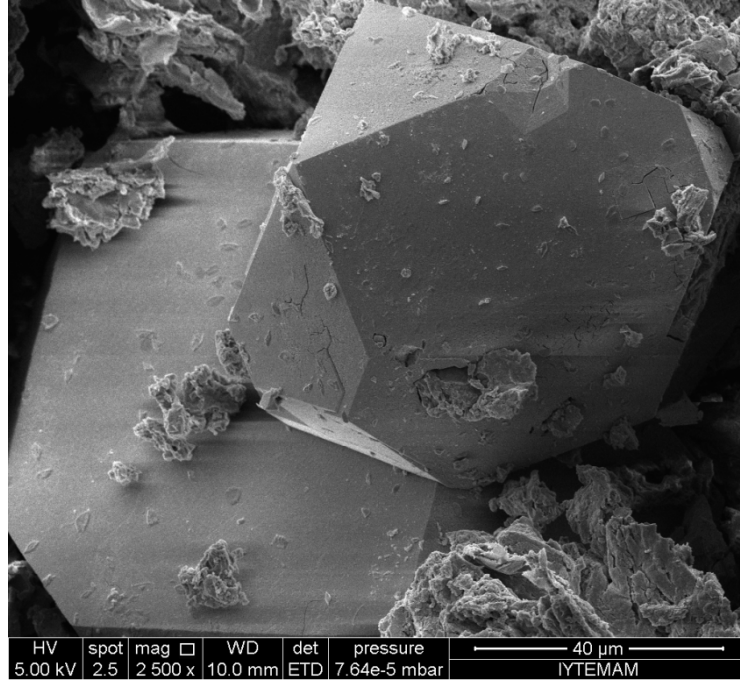
Çizelge 13. K-2 no'lu kömür örneğinin mineral içeriği

Mineral	Miktar
Pirit	Majör
Sizomolnokit	Majör
Karışık tabakalı kil minerali	Az
Amorf malzeme	Az
Jips	Az
Klorit grubu mineral	Eser
Parakokumbit	Eser
Zeolit (Höylandit- Klinoptilolit)	Eser
Feldspat grubu mineral	Eser
Kristobalit	Eser
İllit/Mika grubu mineral	Eser
Kaolinit grubu mineral	Eser
Amfibol grubu mineral	Eser
Alunit grubu mineral	Eser

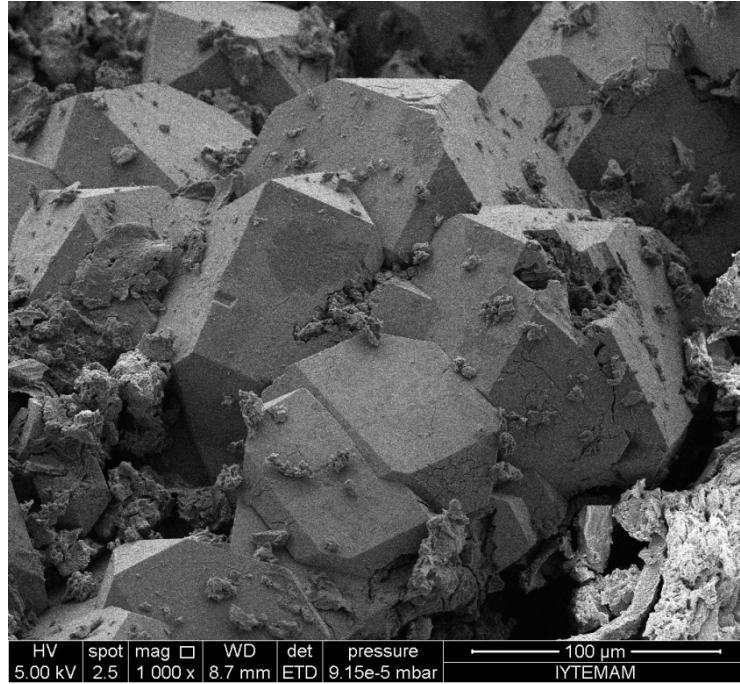
K-2 no'lu kömür örneğinin pirit minerallerinin arazi görüntüsü Şekil 74'de sunulmuştur. Elektron mikroskobu görüntüsünde, pirit mineralinin kristal yapısı "pentagondodekaeder" ve "piritoeder" dir (Şekil 75; 76). EDX sonuçlarına göre pirit minerali % 69,60 S, % 30,4 Fe içermektedir (Şekil 77). Kömürlerin tüm elektron mikroskobu çekimlerinde pirit mineralleri öhedral kristaller olarak saptanmıştır. K-1 no'lu kömür örneğinde elektron mikroskobu görüntüsünde saptanan pirit mineralinin kristal yapısı "ikosaeder" olup, piritlerin tane boyutu 1 µm'dan küçüktür (Şekil 78).



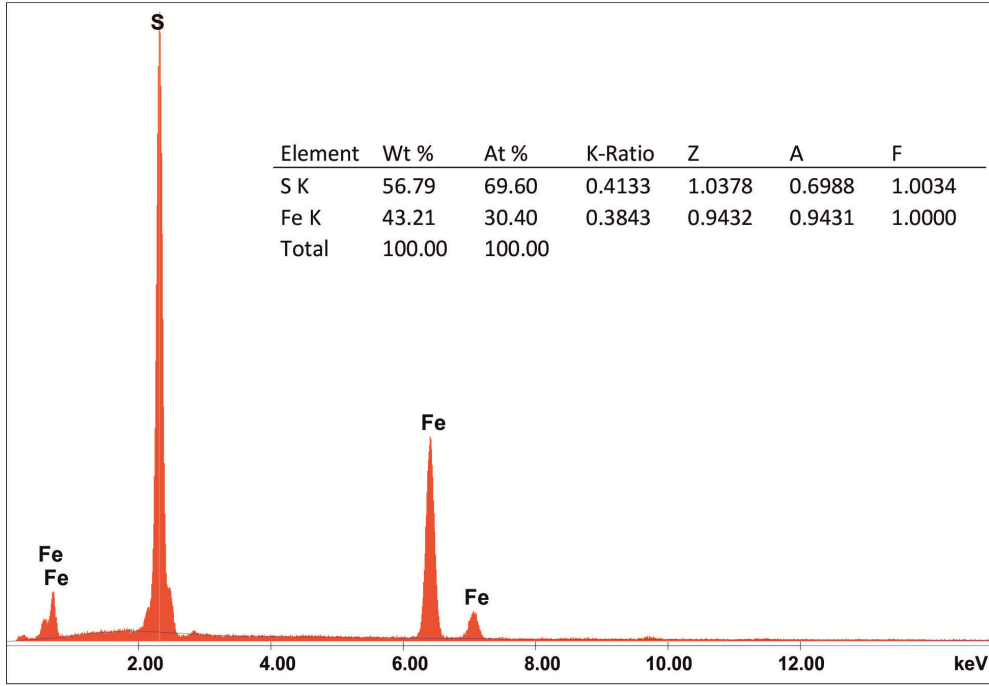
Şekil 74. Kömürde pirit içeren seviyeler.



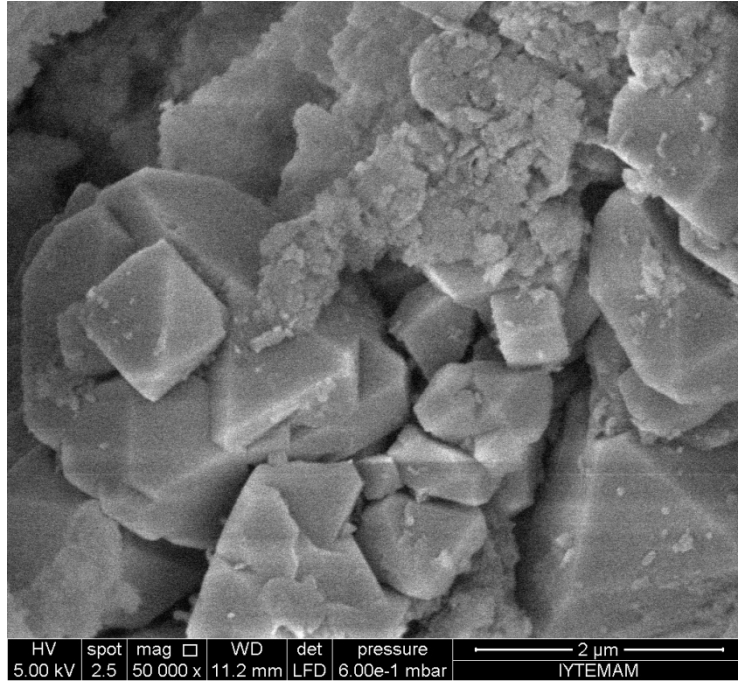
Şekil 75. K-2 no'lu kömür örneği içerisindeki pirit mineralleri (pirit mineralinin kristal yapısı: pentagondodekaeder).



Şekil 76. K-2 no'lu kömür örneği içerisindeki pirit mineralleri (pirit mineralinin kristal yapısı: piritoeeder).



Şekil 77. Pirit mineralinin EDX sonucu.



Şekil 78. Kömür içerisindeki pirit mineralleri (pirit mineralinin kristal yapısı: ikosaeder).

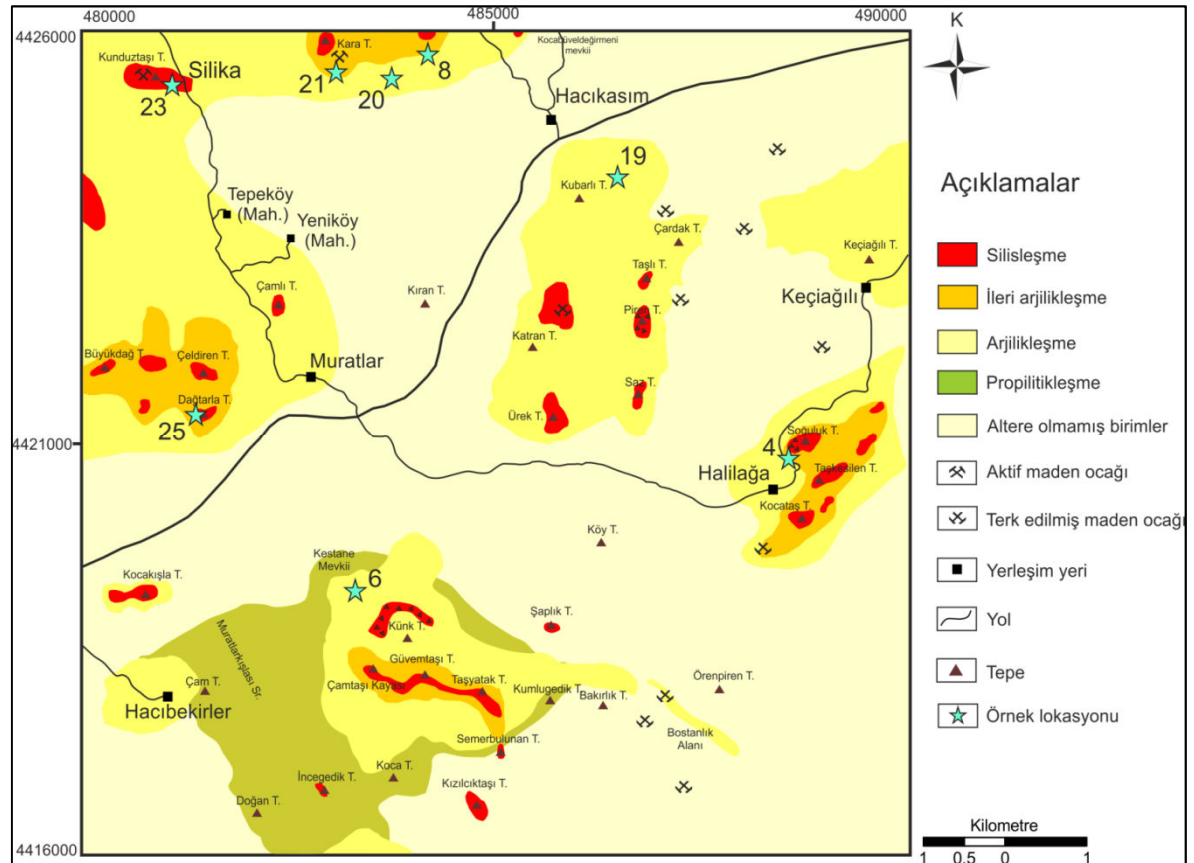


**4.2.3. Alterasyon zonlarının jeokimyası**

Çalışma alanında 3 farklı alterasyon (silisik, arjilik ve propilitik) tipi saptanmıştır. Bu alterasyon zonlarından alınan örnekler ile mineralojik özellikler belirlenmiştir. Örnekleme yapılan noktalar Çizelge 14 ve Şekil 79'de sunulmuştur.

Çizelge 14. Jeokimyasal analizleri yapılan alterasyon zonları ve lokasyonları

Alterasyon türü	Örnek no	X	Y	Uygulanan analiz yöntemi			
				Jeokimyasal	XRD	SEM	EDX
Silisik	4	488498	4420847		✓	✓	✓
Arjilik	6	483156	4419201		✓		
İleri arjilik	8	484136	4425794		✓	✓	✓
Arjilik	19	486243	4424214	✓		✓	
Arjilik	20	483868	4425463	✓			
İleri arjilik	21	483058	4425534	✓		✓	
Silisik	23	481064	4425318	✓		✓	
Silisik	25	481192	4421672	✓			



Şekil 79. Alterasyon zonlarından jeokimyasal analiz için alınan örnek lokasyonu.

**4.2.3.1. Silisleşme**

Silisleşme, Miyosen yaşlı Çan volkanizması sonucu gelişen hidrotermal sistemlere bağlı olarak hidrotermal alterasyon sonucunda oluşmuştur. Silisik kayalar koyu gri renkli, yer yer kırıklı ve çatlaklı bir yapı sunmaktadır. Erozyon ve aşınma sonucu silisifiye zonların etrafındaki yan kayalar aşınmış, silisifiye zonlar sert ve dayanıklı olmaları nedeniyle aşınmayarak topografyada sarp ve sivri tepeleri oluşturmuştur. Çalışma alanının en önemli yükseltisi olan Güventaşı tepe (598 m) silisifiye zonludur.

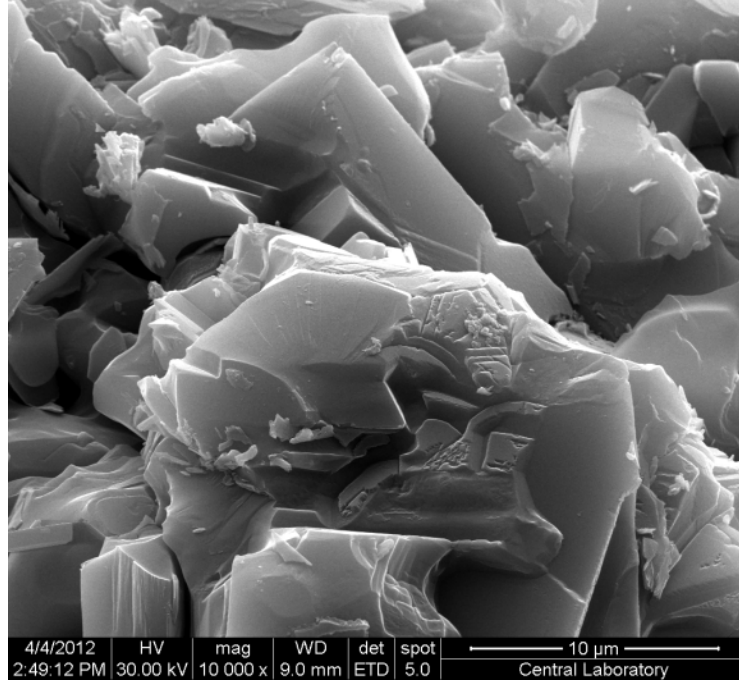
Jeokimyasal analiz için silisleşmiş kayaç örnekleri Kunduztaşı tepe ve Dağtarla tepenin kuzeybatısından alınmıştır. Ayrıca, Kunduztaşı tepede işletme faaliyetlerini sürdüren Sertaş Madencilik Şirketi'nin internet sitesindeki majör oksit sonuçları da değerlendirilmiştir. Silikaların SiO<sub>2</sub> içeriği hidrotermal alterasyon nedeni ile % 95'den fazladır (Çizelge 15). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği % 0,29-1,4 ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ise % 0,07-1,99 arasında değişmektedir.

Çizelge 15. Silikanın majör oksit sonuçları (%)

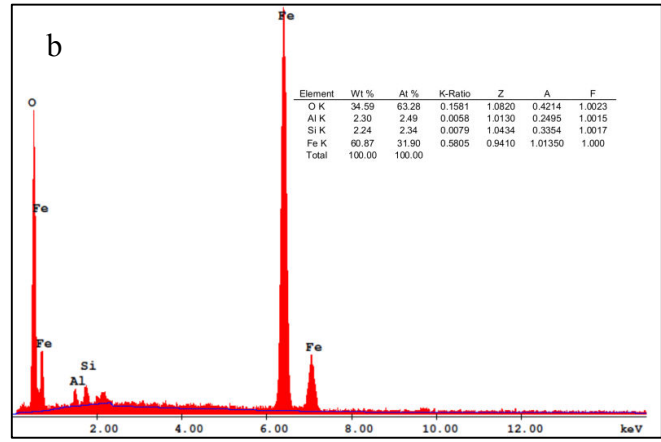
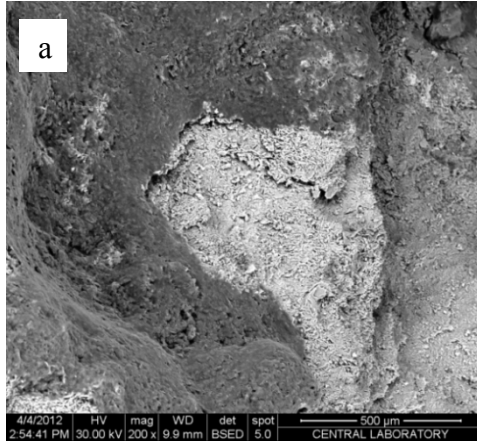
Lokasyon	Örnek no	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AZ	Toplam
Kunduztaşı T.	Sertaş maden	97,24	1,4	0,07	0,05	0,1	0,04	0,04	0,053	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,23	99,7
Kunduztaşı T.	23	98,06	0,29	0,35	0,01	0,03	0,01	0,02	0,67	0,02	0,01	0,008	0,5	99,97
Dağtarla T.	25	95,93	0,45	1,99	0,03	0,06	0,02	0,02	0,32	0,01	0,01	0,006	1,2	100,04

AZ: Ateş zayılatı

Silisleşmiş kayaların makro örneklerinde, bunların sert bir görünüm sundukları ve konkoyidal kırılma yüzeylerine sahip oldukları gözlenmiştir. Elektron mikroskobu görüntüsünde, oldukça sert, kırılma yüzeyleri midye kabuğu şeklindedir (Şekil 80). Silisleşme zonları, sınırları boyunca koyu kırmızı bir renk alıp, hematitleşmeler gözlenmiştir. Bu kısımlar, masif kısımlara göre daha dayanımsızdır. Hematitleşme ve limonitleşme ile birlikte silikaların içerdiği Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı artmaktadır. Elektron mikroskobu, back scatter çekimlerinde özgül ağırlığı fazla olan elementler açık renkte gözükür. Silisleşmiş kayaç içerisindeki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zonu ve EDX ile element yüzdeleri Şekil 79'da sunulmuştur. Açık renkli olarak gözükten mineraller; % 31,9 Fe ve % 63,28 O içermektedir.



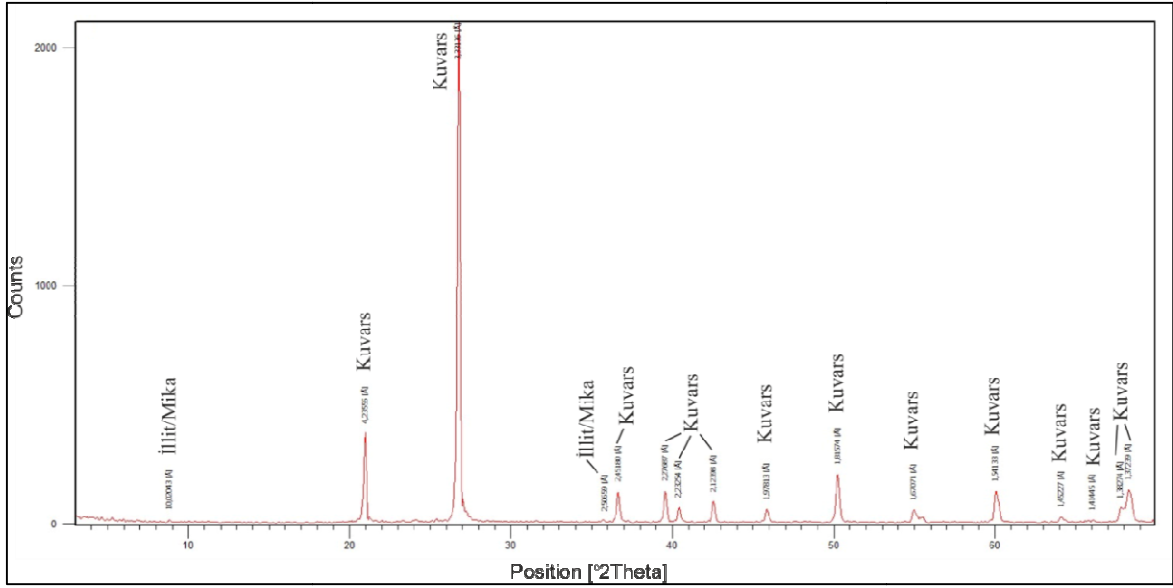
Şekil 80. Silisleşmiş kayacın midye kabuğu şekilli kırılma yüzeylerinin görünümü.



Şekil 81 a. Silisleşmiş kayacın Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zonları (açık renkler), b. EDX analiz sonucu.

Halılağa köyü girişinde Soğuluk tepeden alınan silisleşmiş 4 no'lu kayaç örneğinin mineral bileşimi büyük oranda kuvarstan, eser oranda illit/mika grubu minerallerden oluşmaktadır (Şekil 82; Çizelge 16). Silisleşmiş kayacın breşik kısımları götit ve hematit matriksidir (Şekil 83a). Elektron mikroskobu görüntüsünde, götit ve hematit matriksin

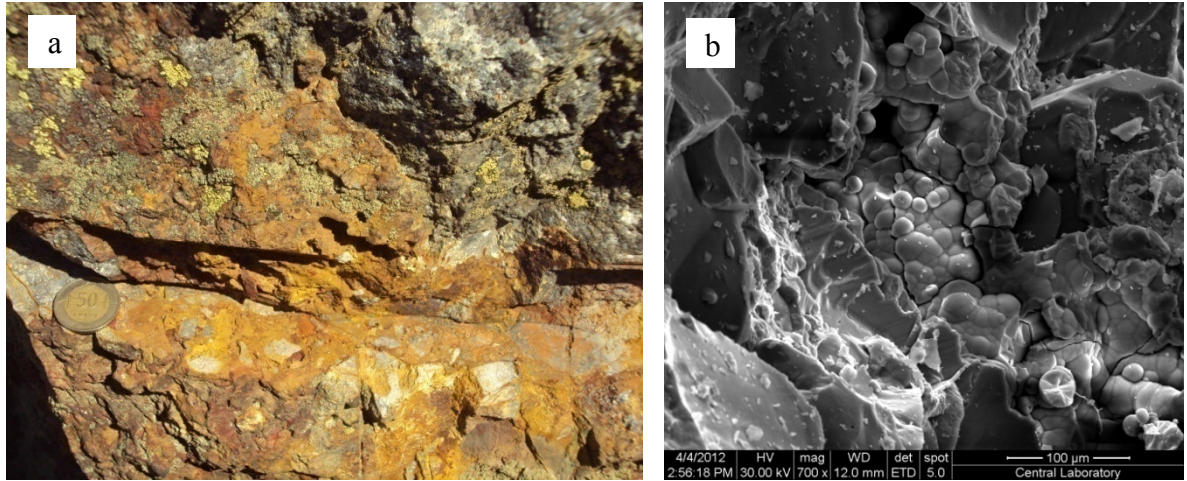
batriyoidal kristalleri saptanmıştır (Şekil 81b). Silisik alterasyonda yapılan EDX sonuçlarına göre % 32,10 S, % 67,47 O, % 0,26 Al ve % 0,17 Fe içermektedir (Şekil 84).



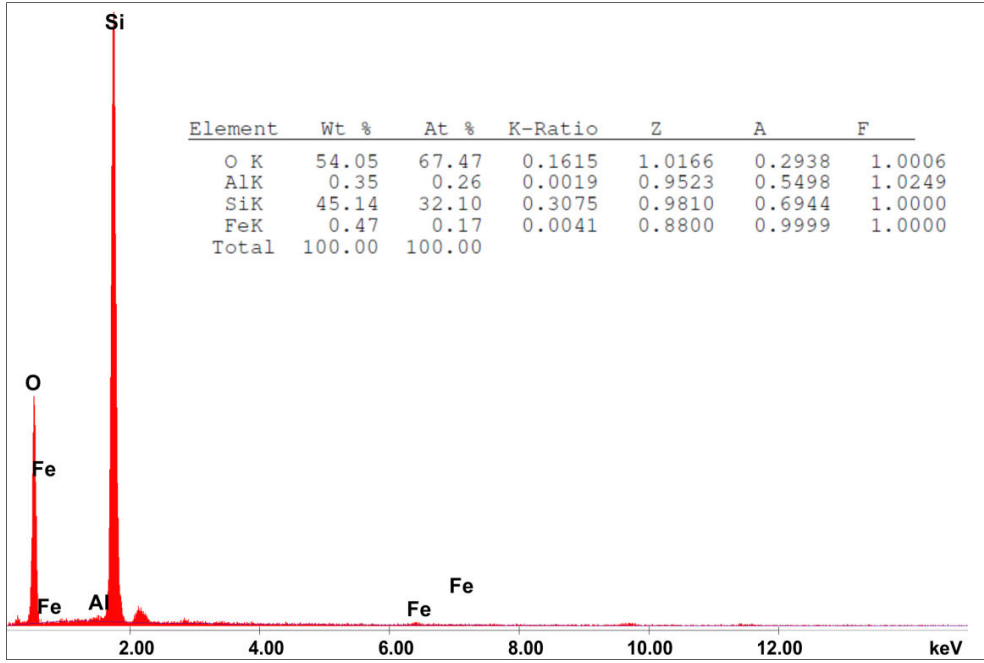
Şekil 82. 4 no'lu örneğin XRD sonuçları.

Çizelge 16. 4 no'lu örneğin mineral içeriği

Mineral	Miktar
Kuvars	Majör
İllit/Mika grubu mineral	Eser

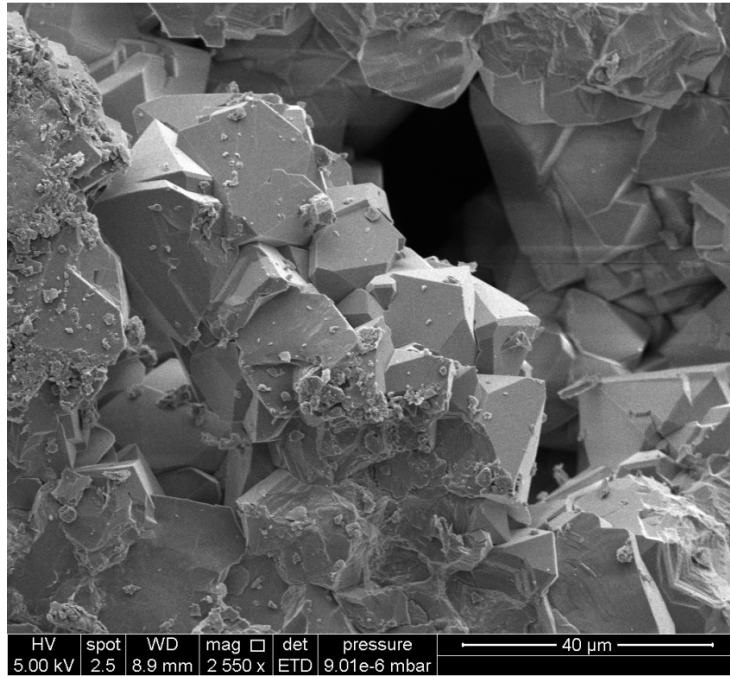


Şekil 83. Soğuluk tepede silisik alterasyonda gözlenen götit-hematit maktriksli monolitik breşlerin a. Arazi b. Batriyoidal kristallerin elektron mikroskobu görüntüsü.



Şekil 84. Soğuluk tepede gözlenen silisik alterasyonun EDX sonucu.

Silisik alterasyonda, ince ve parlak kesitlerde olduğu gibi, elektron mikroskobu çekimlerinde pirit mineralleri saptanmıştır. Boşluk dolgusu şeklinde gözlenen pirit mineralleri özşekillidir (Şekil 85).



Şekil 85. Soğuluk tepede silisik alterasyonda gözlenen pirit kristalleri.

**4.2.3.2. Arjilik/İleri arjilik alterasyon**

Çalışma alanında, silisleşme zonlarının çevresinde killeşmiş zonlar bulunmaktadır. Arjilik alterasyon zonundan alınan 19 no'lu kayaç örneği Kubarlı tepeden, 20 ve 21 no'lu örnekler ise Kara tepenin güneyinden alınmıştır. Örnekler; % 56,04-77,95 SiO<sub>2</sub>, % 13,47-16,36 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 0,28-21,94 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermektedir (Çizelge 17). Diğer major oksit değerleri % 1'in altındadır. İleri arjilik zondan alınan 21 no'lu örnek, en yüksek SiO<sub>2</sub> içeriğine sahiptir. Çalışma alanında örnekleme yapılan kayaçlar arasında 623,3 ppm değeri ile en yüksek As değerine sahip olan kayaç 20 no'lu örnektir (Çizelge 18). Kalemaden'in Çaltıkara kaolen ocağından alınan 21 no'lu örneğin elektron mikroskobu görüntüsünde kaolinit kristallerinin istif şeklinde dizildiği saptanmıştır (Şekil 86). 20 no'lu örneğin elektron mikroskobu görüntüsünde ise kaolinit kristalleri hegzagonal levhalar şeklindedir (Şekil 87).

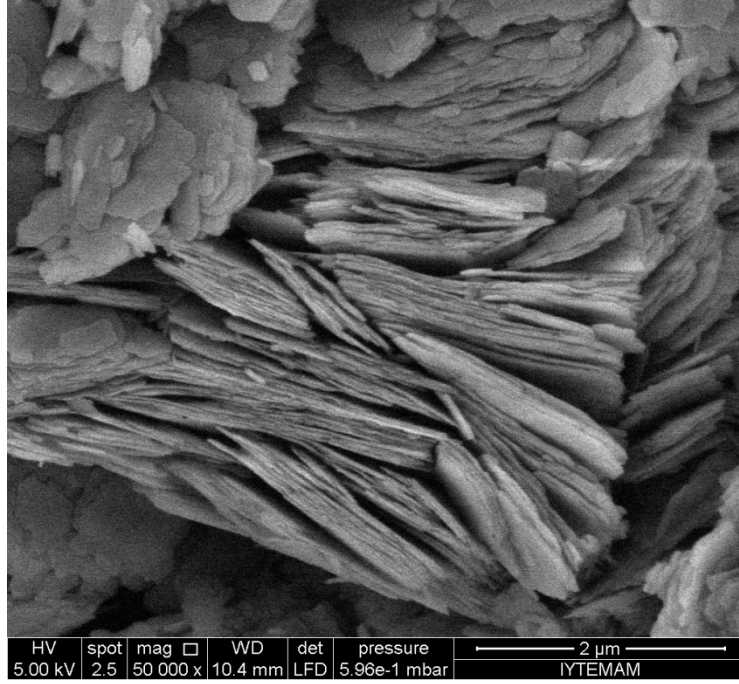
Çizelge 17. Arjilik zonda gözlenen kayaçların majör oksit değerleri (%)

Örnek No	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AZ	Toplam
19	70,16	16,36	1,11	1,03	0,06	0,11	3,93	0,99	0,08	0,01	0,003	6	99,84
20	56,04	13,47	21,94	0,02	0,12	0,06	0,11	0,74	0,27	0,1	0,018	7	99,77
21	77,95	13,86	0,28	0,01	0,33	0,05	0,1	0,59	0,24	0,01	0,002	6,3	99,72

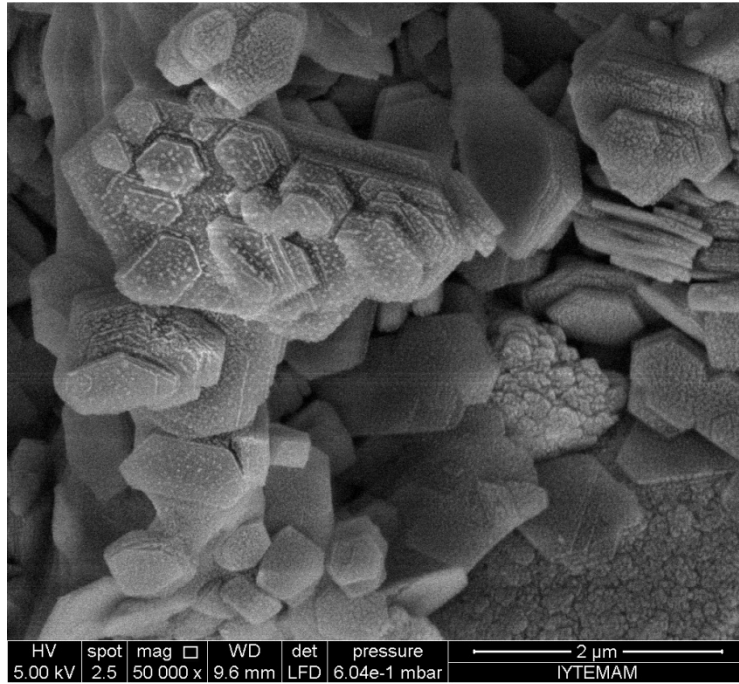
AZ: Ateş ziyatı

Çizelge 18. Arjilik alterasyondaki bazı iz element sonuçları (ppm)

Örnek no	As	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
19	6,5	< 0,1	0,9	2,5	0,4	2,1	3
20	<b>623,3</b>	< 0,1	1,5	6,3	1	9,8	8
21	<b>52,1</b>	< 0,1	0,2	1,3	0,4	8,4	2

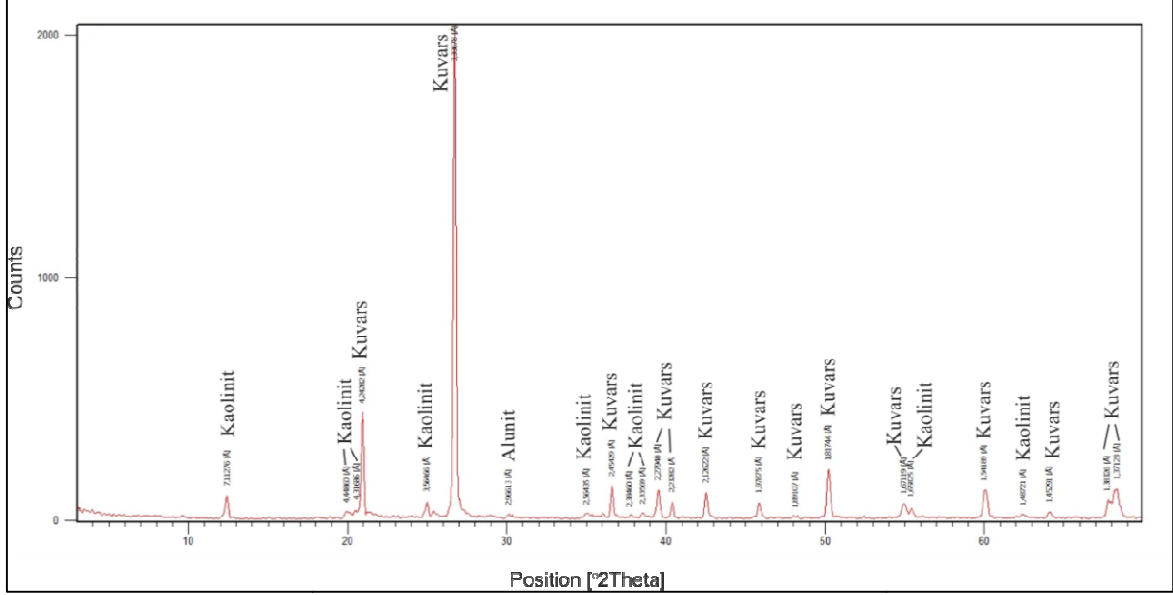


Şekil 86. Çaltıkara kaolen ocağındaki kaolinit kristalleri istifi.



Şekil 87. 20 no'lu örnekte saptanan hekzagonal kaolinit kristalleri.

8 no'lu, ileri arjilik alterasyona uğramış örnek Kara tepenin doğusundan alınmıştır. Örneğin, mineralojik analizleri sonucunda majör kuvars, az kaolinit ve eser miktarda alunit içerdiği saptanmıştır (Şekil 88; Çizelge 19).



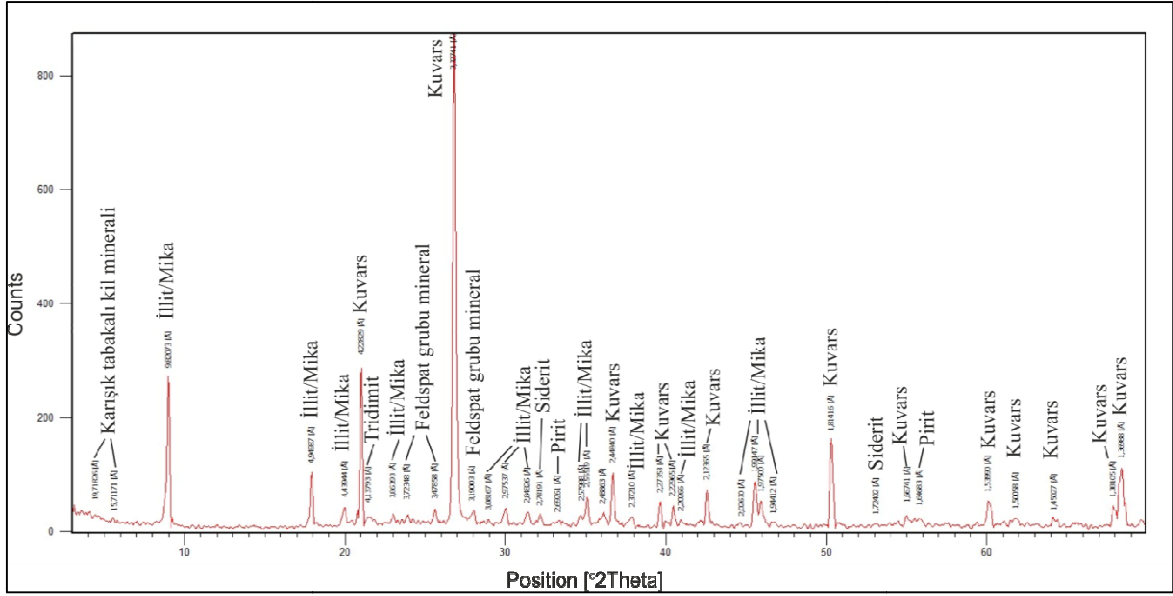
Şekil 88. 8 no'lu örneğin XRD sonuçları.

Çizelge 19. 8 no'lu örneğin mineral içeriği

Mineral	Miktar
Kuvars	Majör
Kaolinit	Az
Alunit	Eser

Kestane mevkisinden alınan 6 no'lu arjilik alterasyona uğramış örneğin majör mineral bileşimi kuvars ve illit/mika grubu minerallerden oluşmaktadır (Şekil 89; Çizelge 20).





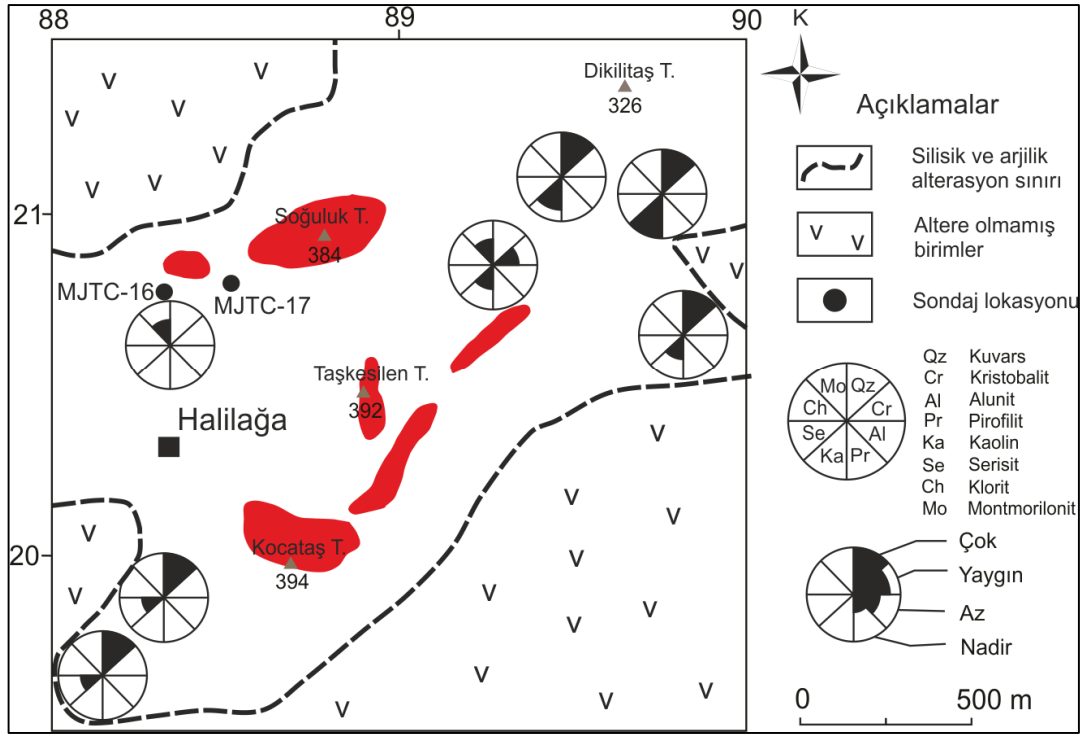
Şekil 89. 6 no'lu örneğin XRD sonuçları.

Çizelge 20. 6 no'lu örneğin mineral içeriği

Mineral	Miktar
Kuars	Majör
İllit/Mika grubu mineral	Majör
Feldspat grubu mineral	Eser
Amorf malzeme	Eser
Tridimit	Eser
Pirit	Eser
Siderit	Eser
Karışık tabakalı kil minerali	Eser

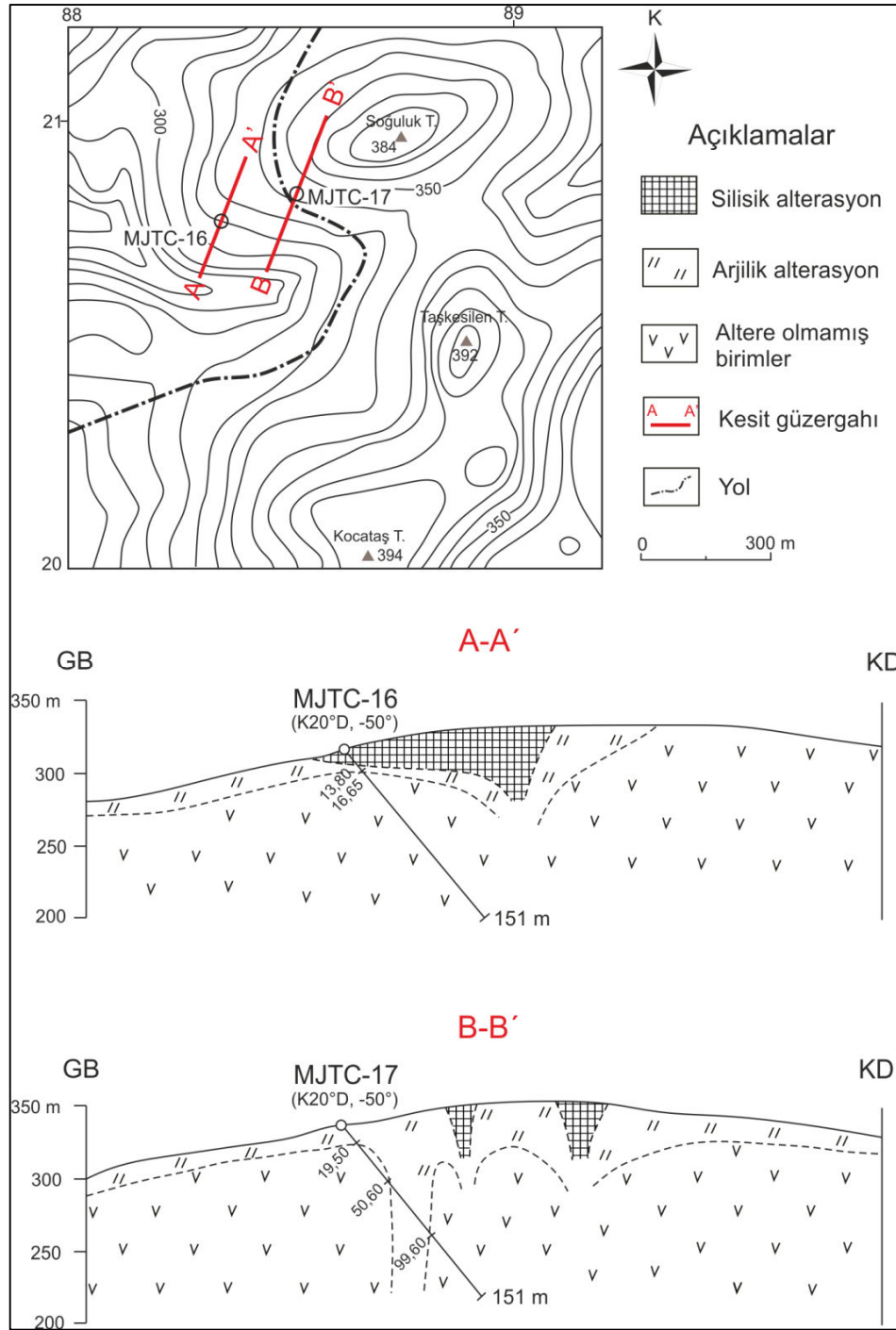
Künk tepe, Taşyatak tepe ve Güvemtaş tepeinin çevresinde gelişen ileri arjilik alterasyon andezitlerin kuvars ve alunit alterasyonu, arjilik alterasyon ise feldspatların kaolen ve smektite altere olmasıyla gelişmiştir. (SRK, 2012a).

Halılağa köyü çevresinde K70-80°B doğrultusunda silisleşmiş zonun etrafındaki arjilik zondan alınan örneklerin XRD sonuçlarında kuvars, kaolen, alunit, kristobalit ve az miktarda serisit, pirofilit, montmorillonit ve klorit minerallerini saptanmıştır (MTA, 1991) (Şekil 90).



Şekil 90. Soğuluk tepe ve çevresinin alterasyon haritası ve kayaçların mineral bileşimleri (MTA, 1991).

MTA (1991) tarafından, Halılağa köyündeki Soğuluk tepe, Taşkesilen tepe ve Kocataş tepe epitermal tipi altın mineralizasyon sahası olarak tanımlanmıştır. Soğuluk tepenin güneybatısında araştırma amacıyla iki tane sondaj (MJTC-16 ve MJTC-17) açılmıştır. Sondajlar ile ilgili detaylı bilgi Çizelge 21'de sunulmuştur. MJTC-16 no'lu sondaj, yüzeyden 13,8 m'ye kadar silisik altere zonu, 13,8 ile 16,65 m arasında arjilik altere zonu, 16,65 m ile 151 m'ye kadar altere olmamış birimleri kesmiştir (Şekil 91). MJTC-17 no'lu sondaj ise yüzeyden 19,5 m'ye kadar arjilik altere zonu, 19,5 ile 50,6 m arasında altere olmamış birimleri, 50,6 ile 99,6 m arasında arjilik altere birimleri, 99,6 m ile 151 m arasında altere olmamış birimleri kesmiştir. Enine kesitler arjilik zonun kalınlığının yaklaşık olarak 10-20 m arasında değiştiğini göstermektedir.

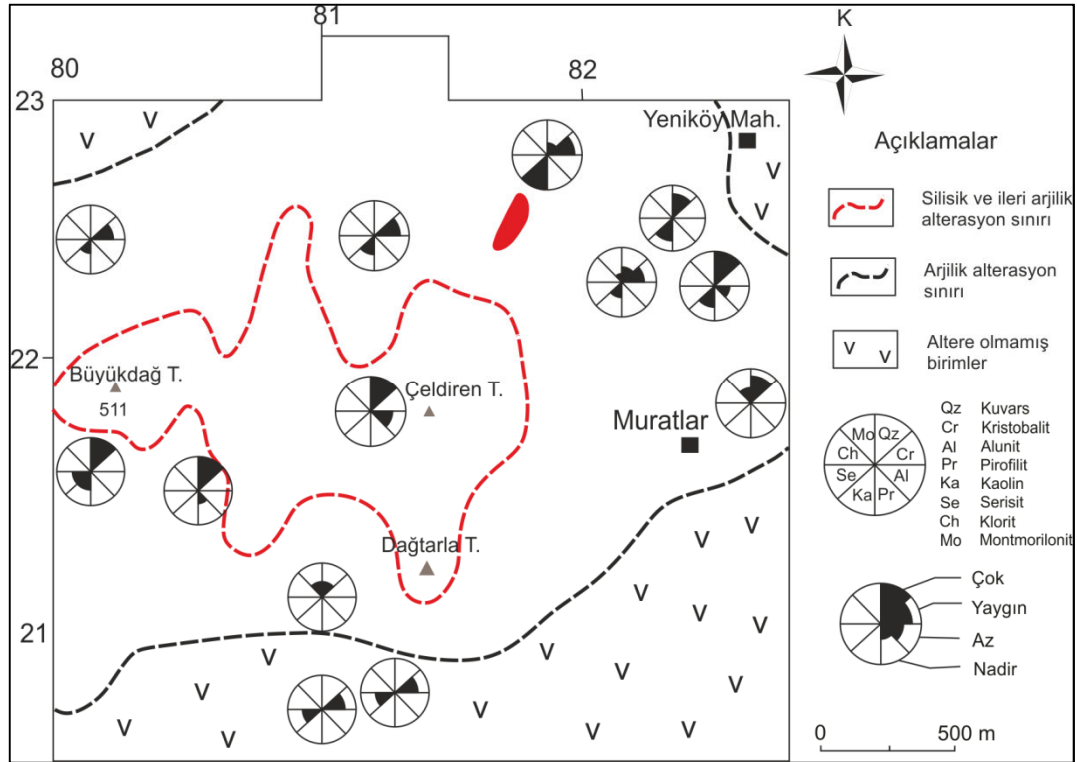


Şekil 91. Soğuluk tepede yapılan sondajların enine kesitleri (MTA, 1991).

Çizelge 21. MTA'nın Soğuluk tepede açtığı araştırma sondajları bilgileri (MTA, 1991)

Adı	X	Y	Z (m)	Yön	Açı (°)	Derinlik (m)	Toprak kalınlığı (m)
MJTC-16	488338	4420785	316	K20D	50	151	2,8
MJTC-17	488500	4420805	332	K20B	50	151	1,8

SRK (2012a), Muratlar köyü ve çevresinde arjilik alterasyon gösteren kayalarda kaolin ve smektit, ileri arjilik alterasyon gösteren kayalarda kuvars ve alunit minerallerinin gözlemlendiğini belirtmiştir. MTA (1991) tarafından, Çeldiren tepe ve çevresinde alterasyon zonunun doğu-batı genişliğinin 2 km, kuzey güney genişliğinin ise 1 km olduğu belirtilmiştir (Şekil 92). İleri arjilik zonda kuvars ve alunit mineralleri, arjilik zonda ise kuvars, kaolinit, kristobalit, serisit, montmorillonit mineralleri saptanmıştır.

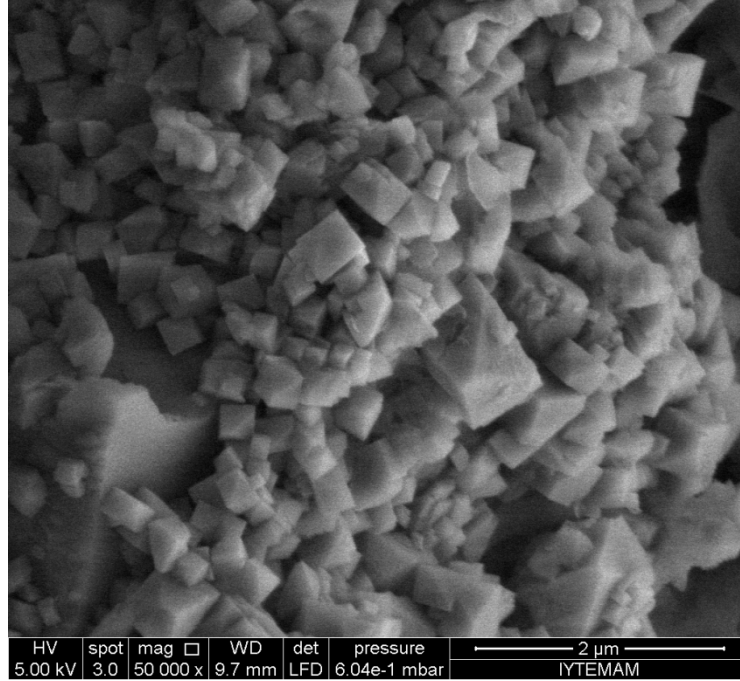


Şekil 92. Muratlar köyü ve çevresinin alterasyon haritası (MTA, 1991).

Muratlar köyünün güneybatısında, MTA (1991) tarafından yapılan araştırma sondajlarında saptanan piritlerin dissemine olduğu ve atomik olarak % 31,71 Fe, % 68,19 S'den oluştuğu belirtilmiştir.

Yiğit (2012), yüzeydeki arjilik alterasyona uğramış zonların nedeninin piritin oksidasyonu olduğunu belirtmiş ve Au zengin sahalarda en bol bulunan sülfid mineralinin pirit olduğunu belirtmiştir.

Arjilik alterasyona uğramış andezitlerde elektron mikroskobu görüntülerinde küp sisteminde kristallenen, tane boyu 1 µm'den küçük pirit mineralleri saptanmıştır (Şekil 93).



Şekil 93. Arjilik alterasyona uğramış andezitler içerisinde gözlenen pirit mineralleri.

#### 4.2.3.3. Propilitik alterasyonun jeokimyası

Çan volkanitlerine ait propilitik alterasyona uğramış andezitlerde yapılan XRD analizlerinde kuvars, feldspat, klorit, kalsit ve pirit mineralleri, ince kesitlerde ise ortoklas, epidot, klorit, kuvars, az kalsit ve opak mineraller saptanmıştır. Amfibollerden dönüşmüş kloritler mavimsi yeşil renkli ve ışınısaldır. Kalsit mineralleri ikincil olarak oluşmuştur.

Grieve (2009), Kumlugedik tepede propilitik alterasyona uğrayan Karakaya kompleksine ait metavolkaniklerde yaptıkları ince kesitlerde klorit, epidot, aktinolit ve kuvars mineralleri saptandığını belirtmiştir. Kestane mevkisinin çevresinde, Çan volkanitlerine ait kayaçların yüzlek verdiği propilitik alterasyon zonunda; klorit, epidot, aktinolit, smektit, karbonat, pirit ve kuvars mineralleri bulunmaktadır (SRK 2012a).

#### 4.2.4. İkincil minerallerin jeokimyası

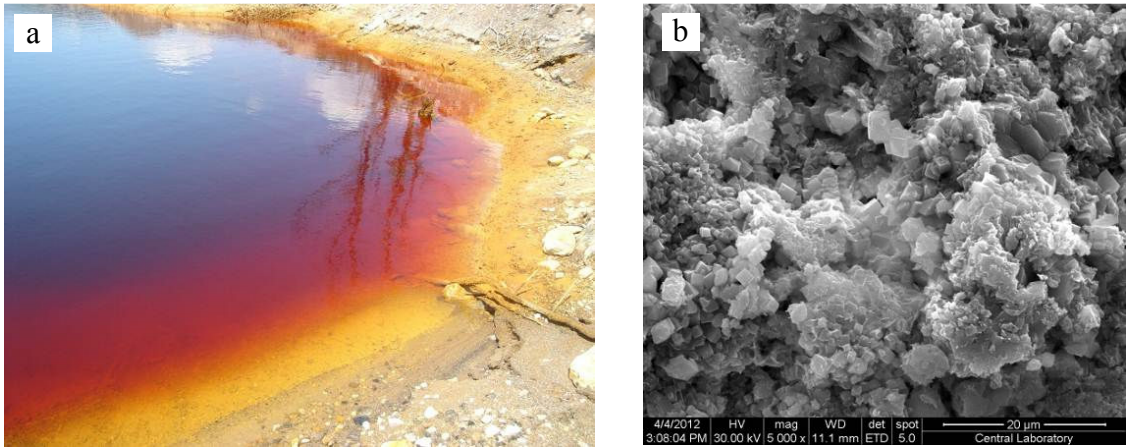
Asit maden sahaları ile temas eden suların mevcut minerallerden çözünebilenleri çözmesi ve çözünen iyonların yeniden katı faza dönüşerek çökmesi ile ikincil mineraller oluşur (Karadeniz, 2008). İkincil minerallerin oluşumunda nem, sıcaklık ve pH'daki değişimler son derece hassastır. Özellikle sülfatlar açısından havanın etkisi öne

çıkmaktadır. Bölgenin iklim ve topografik yapısı belirleyicidir. Çalışma alanında en yaygın olarak gözlenen ikincil mineral oluşumları; jips ve jarositir.

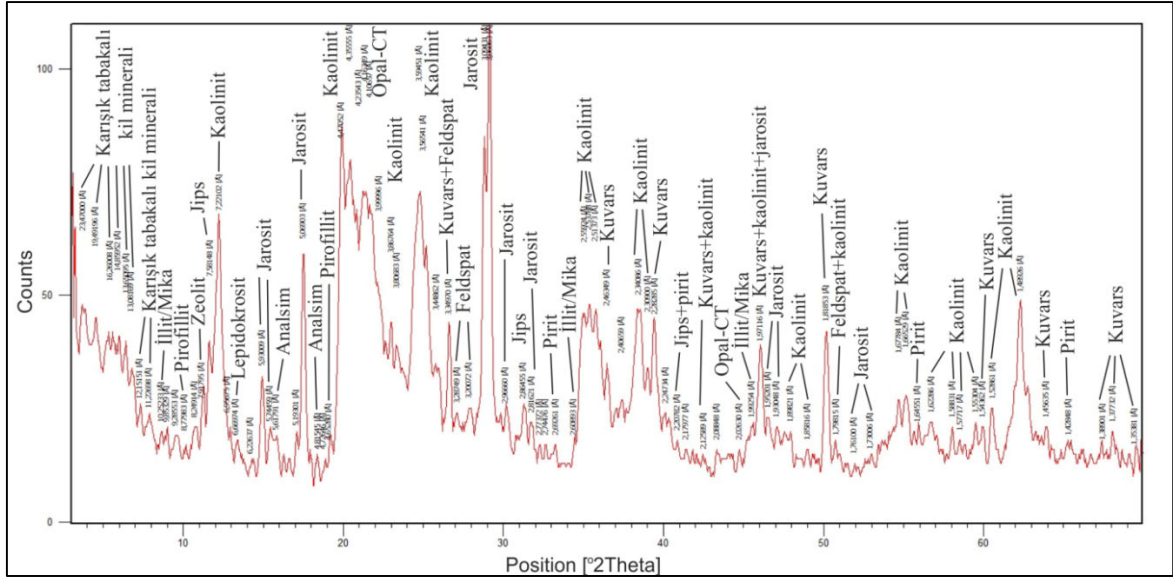
#### 4.2.4.1. Jarosit

Pirit ve diğer sülfürlü mineraller aşırı indirgen ortamlarda oluşurlar ve serbest oksijenin bulunduğu ortamlarda dengede kalamazlar. Bu nedenle sülfürlü mineraller yüzey şartlarında barındıklarında oksitlenir ve çözünürler. Oksidasyon sonucu yüzeysel şartlarda duraylı olan sulu Fe oksitler oluşur. Eğer ortamda bol miktarda sülfat iyonları varsa ( $\text{pH} < 4$ ) bu takdirde jarosit oluşur (Akçay, 2002). Çalışma alanında jarosit mineralleri, asit maden göllerinin dip sedimanında, kükürtçe zengin seviyelerde saptanmıştır.

Jarosit mineralleri, asit maden göllerinin tabanında çimentolanarak, yaklaşık 10-15 cm kalınlığında geçirimsiz bir katman oluşturmuştur. Şekil 94a'da jarosit minerallerinin arazi görünümü, Şekil 94b'de psödokübik jarosit minerallerinin elektron mikroskobu görünümü sunulmuştur. Dip sedimanında jarosit dışında majör olarak, opal-CT, kaolinit, karışık tabakalı kil mineralleri, amorf malzeme, jips ve klorit grubu mineraller bulunmaktadır (Şekil 95; Çizelge 22).



Şekil 94. Jarosit minerallerinin a. Arazi, b. elektron mikroskobu görünümü.



Şekil 95. AMG dip sedmanı XRD grafiği.

Çizelge 22. AMG dip sedmanı mineral içeriği

Mineral	Miktar
Jarosit	Majör
Opal-CT	Majör
Kaolinit	Majör
Karışık tabakalı kil minerali	Majör
Amorf malzeme	Majör
Jips	Majör
Klorit grubu mineral	Majör
Kuvars	Az
Zeolit	Az
Feldspat grubu mineral	Eser
İllit/Mika grubu mineral	Eser
Pirit	Eser
Amfibol grubu mineral	Eser
Pirofilit	Eser
Lepidokrosit	Eser

Çan formasyonundaki bitümlü şeyl tabakalarının arasında sarı renkli sülfür mineral oluşumları saha gözlemleri sonucunda tespit edilmiştir (Şekil 96). XRD analizi ile bu sülfür mineralinin jarosit olduğu saptanmıştır (Şekil 97; Çizelge 23).





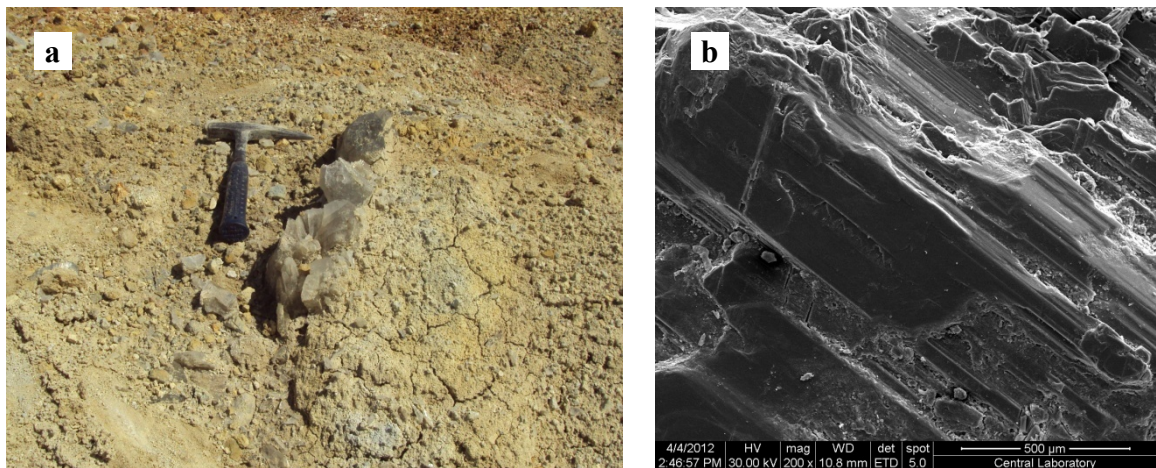
Çizelge 23. Kükürtlü seviyenin mineral içeriği

Mineral	Miktar
Jarosit	Majör
Karışık tabakalı kil minerali	Az
Opal-CT	Az
Amorf malzeme	Az
Feldspat	Eser
İllit/Mika	Eser
Klorit	Eser
Zeolit (Analsim)	Eser
Amfibol	Eser
Paligorskit	Eser

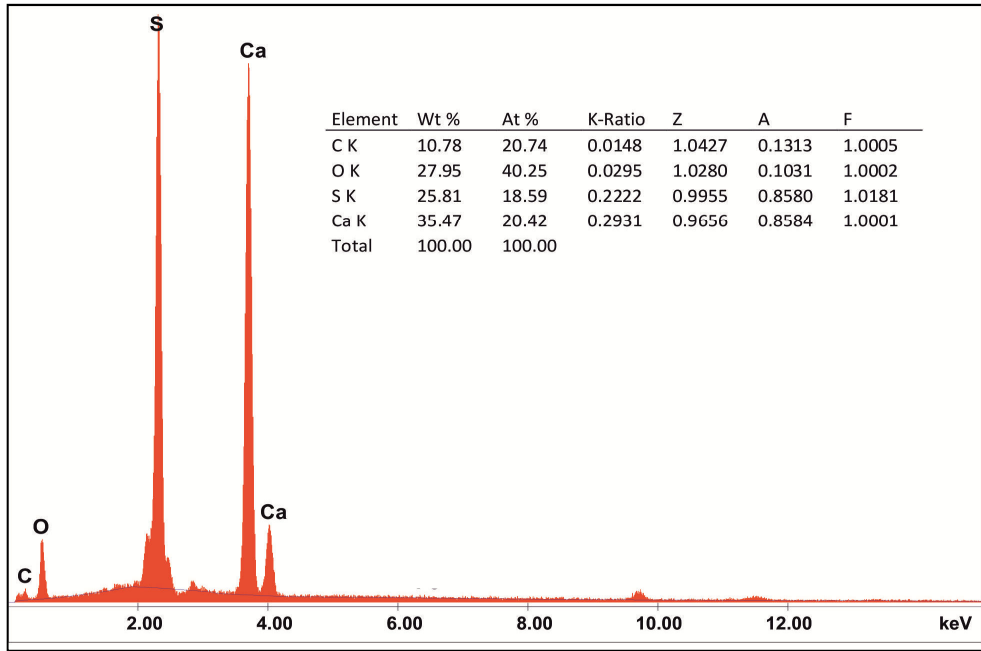
#### 4.2.4.2. Jips

Jips oluşumu, çözeltinin kalsit ile karşılaşması ve onu çözmesi sonucunda  $Ca^{2+}$ 'yi serbest hale geçirmesiyle oluşur. Silikat mineralleri arasında killer bulunuyorsa iyon değişimi ve jips çökelimi görülebilir (Karadeniz, 2008). AMD problemlili sahalarda yapılan mineralojik çalışmalar jipsin en yaygın olarak oluşan ikincil sülfat minerali olduğunu göstermektedir (Davis ve ark., 1991; Jambor ve Blowes, 1994).

İkincil olarak oluşan jips mineralleri terk edilmiş kömür ocaklarındaki pasaların üzerinde, asit maden göllerinin tabanında yaygın olarak bulunmaktadır. Şekil 98a'da arazi, Şekil 98b'de elektron mikroskobu görüntüsü sunulmuştur. EDX sonuçlarına göre Ca oranı % 20,42, S oranı % 18,59, O oranı % 40,25 olup, % 20,74 oranında da C içermektedir (Şekil 99).



Şekil 98. Jips mineralinin a. Arazi görünümü b. Elektron mikroskobu görünümü.



Şekil 99. Jips mineralinin EDX sonuçları.

### 4.3. Hidrojeoloji

Bu bölümde; çalışma alanındaki kaya birimlerinin gözeneklilik ve geçirimsizliği, hidrojeokimyasal değerlendirme yapılan su noktalarının konumu, yükseklikleri, kaynakların debileri, sondajların yeraltı su seviyesi değerleri, yeraltı suyu akış yönleri, asit maden göllerinin yıllar bazında alansal değişimleri anlatılmıştır.

#### 4.3.1. Kayaçların hidrojeolojik özellikleri

Çalışma alanında genel litolojiyi volkanik kayaçlar oluşturur. Ayrıca, daha dar alanda yüzeylenen, derinlik, metamorfik ve tortul kayaçlar da bulunmaktadır. Metamorfik kayaçların, oluşumları sırasında basınç ve sıcaklık altında kalmaları, ergimeleri ve yeniden kristallenmelerinden dolayı, gözeneklilikleri azalmakta veya kaybolmaktadır. Tortul kayaçlardaki diyajenetik olaylar, kayacın gözeneklerinin azalmasına ve geçirimsizliğinin düşmesine sebep olmaktadır. Volkanik kayaçların oluşumları sırasında hava boşluklarının kabarcıklı bir yapı oluşturması, dokusal özellikleri, bunlarda gözenekliliğin artmasına neden olmuştur.

Çalışma alanında yüzeylenen kayaçlar, su tutma özelliklerine göre 3 ayrı başlık altında incelenmiştir.

**4.3.1.1. Magmatik kayaçlar**

Çalışma alanında yüzeylenen kayaçlar arasında en yaygın olanı Çan volkanitleridir. Çan volkanitleri andezit, tüf, aglomera ve bazaltlardan oluşur. Bu kayaçlar değişik oranlarda tektonizma geçirmiş, ayrışmış olup, yer yer ikincil gözeneklilik gelişmiştir. Volkanitlerin üst kesimlerinde yer alan andezit ve tüfler silisleşmiştir. Çatlaklı, kırıklı yapıdaki volkanitler, akifer özelliği kazanmıştır. Silislemiş volkanitlerin alt kesimlerinde gözlenen ayrışmış kil tabakaları geçirimsiz bir zon oluşturmuştur. Yeraltı suyu, bu iki birim sınırında yüzeye çıkmaktadır. SRK (2012b) tarafından, Çan volkanitlerinde açılan sondajlarda 0,2-0,7 l/sn'lik debiler ölçülmüştür. Teck Madencilik Şirketi tarafından, Muratlar köyüne su temini için 2010 yılında Çan volkanitlerinde açılan sondajlarda ölçülen debi 0,3-1,5 l/sn aralığındadır. Çan volkanitlerindeki kaynakların debileri ise 0,01-0,7 l/sn arasında ölçülmüştür. Bu değerlere göre, volkanik birimlerin tamamına yakını, az su içeren akifer olarak tanımlanabilir.

Çalışma alanındaki derinlik kayaçları Evciler plütону olarak tanımlanmıştır. Bunlar, bazı kesimlerinde ayrışmış, arenalaşmıştır. Bu durum, kayacın ikincil gözeneklilik kazanmasını sağlamıştır. Bu birimlerde yüzeylenen kaynakların debileri düşük olup, 0,01-0,05 l/sn arasındadır.

**4.3.1.2. Metamorfik kayaçlar**

Çalışma alanındaki metamorfik kayaçlar Karakaya kompleksine ait birimlerdir. Bu kayaçlarda, tektonizmanın etkisiyle ikincil gözeneklilik gelişmiş olup, yer yer geçirimsizlik kazanmışlardır. Karakaya kompleksi içerisinde yer alan Permiyen yaşlı kırıklı çatlaklı, erime boşluklu rekristalize kireçtaşları çatlaklı akifer özelliği taşımaktadır. Bu kayaçlardaki kaynakların debileri 0,01-0,1 l/sn arasındadır. Genel olarak, yüzlek veren karstik kireçtaşları dışında yer alan metamorfik birimler akifer özelliği taşımamaktadır.

**4.3.1.3. Sedimanter kayaçlar**

Bayırköy formasyondaki su kaynaklarının debileri 0,01-0,1 l/sn arasındadır. Kömürlü seviyelerin bulunduğu Çan formasyonu tabanda çakıltaşı ile başlar ve üste doğru kumtaşı, kiltası ve silttaşından oluşan litoloji gözlenir. Van Voast ve Hedges (1975) ve Moran ve ark. (1976) tarafından, sığ derinliklerdeki linyit tabakaları üzerinde yapılan araştırmalarda,

hidrolik iletkenliğin genellikle  $10^{-6}$  ile  $10^{-4}$  m/s arasında olduğu ve 50-100 m'yi geçen derinliklerde ise azaldığı belirlenmiştir. İstifin gözenekliliği yüksek olmasına karşın, geçirgenliği düşüktür. Bu nedenle, yeraltı suyu bakımından yetersizdir. İstifteki kömür seviyesi geçirgen değildir. Formasyon içindeki çakıltaşı, kumtaşı düzeylerin ve yer yer görülen kırıklı ve çatlaklı seviyelerin gözenekliliği yüksek olup, su içermektedir. Linyitli seviyenin üstünde yer alan aglomera gevşek çimentolu olduğundan yeraltı suyu tutma özelliği taşımaktadır. Çan formasyonundaki su kaynaklarının debileri 0,01-0,5 l/s arasında değişmektedir. Gülen (2005), Durali köyünde, Çan termik santralinin su ihtiyacını karşılamak amacıyla Çan formasyonunda, 100 ve 150 m derinliğinde açılan iki sondajdan 1 ve 1,5 l/sn su temin edildiğini belirtmiştir.

#### **4.3.2. Su noktaları**

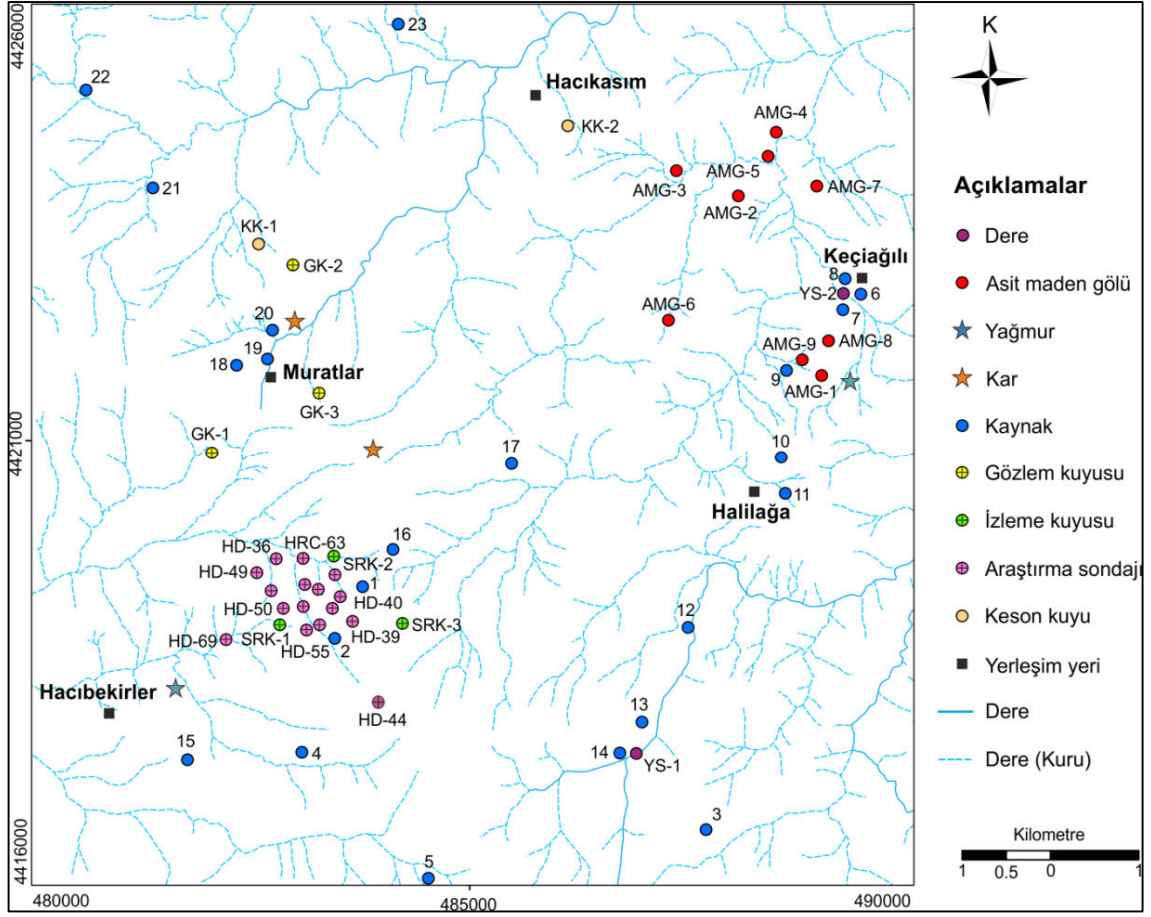
Çalışma alanındaki hidrojeolojik gözlem yapılan su noktaları 2 ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar;

a. Yüzey suları;

- Dereleler,
- Kar ve yağmur suları,
- Asit maden gölleridir.

b. Yeraltı suları;

- Kaynaklar,
- Sondajlar
  - Gözlem kuyuları,
  - İzleme kuyuları,
  - Araştırma kuyuları,
- Keson kuyulardır. Şekil 100'de örnekleme yapılan su noktaları sunulmuştur.



Şekil 100. Çalışma alanında ölçüm ve örnekleme yapılan su noktaları.

Ölçüm yapılan su noktası sayısının çokluğu ve her türün diğerlerinden farklı fizikokimyasal özellikleri olması nedeniyle yukarıda belirtilen su noktalarına ait hidrolojik özellikler aşağıda ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

#### 4.3.2.1. Yüzeysel suları

##### 4.3.2.1.1. Dereler

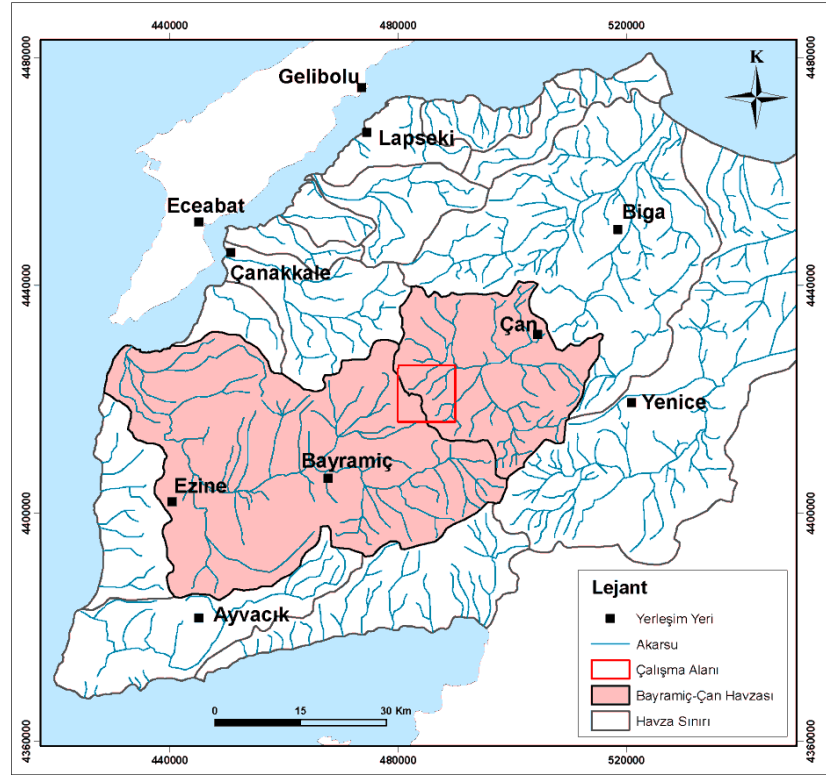
Biga Yarımadası'nda bulunan akarsuların debileri mevsimlik yağışlara bağlı olarak değişmektedir. Bu akarsuların debileri kurak dönemlerde (Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları)  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 'nin altına düşmektedir (Baba ve ark., 2008). Biga Yarımadası'nın 110 km ile en uzun akarsuyu Karamenderes çayı olup, Bayramiç ilçesine bağlı olan ve Kaz dağlarının eteklerinde, Karaköy'ün doğusundan doğmaktadır. Küçük dere kollarının birleşmesinden sonra batıya doğru yönelir (Bilgin, 1969). Bayramiç ilçesine kadar birçok

dereden beslenerek, kuzeye doğru akar, Şevik, Balıca, Çatak köy dereleri ile birleştikten sonra Ezine ovasına, buradan da kuzeybatı yönünde menderesler şeklinde Kumkale ovasına açılır, Çanakkale Boğazı'nın güneyinden denize dökülür (Anonim, 1965). Karamenderes çayının debisi en düşük 60 m<sup>3</sup>/s, en yüksek 1530 m<sup>3</sup>/s olarak kaydedilmiştir (Önder ve ark., 2003; Baba ve ark., 2008). Karveli (1990), Troya Milli Parkı sınırlarında bulunan Karamenderes akarsuyunun, İlyada'ya göre, Troya savaşlarının geçtiği özel bir alan ve kaynaklarda geçen antik isminin de "Scamander" olduğunu belirtmiştir.

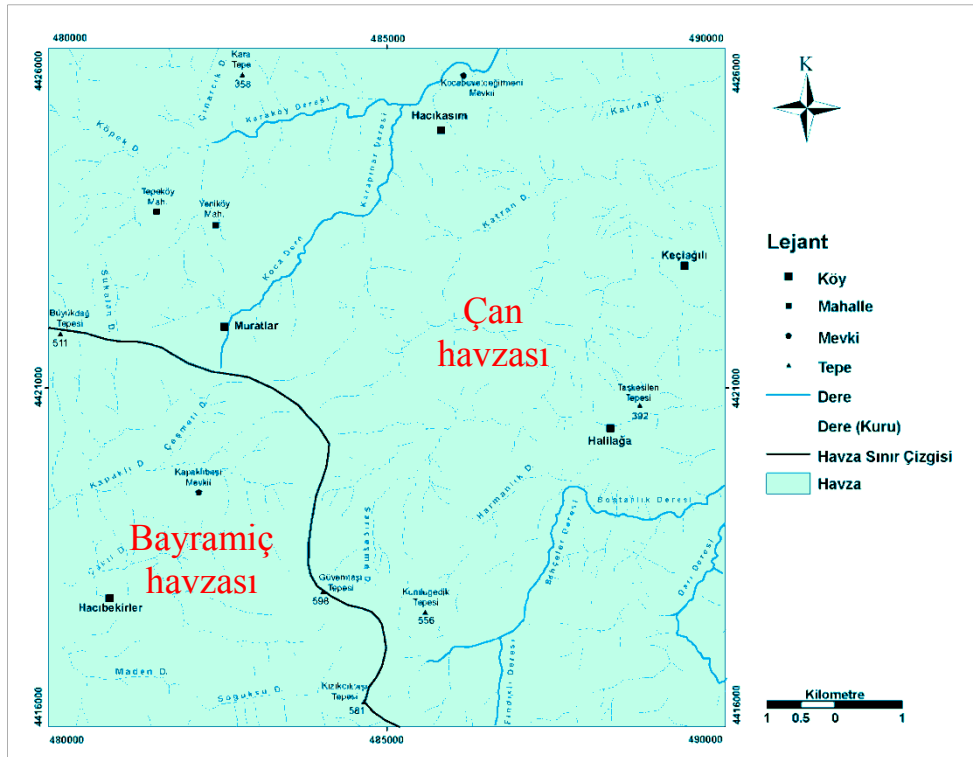
Karamenderes çayından sonra, Biga Yarımadası'ndaki ikinci büyük akarsu Kocabaş çayı olup, uzunluğu 80 km'dir. Kazdağı bölgesindeki Ağı dağı (989 m) ve Katran dağı (1111 m) eteklerindeki derelerin birleşmesinden sonra çay, kuzeydoğuya yönelir. Önce Çan ve sonra Biga ilçelerinden geçerek Marmara Denizi'ne dökülür. Bu akarsu, Çan civarında Kocaçay, Çan-Biga arasında Çan çayı, Biga'dan sonra Biga çayı ve daha sonra Kocabaş çayı adını alır. Kocabaş çayının debisi en düşük 15 m<sup>3</sup>/s, en yüksek 1345 m<sup>3</sup>/s olarak kaydedilmiştir (Önder ve ark., 2003; Baba ve ark., 2008).

Konumu Şekil 101'de sunulan çalışma alanı, Bayramiç ve Çan havza sınırları arasında bulunmaktadır. Bu alanının 76,98 km<sup>2</sup>'si Çan havzasında, 23,02 km<sup>2</sup>'si ise Bayramiç havzasında yer almaktadır (Şekil 102).

Sahada sürekli ve mevsimsel akan dereler mevcuttur. Sürekli akan derelerden biri Koca deredir. Muratlar köyünden doğar ve kuzeydoğu istikametinde akar. Koca dere Hacıkasım köyünün kuzeyinden geçerek Karaköy deresi ile birleştikten sonra, Değirmen dere adını alır. Değirmen dere, çalışma alanının kuzeydoğusunda bulunan, sulama amaçlı kullanılan Küçükklü göletini beslemektedir. Göletin inşaatı 1998 yılında tamamlanmış olup, depolama hacmi 5,92 hm<sup>3</sup>, sulama alanı ise 800 ha'dır (www.dsi.gov.tr). Diğer bir akarsu, Bahçeler deresidir. Bu dere, Sakardağı tepenin eteklerinden doğar, Fındıklı ve Haceroluk dereleriyle birleşerek kuzeybatı istikametinde akmaktadır. Derelerin debileri mevsimsel yağışlara bağlı olarak değişim göstermektedir. Debi değerleri yaz aylarındaki kurak dönemlerde oldukça düşmekte, yağışlı dönemlerde ve dağlık bölgelerdeki karın erimesi ile önemli miktarda artmaktadır. Yazın buharlaşmaya maruz kalan dereler kurumaktadır.



Şekil 101. Biga Yarımadası'nın drenaj ağı ve çalışma alanının konumu.



Şekil 102. Çalışma alanına ait drenaj ağı haritası.

**4.3.2.1.2. Kar ve yağmur suları**

Çalışma alanına yağış ve kar şeklinde düşen su, hidrolojik döngünün ana girdisi olup, yeraltı sularının kaynağını oluşturur. Bölgedeki hidrolojik döngünün uç bileşenlerinden biri olan kar suyunun özelliğini ve dolayısıyla da suyun kayalarla temasından önceki bileşimini belirleyebilmek amacıyla yüzey kirliliğinden etkilenmemiş taze kar örnekleri alınmıştır. Kar örnekleme, 06.03.2012 tarihinde Muratlar köyünde 2 farklı lokasyondan yapılmıştır (Çizelge 24). Yağmur suyu örnekleme, arazi çalışmaları sırasında 19.05.2012 tarihinde yağın yağmurdan Keçiğalı köyünde ve 01.12.2012 tarihinde Hacıbekirler köyünde yapılmıştır.

Çizelge 24. Kar ve yağmur örneklerinin alındığı lokasyon

<b>Su noktası</b>	<b>Tarih</b>	<b>Lokasyon</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z (m)</b>
Yağmur	19.05.2012	Keçiğalı	489256	4421653	219
Yağmur	01.12.2012	Hacıbekirler	481589	4418185	276
Kar	06.03.2012	Muratlar	483890	4420915	339
Kar			482976	4422367	291

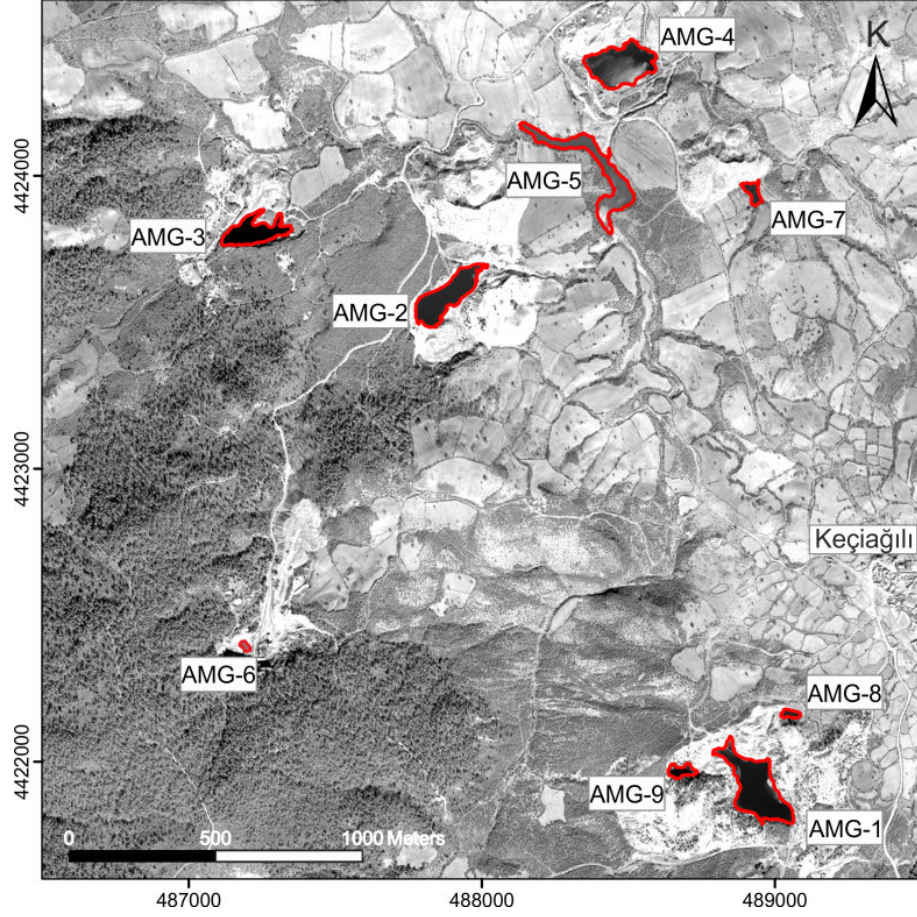
**4.3.2.1.3. Asit maden gölleri**

Çan formasyonunda yer alan yüksek sülfür içerikli linyit kömürünün üretilmesi sırasında oluşan çukurlar hiçbir iyileştirme (rehabilitasyon) işlemi gerçekleştirilmeden terk edilmiştir. Çukurlar, yüzeysel drenaj ile dolmuş ve göller oluşmuştur. Zaman içerisinde AMD için uygun koşulların bir araya gelmesi ile (pirit+ nem+ hava) göller, asidik özellik kazanmış ve asit maden gölleri oluşmuştur. Çalışma alanı sınırları içerisinde 9 tane asit maden gölü saptanmıştır (Çizelge 25; Şekil 103). Asit maden gölleri kısaca "AMG" olarak isimlendirilmiştir.

Çizelge 25. Asit maden göllerinin koordinatları

<b>Göl Adı</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z (m)</b>
AMG-1	488957	4421785	245
AMG-2	487988	4423658	172
AMG-3	487315	4423813	151
AMG-4	488390	4424103	140
AMG-5	488399	4424305	128
AMG-6	487220	4422413	223
AMG-7	488901	4423935	149
AMG-8	489035	4422178	226
AMG-9	488737	4421964	230





Şekil 103. AMG'lerin konumu (15.03.2011 tarihli Worldview-1 uydu görüntüsü).

#### 4.3.2.1.3.1. Asit maden gölü-1 (AMG-1)

Keçiğözü köyünün yaklaşık 1 km güneybatısında bulunmaktadır. 1985 ve 1989 yılları arasında 3 farklı özel firma tarafından (Eczacıbaşı, Güler ve Isı Madencilik Şirketleri) işletilen kömür sahası, işletilebilecek kömür rezervinin bitmesi sonucunda 24 yıl önce terk edilmiştir (Köy halkı ile sözlü görüşme, 2011). Çalışma alanında uzun süredir boşaltılmayan tek ve en eski göldür (Şekil 104). Hayır tepenin güneybatısında yer alan bu göl, Okumuşoğlu (2009) tarafından, Hayırtepe AMG olarak isimlendirmiştir. Bu AMG'ünde yapılan limnolojik çalışmalar sonucunda azami derinliği 14,15 m, ortalama derinliği 7,11 m, alanı 23810 m<sup>2</sup>, hacmi ise 169224 m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır (Okumuşoğlu, 2009).



Şekil 104. AMG-1'in görünümü (Foto: 02.05.2010).

#### **4.3.2.1.3.2. Asit maden gölü-2 (AMG-2)**

2 no'lu AMG Keçiçalı köyünün 1,5 km kuzeybatısında Yiğitler Madencilik Şirketi adında özel bir kömür işletmesinin ruhsatlı sahasında yer almaktadır. Asit maden göl suyu yaklaşık 5 yıldır boşaltılmamıştır (Şekil 105).

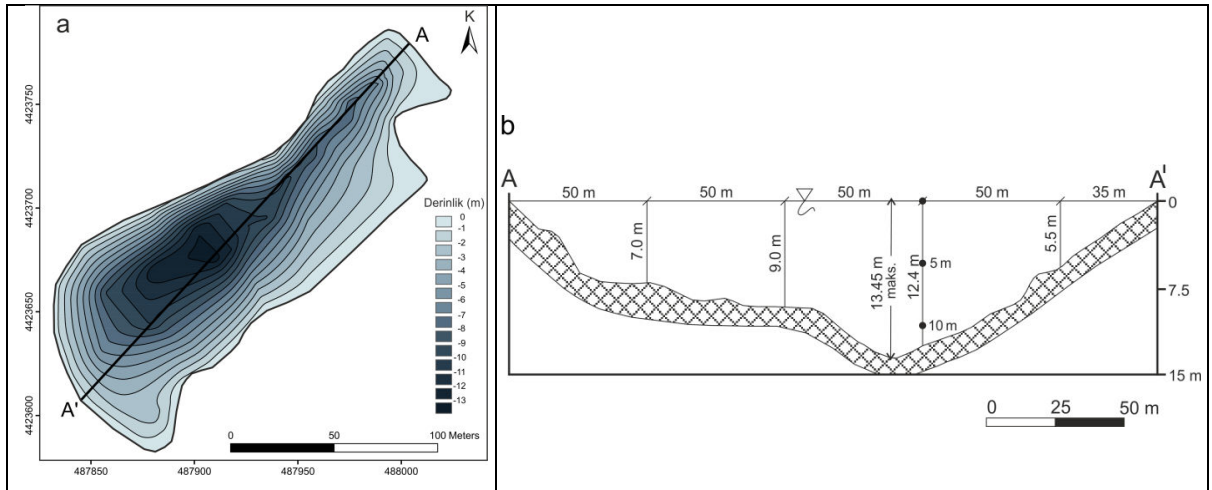
17-19 Temmuz 2010 tarihinde 2 no'lu AMG'nün limnolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapılmıştır (Şekil 106). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi'ne ait 4 m uzunluğundaki Poseidon isimli tekne AMG'ne indirilmiştir. Gölün yüzey alanının belirlenmesi için gölün çevresinde GPS ile yaklaşık 10'ar metre aralıklarla koordinat bilgileri alınmıştır. Gölün çevresi 616 m, yüzey alanı ise 15550 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 107 a). 235 m uzunluğundaki GB-KD hattı boyunca 15 m aralıklarla toplam 15 derinlik ölçümü yapılarak batimetri haritası oluşturulmuştur (Şekil 107 b). Gölün maksimum derinliği 13,45 m, ortalama derinliği ise 7,41 m olarak saptanmıştır. Gölde derinliğe bağlı örneklemeler ve fizikokimyasal ölçümler için Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi'nden temin edilen Niskin şişesi kullanılmıştır.



Şekil 105. AMG-2'nin görünümü (Foto: 17.07.2010).



Şekil 106. AMG-2'de yapılan limnolojik çalışmalar.



Şekil 107 a. AMG-2'nin 17.10.2010 tarihindeki görünümü b. KD-GB hattı derinlik profili.

**4.3.2.1.3.3. Asit maden gölü-3 (AMG-3)**

3 no'lu AMG Keçiağılı köyünün 2 km kuzeybatısında, Yiğitler madencilik adında özel bir kömür işletmesinin ruhsatlı sahasında yer almaktadır (Şekil 108). Asit gölünün 07.11.2009 tarihindeki arazi çalışmaları sırasında Katran dereye kontrolsüzce boşaltıldığı saptanmıştır (Şekil 109). Maden firması tarafından birkaç ay işletildikten sonra terk edilmiş ve AMG 5 ay içerisinde ise yeniden oluşmuştur (Şekil 110). Kömür üretimine yeniden geçilebilmesi için, gölün suyu, 28.04.2013 tarihinde Katran dereye boşaltılmıştır (Şekil 111).



Şekil 108. AMG-3'ün görünümü (Foto: 11.06.2008).



Şekil 109. Katran dereye kontrolsüzce boşaltılan AMG-3 (Foto: 07.11.2009).



Şekil 110. Boşaltıldıktan sonra yüzeysel drenaj ile kısa sürede yeniden dolan AMG-3 (Foto: 02.05.2010).



Şekil 111. Katran dereye kontrolsüzce yeniden boşaltılan AMG-3 (Foto: 28.04.2013).

**4.3.2.1.3.4. Asit maden gölü-4 (AMG-4)**

Hacıkasım köyünün 2 km güneydoğusunda bulunmaktadır. Yiğitler madencilik adında özel bir kömür işletmesinin ruhsatlı sahasında yer almaktadır (Şekil 112). Kömür ocağı, Çan formasyonunda gelişen heyelanlar nedeniyle, 2009 yılında terk edilmiştir. Ocağın terk edilmesinden kısa süre sonra AMG yeniden oluşmuştur (Şekil 113 a ve b).



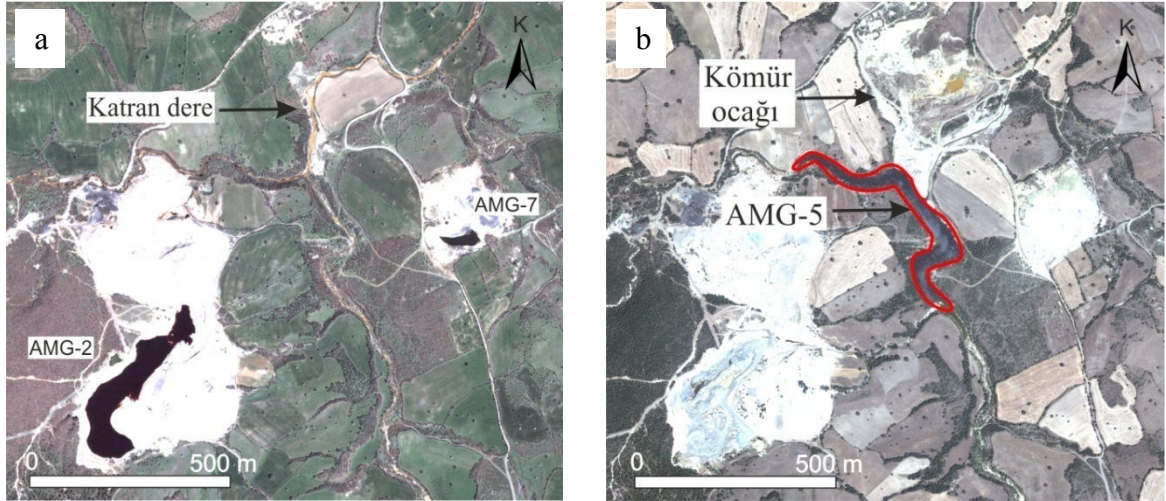
Şekil 112. Yiğitler Madencilik tarafından işletilen kömür ocağı (Foto: 12.09.2008).



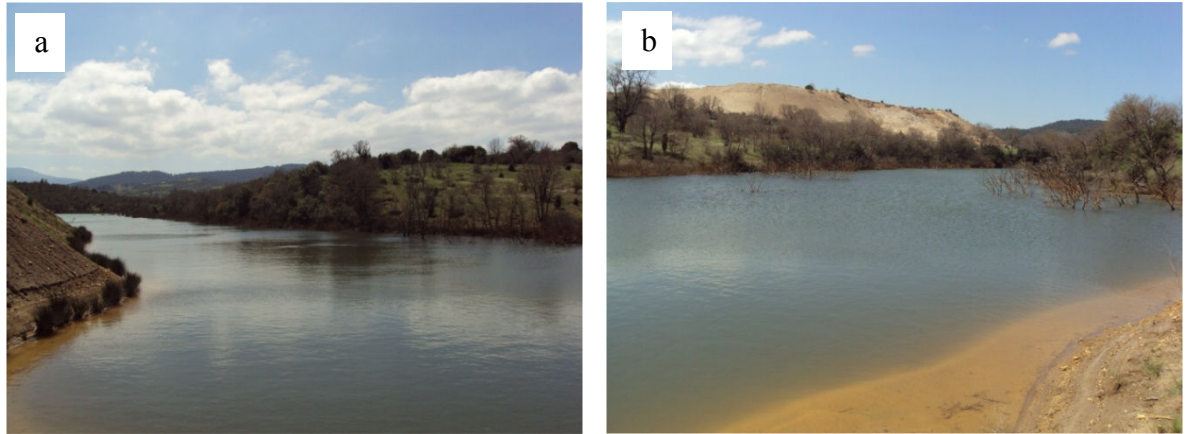
Şekil 113 a. AMG-4'ün görünümü (Foto: 22.04.2011) b. aşırı yağışlardan sonraki görünümü (Foto: 24.02.2013).

**4.3.2.1.3.5. Asit maden gölü-5 (AMG-5)**

Hacıkasım köyünün yaklaşık 2 km güneydoğusunda bulunmaktadır. 4 no'lu AMG oluşmadan önce, sahanın işletilmesi amacıyla Katran dere yatağının akış yönünün değiştirilmesiyle oluşmuştur (Şekil 114 a ve b). Maden işletmesiyle akışı engellenen dere, pasalardan sızan asit maden drenaj sularının birikimi ile geniş bir alan kaplamıştır. (Şekil 115 a ve b).



Şekil 114 a. 2003 yılı b. 2008 yılı uydu görüntüsünde AMG-5'in oluşumu.



Şekil 115. AMG-5'in görünümü a. bakış yönü: KD'dan GB'ya b. bakış yönü: GD'dan KB'ya (Foto: 22.04.2011).

**4.3.2.1.3.6. Asit maden gölü-6 (AMG-6)**

Keçiğalı köyünün yaklaşık 2 km güneybatısında yer almaktadır. AMG'nün, 04.06.2010 tarihindeki arazi çalışmaları sırasında çevreye kontrolsüzce boşaltıldığı saptanmıştır. Boşaltılan alana İkizler Madencilik Şirketi tarafından toprak malzeme ve beton dökülmüş, işletme 1,5 yıl boyunca kapalı kömür ocağı olarak işletilmiştir. Ocaktaki göçükler nedeniyle, 2012 yılı Şubat ayında faaliyetlere son verilerek işletme kapatılmıştır. İşletme faaliyetlerinin sona ermesinden kısa süre sonra, tesisin arka tarafındaki çukurlukta asit maden göleti oluşmuştur (Şekil 116).



Şekil 116. İşletme faaliyetlerinin sona ermesinden sonra oluşan asit maden göleti (Foto: 29.06.2012).

**4.3.2.1.3.7. Asit maden gölü-7 (AMG-7)**

Keçiğalı köyünün 1 km kuzeybatısında yer almaktadır. Diğer asit maden göllerine nazaran küçük hacimli bir göldür (Şekil 117). Gölün suyu yaz aylarında, etrafındaki tarla sahipleri tarafından sulama amaçlı kullanılmaktadır.

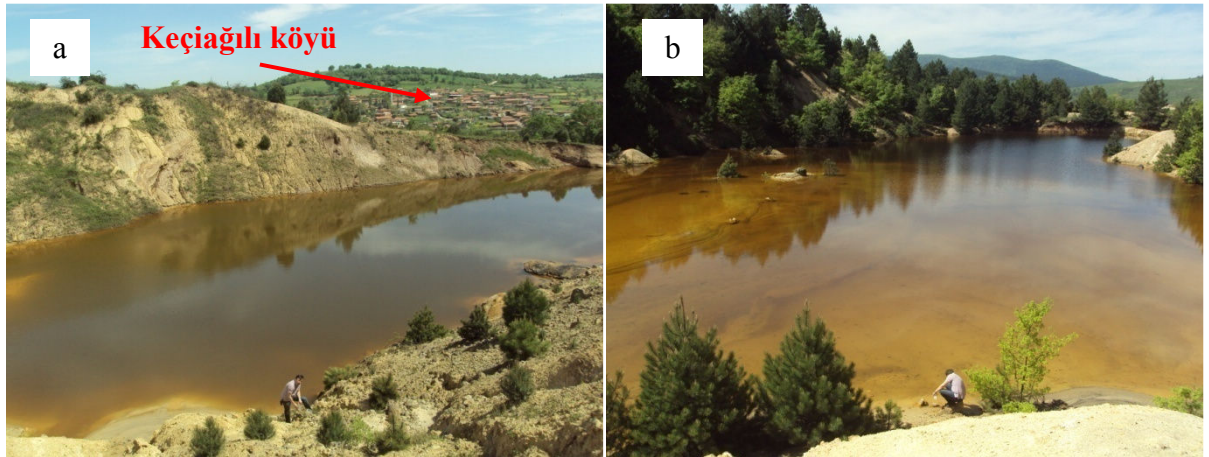




Şekil 117. AMG-7'nin görünümü (Foto: 28.04.2013).

#### 4.3.2.1.3.8. Asit maden gölü-8 ve 9 (AMG-8 ve AMG-9)

AMG-8, AMG-1'in KD'sunda, AMG-9 ise AMG-1'in KB'sında yer alan küçük ölçekli göllerdir (Şekil 118 a ve b). AMG-1 gibi uzun süredir boşaltılmamışlardır. Yaz aylarında artan buharlaşma nedeniyle, su seviyelerinde düşüş, bahar aylarında artan yağış ile birlikte alansal ve hacimsel artış gözlenmiştir.

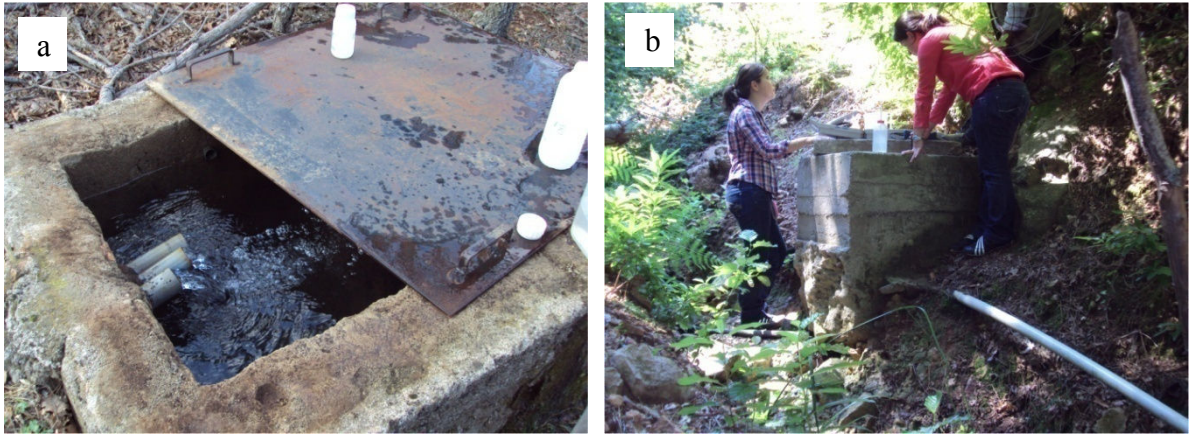


Şekil 118 a. AMG-8 ve b. AMG-9'un görünümü (Foto: 28.04.2013).

**4.3.2.2. Yeraltı suları****4.3.2.2.1. Kaynaklar**

Genelde kaynaklardan yüzeyleyen su, kapte edilerek, kısa isale hatları ile yol kenarlarına kadar getirilmiş ve çeşmelerle kullanıma açılmıştır. Çalışma alanında su kaynakları bol olmasına karşın, bu kaynakların debileri düşük olup, 0,01-0,5 l/sn arasındadır. Bölgedeki kaynaklar, kış aylarında yağış ve kar suları ile beslendiği için debileri artmaktadır.

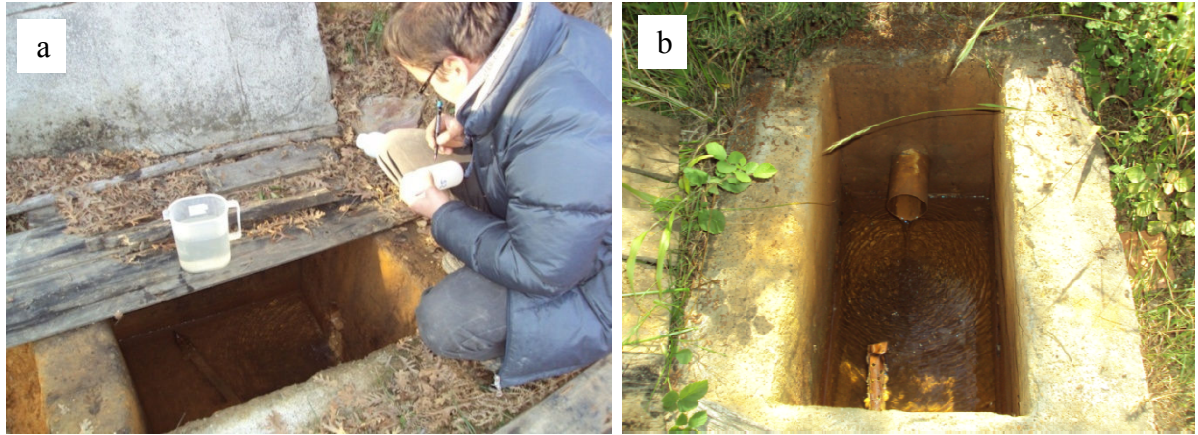
Yörede Muratlar, Halılağa ve Hacıbekirler köylerinin içme suları kaynak sularından karşılanmaktadır (Şekil 119; 120; 121). Sular kaptajlarda toplanarak köy şebekesine verilmektedir. Kaptajların debileri mevsimsel olarak değişim göstermektedir.



Şekil 119. Muratlar köyünün a. Ana depo b. Şadırvan çeşmeye giden su kaynağı.



Şekil 120. Halılağa köyü içme suyu kaynağı.



Şekil 121. Hacıbekirler köyü içme suyu kaynağı a. Ana depo-1 b. Ana depo-2.

Muratlar köyü ana su deposu, Künk tepenin kuzey kesiminde, Kestane mevkisinde bulunmaktadır. Bu deponun toplam debisi 0,61-2 l/sn arasında ölçülmüştür (Çizelge 26). Künk tepenin batısında bulunan ve Muratlar köyü girişindeki Şadırvan çeşmeye giden kaptajın debisi 0,2-0,8 l/sn arasındadır. Halılağa köyüne içme suyu sağlanan kaynak Bostanlıkbaşı tepenin doğu yamacındadır. Buradaki deponun debisi 0,33-1,12 l/sn arasındadır. Hacıbekirler köyünün içme ve kullanma amaçlı 2 ana deposu bulunmaktadır. Ana depo-1 çalışma alanının güneybatısında bulunmaktadır ve debisi 0,1-0,12 l/sn'dir. Çalışma alanın en güney kesimindeki Kızılcıktaş tepenin güneybatısında yer alan ana depo-2'nin debisi ise 0,15-0,34 l/sn arasında ölçülmüştür.

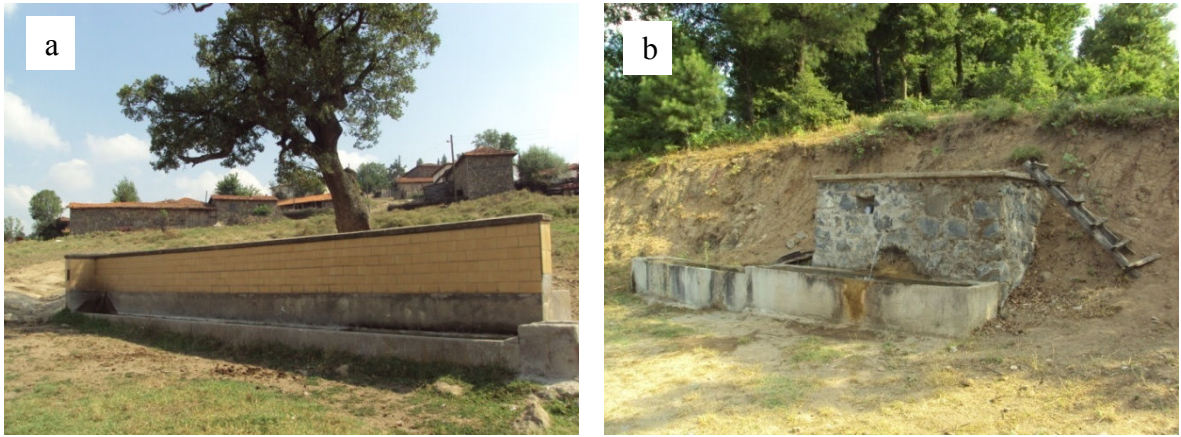
Çizelge 26. İçme suyu kaynaklarının koordinatları ve debileri

Köy adı	Su tipi	Analiz örnek no	X	Y	Z (m)	Ölçüm tarihi	Debi (l/sn)
Muratlar	Ana depo	1	483676	4419340	345	19.05.2011	1,08
						07.07.2011	0,73
						23.08.2011	0,61
						20.11.2011	0,8
						04.03.2012	2
Muratlar	Şadırvan	2	483379	4418874	375	07.07.2011	0,2
						04.03.2012	0,8
Halılağa	Ana depo	3	487646	4416631	423	14.07.2010	0,42
						19.05.2011	0,98
						07.07.2011	0,56
						20.11.2011	0,33
Hacıbekirler	Ana depo-1	4	483065	4417508	403	07.07.2011	0,1
						04.03.2012	0,12
	Ana depo-2	5	484455	4416005	500	07.07.2011	0,15
						04.03.2012	0,34

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Keçiağılı köyündeki su kaynaklarının debileri düşük olup, ortalama 0,026 l/sn'dir. Çalışmalarda en yüksek değer, 03.03.2012 tarihinde, 0,16 l/sn olarak ölçülmüştür (Çizelge 27). Halilağa köyünde ortalama debi 0,055 l/sn, en yüksek değer, 04.03.2012 tarihinde, 0,24 l/sn olarak ölçülmüştür (Çizelge 28). En az su kaynağı Hacıbekirler köyünde tespit edilmiştir. Kaynakların maksimum debisi 05.03.2012 tarihinde, 0,48 l/sn, ortalaması ise 0,186 l/sn'dir (Çizelge 29). Muratlar köyünde ölçüm yapılan kaynakların ortalama debileri 0,085 l/sn'dir. Maksimum değer 05.03.2012 tarihinde 0,25 l/sn ölçülmüştür (Çizelge 30). Hacıkasım köyünde ölçülen kaynakların ortalama debisi 0,138 l/sn'dir (Çizelge 31). Şekil 122'de ölçüm ve örnekleme yapılan bazı su kaynakları sunulmuştur.



Şekil 122. Ölçüm ve örnekleme yapılan a. 6 ve b. 12 no'lu su kaynakları.

Çizelge 27. Keçiağılı köyündeki su kaynaklarının koordinatları ve debileri

Lokasyon	Ölçüm tarihi	Analiz örnek no	X	Y	Z (m)	Debi (l/sn)
Keçiağılı	16.09.2010	6	489401	4422707	199	0,02
	27.11.2010					0,02
	04.07.2011					0,02
	03.03.2012					0,02
	16.09.2010	7	489197	4422531	174	0,01
	27.11.2010					0,01
	04.07.2011					0,01
	03.03.2012					0,01
	16.09.2010	8	489221	4422885	187	0,01
	05.07.2011					0,09
	16.09.2011	9	488558	4421842	201	0,01
	05.07.2011					0,08
	23.08.2011					0,05
	03.03.2012					0,16
	15.07.2010	-	489406	4422675	200	0,01
	16.09.2010					0,01

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

	27.11.2010					0,01
	07.07.2011					0,01
	16.09.2010					0,01
	27.11.2010	-	489246	4422524	176	0,01
	07.07.2011					< 0,01
	16.09.2010	-	489191	4423152	189	0,01
	27.11.2010	-	487591	4424510	212	0,01
	07.07.2011					< 0,01
	27.11.2010	-	487646	4424267	170	0,01
	07.07.2011					0,01
<b>Ortalama</b>						<b>0,026</b>

Çizelge 28. Halılağa köyündeki su kaynaklarının koordinatları ve debileri

Lokasyon	Ölçüm tarihi	Analiz örnek no	X	Y	Z (m)	Debi (l/sn)
Halılağa	16.09.2010	10	488498	4420847	350	0,01
	05.07.2011					0,01
	23.08.2011					0,01
	20.11.2011					0,01
	04.03.2012					0,03
	16.09.2010	11	488544	4420436	317	0,02
	08.07.2011					0,06
	23.08.2011					0,02
	20.11.2012					0,05
	05.03.2012					0,1
	07.07.2011	12	487443	4418919	246	0,16
	23.08.2011					0,1
	04.03.2012					0,24
	14.07.2010	13	486921	4417849	329	0,07
	14.09.2010					0,06
	07.07.2011					0,04
	08.03.2012					0,1
	07.07.2011	14	486671	4417498	398	0,03
	06.03.2012					0,03
	16.09.2010	-	488537	4420396	317	0,05
	04.07.2011					0,16
	16.09.2010	-	488004	4420298	307	0,05
	04.07.2011					0,05
	16.09.2010	-	487908	4420264	306	0,01
	05.07.2011					0,01
	14.09.2010	-	485023	4420734	327	< 0,01
	07.07.2011					0,01
	07.07.2011	-	486229	4416342	529	0,01
	20.11.2011	-	485024	4420736	328	< 0,01
	14.09.2010	-	486813	4420498	211	< 0,01
14.09.2010	-	486041	4419364	312	< 0,01	
<b>Ortalama</b>						<b>0,055</b>

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

Çizelge 29. Hacıbekirler köyündeki su kaynaklarının koordinatları ve debileri

Lokasyon	Ölçüm tarihi	Analiz örnek no	X	Y	Z (m)	Debi (l/sn)
Hacıbekirler	07.07.2012	15	481769	4417424	300	-
	06.03.2012					-
	07.07.2011	-	483175	4418865	352	0,01
	05.04.2012					0,09
	07.07.2011	-	483031	4417869	406	0,12
	05.04.2012					0,32
	07.07.2011	-	481615	4417593	297	0,03
	05.04.2012					0,09
	15.09.2010	-	481665	4419779	258	0,34
	05.04.2012					0,48
<b>Ortalama</b>						<b>0,19</b>

Çizelge 30. Muratlar köyündeki su kaynaklarının koordinatları ve debileri

Lokasyon	Ölçüm tarihi	Analiz örnek no	X	Y	Z (m)	Debi (l/sn)
Muratlar	04.07.2011	16	484097	4419802	317	0,07
	23.08.2011					0,05
	20.11.2011					0,06
	03.03.2012					0,11
	04.03.2012	17	485442	4420774	299	0,03
	15.09.2010	18	482325	4421902	303	0,03
	04.07.2011					0,03
	23.08.2011					0,01
	20.11.2011					0,03
	03.03.2012					0,01
	04.07.2012					0,02
	15.09.2010	19	482675	4421973	297	0,08
	20.11.2011					0,07
	03.03.2012					0,12
	15.09.2010	20	482734	4422300	288	0,04
	07.07.2011					0,04
	05.03.2012					0,25
	07.07.2011	21	481377	4423914	264	0,14
	05.03.2012					0,14
	07.07.2011	22	480619	4425028	278	0,16
	05.03.2012					0,16
	07.07.2011	-	482655	4421853	291	0,5
	07.07.2011	-	480629	4423069	279	0,07
	07.07.2011	-	483530	4421069	334	0,04
	07.06.2012					0,03
	07.07.2011	-	483633	4420713	349	0,1
	14.09.2010	-	483343	4421265	354	< 0,01
	15.09.2010	-	482630	4421836	291	0,06
	16.09.2010	-	484174	4421833	300	0,01
	17.09.2010	-	484769	4423093	215	0,01
<b>Ortalama</b>						<b>0,085</b>

Çizelge 31. Hacıkasım köyündeki su kaynaklarının koordinatları ve debi değerleri

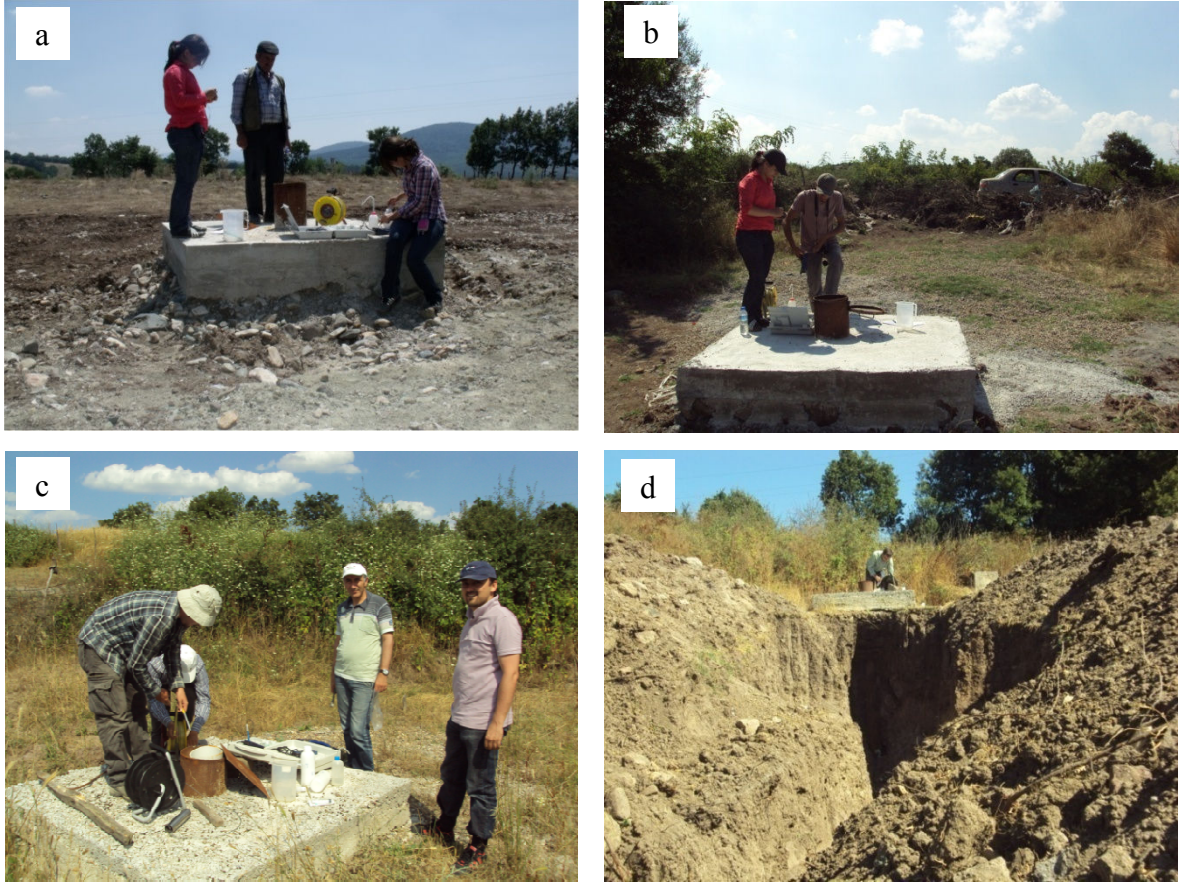
Lokasyon	Ölçüm tarihi	Analiz örnek no	X	Y	Z (m)	Debi (l/sn)
Hacıkasım	08.07.2011	23	484157	4425776	222	0,11
	23.08.2011					0,12
	05.03.2012					0,12
	04.07.2012					0,12
	04.07.2012	-	485700	4424463	221	0,5
	04.07.2012	-	485346	4424034	226	0,01
	04.07.2012	-	485066	4425776	202	0,01
	04.07.2012	-	484136	4425795	228	0,16
	04.07.2012	-	487257	4425222	199	< 0,01
	08.07.2011	-	484824	4423498	215	0,1
	23.08.2011	-	484770	4423095	212	< 0,01
	23.08.2011	-	484381	4422408	271	< 0,01
	04.07.2012	-	485622	4425968	178	< 0,01
<b>Ortalama</b>						<b>0,138</b>

#### 4.3.2.2.2. Sondajlar

##### 4.3.2.2.2.1. Gözlem kuyuları

Teck Madencilik Şirketi tarafından, 2010 yılı ilkbahar aylarında Muratlar köyünde, halkın kullanması için 3 adet su sondajı yapılmıştır. Açılan sondajlar, bu çalışma kapsamında, gözlem kuyusu olarak adlandırılmıştır. Sondajların açılma tarihlerine göre GK-1, GK-2 ve GK-3 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 123 a; b; c).

GK-1 no'lu sondaj, 2010 yılı Şubat ayında açılmış olup, derinliği 150 m, debisi 1,5 l/sn'dir. GK-1'de ilk ölçülen statik su seviyesi 1,36 m'dir. Bu sondaj Çan volkanitlerinde açılmış, ancak kuyu yüksek arsenik konsantrasyonu nedeniyle ( $A_s = 150 \mu\text{g/l}$ ) kapatılmıştır (Baba, 2010). GK-2 no'lu sondaj Muratlar köyü ile Yeniköy mahallesi arasında açılmıştır, derinliği 80 m'dir. Bu kuyuda ölçülen en yüksek debi 0,3 l/sn'dir. GK-3 no'lu sondaj köy merkezinde açılmıştır, derinliği 60 m, debisi ise 0,4 l/sn'dir. GK-2 ve GK-3 Çan volkanitlerinin aglomera seviyelerinde açılmıştır. Düşük debileri nedeniyle, bu kuyular da kapatılmıştır. GK-3 no'lu sondaj kuyusunun ön kısmı, 2012 yılı Ocak ayında, Muratlar köyü halkı tarafından, kepçe ile kazılarak bir süre kullanılmıştır (Şekil 123 d).



Şekil 123. Gözlem kuyuları a. GK-1, b. GK-2 c. ve d. GK-3.

Çizelge 32'de gözlem kuyularının konum ve yükseklik bilgileri sunulmuştur. Gözlem kuyularındaki maksimum su seviyesi, 20.11.2011 tarihinde, GK-3'de 7,12 m, minimum su seviyesi ise, 01.03.2012 tarihinde GK-2'de 0,12 m derinliğinde ölçülmüştür (Çizelge 33). Gözlem kuyularındaki yeraltı su seviyesinin mevsimsel olarak birbirine uyumlu olarak değişim gösterdiği saptanmıştır (Şekil 124). Kurak ve yağışlı dönemler arasındaki yeraltı su seviyesi farkı 2 ile 4 m arasındadır. Tüm gözlem kuyularında en yüksek yeraltı su seviyesi 01.03.2012 tarihinde ölçülmüştür.

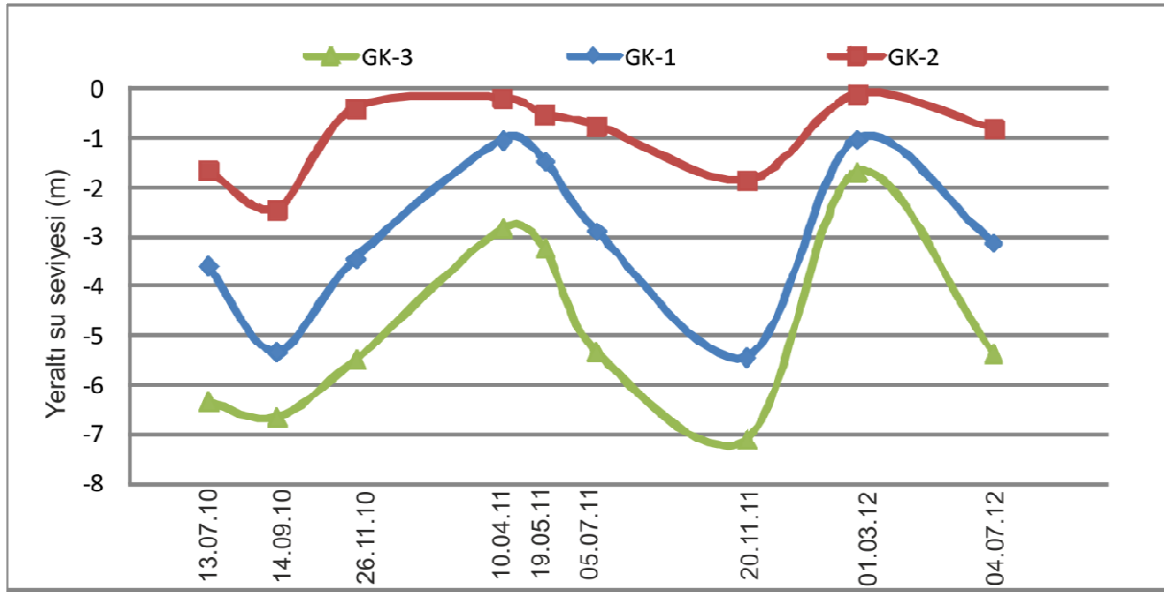
Çizelge 32. Gözlem kuyularının konum ve yükseklik bilgileri

Su noktası	X	Y	Z (m)	Formasyon
GK-1	482045	4420903	321	Çan volkanitleri
GK-2	482964	4423039	281	
GK-3	483259	4421586	340	



Çizelge 33. Gözlem kuyularının yeraltı su seviyeleri

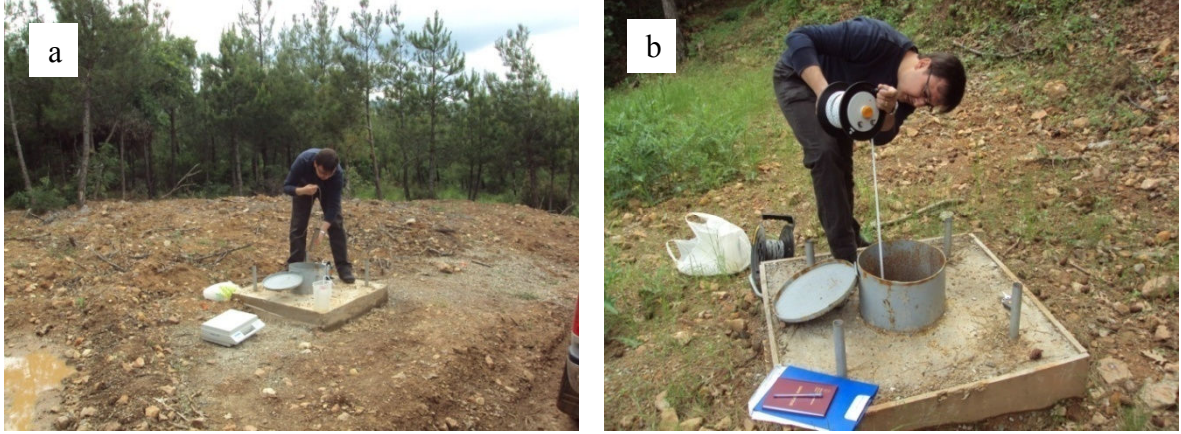
Su noktası	13.07.2010	14.09.2010	26.11.2010	10.04.2011	19.05.2011	05.07.2011	20.11.2011	01.03.2012	04.07.2012
GK-1	3,6	5,34	3,45	1,05	1,48	2,89	5,45	1,03	3,13
GK-2	1,67	2,45	0,4	0,19	0,54	0,75	1,87	0,12	0,81
GK-3	6,35	6,67	5,5	2,83	3,23	5,33	7,12	1,68	5,36



Şekil 124. Gözlem kuyularının zamana bağlı yeraltı su seviyesi değişimi.

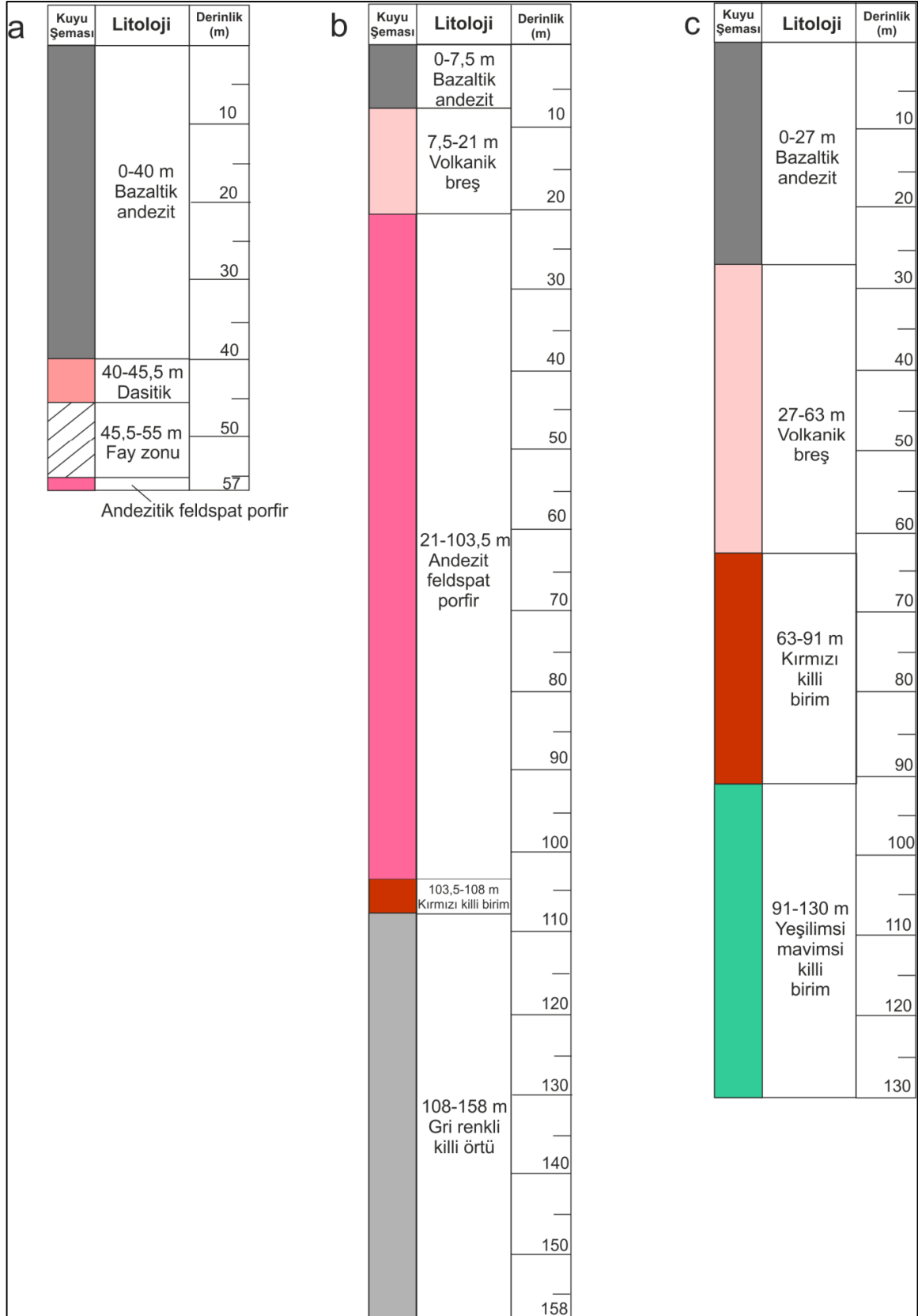
#### 4.3.2.2.2. İzleme kuyuları

Teck Madencilik Şirketi tarafından işletilmesi planlanan altın ve bakır madenlerinin nihai ÇED raporu, SRK Danışmanlık Şirketi tarafından hazırlanmıştır. Bu raporun hazırlanması kapsamında, SRK (2012b) tarafından, 3 ayrı lokasyonda su sondajları yapılarak izleme kuyuları açılmış, kuyuların konumlarını sistemin hem kimyasal hem de fiziksel temsil ediciliğini sağlamak amacıyla morfoloji, cevher lokasyonu, yeraltı işletmeleri göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Sondajlar, Muratlar köyünün 2,5 km güneyinde yer alan Kestane mevkinde bulunmaktadır. İzleme kuyuları; bu çalışma kapsamında SRK-1, SRK-2 ve SRK-3 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 125).



Şekil 125 a. SRK-1 ve b. SRK-3 no'lu izleme kuyuları.

SRK-1, kuyu tabanının kotu yaklaşık 275 m'dir. Sondaj bazaltik andezit içerisinde başlamış, dasitik birim ve fay zonundan sonra 57. m'de andezit, feldspat porfir ile sonlanmıştır (Şekil 126). SRK-2, bazaltik andezit ile başlamış, volkanik breş, andezitik feldspat porfir, kızıl renkte killi örtü birimleri geçilerek gri killi birimde sonlanmıştır. SRK-3, bazaltik andezit ile başlamış, volkanik breş ve killi birim içerisinde sonlanmıştır.



Şekil 126. Kuyu logları a. SRK-1 b. SRK-2 c. SRK-3 (SRK, 2012b).

SRK-1, SRK-2 ve SRK-3 no'lu izleme kuyularının debi değerleri sırası ile 0,2, 0,3, 0,7 l/sn olarak saptanmıştır (Çizelge 34).

Çizelge 34. İzleme kuyularının konum, derinlik ve debi bilgileri (SRK, 2012b)

Su noktası	X	Y	Zemin yüksekliği (m)	Kuyu derinliği (m)	Kuyu sonu (m)	Debi (l/sn)	Filtreli aralık (m)
SRK-1	482854	4419048	332	57	275	0,2	9-53
SRK-2	483349	4419666	303	158	145	0,3	16-150
SRK-3	484205	4418966	439	130	309	0,7	14-126

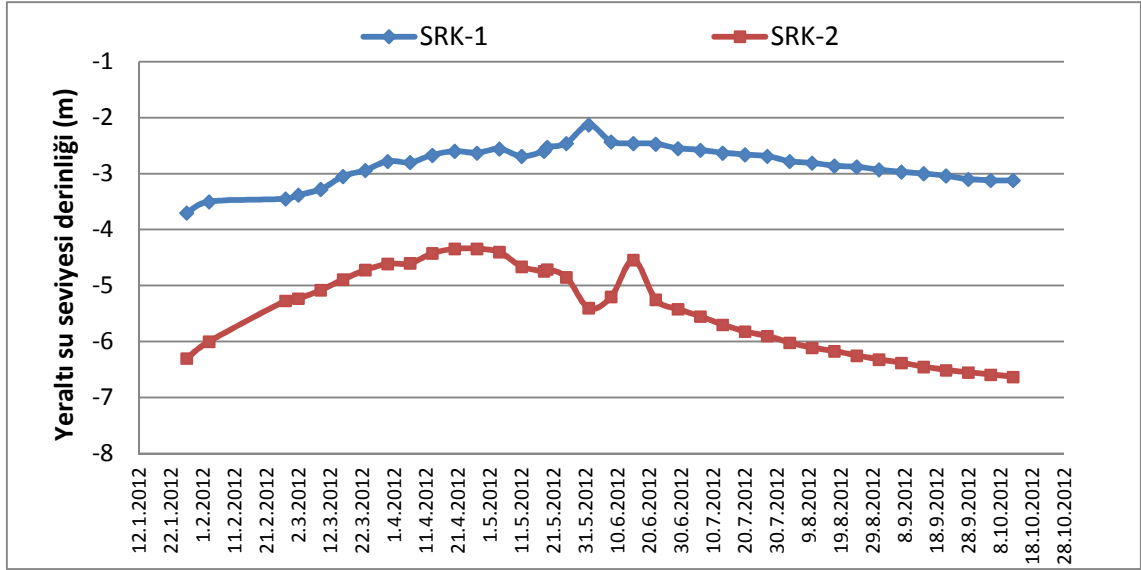
SRK (2012b) tarafından, su kuyularına akifer testleri uygulanarak hidrostratigrafik birimlerin hidrolik iletkenlik değerleri, SRK-1'de  $1,3 \cdot 10^{-8}$  m/s, SRK-2'de  $1,4 \cdot 10^{-8}$  m/s, SRK-3'de  $1,67 \cdot 10^{-7}$  m/s olarak belirlenmiştir. SRK (2012b), akifer testi sonuçlarına göre Çan volkanitlerinin hidrolik iletkenlik değerlerinin  $1 \cdot 10^{-7}$  ile  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s arasında olduğunu belirtmiştir. Bu değerler ile Çan volkanitlerini az geçirimli ve geçirimsiz olarak nitelendirilmiştir. Alterasyona bağlı olarak artan kil varlığı ile depolama özelliği yüksek olup,  $1 \cdot 10^{-3}$  ile  $10^{-6}$  arasında değişmektedir (SRK, 2012b).

Kuyular açıldıktan sonra yeraltı su seviyelerindeki değişimler ölçülmüştür (Çizelge 35). SRK-1 ve SRK-2'de ilk aşamada 6-9 m arasında yeraltı su seviyesinde yükselim gözlenmiştir. Kuyularda, yeraltı su seviyesindeki artış, Ocak ayında başlamış, Mayıs ayının sonuna kadar devam etmiştir. Haziran ayı başlayan yeraltı su seviyesinde düşüm, Ekim ayına kadar devam etmiştir. Yağışlı dönemdeki yeraltı su seviyesi ile kurak dönemdeki yeraltı su seviyesi arasında yaklaşık 2 m'lik değişim gözlenmiştir (Şekil 127; 128). 2013 yılı bahar aylarının bir önceki yıla nazaran daha yağışlı olması nedeniyle, kuyularda 04.04.2013'de ölçülen yeraltı su seviyesinde, 2012 yılı Nisan ayına göre 0,44-3,4 m arasında artış saptanmıştır.

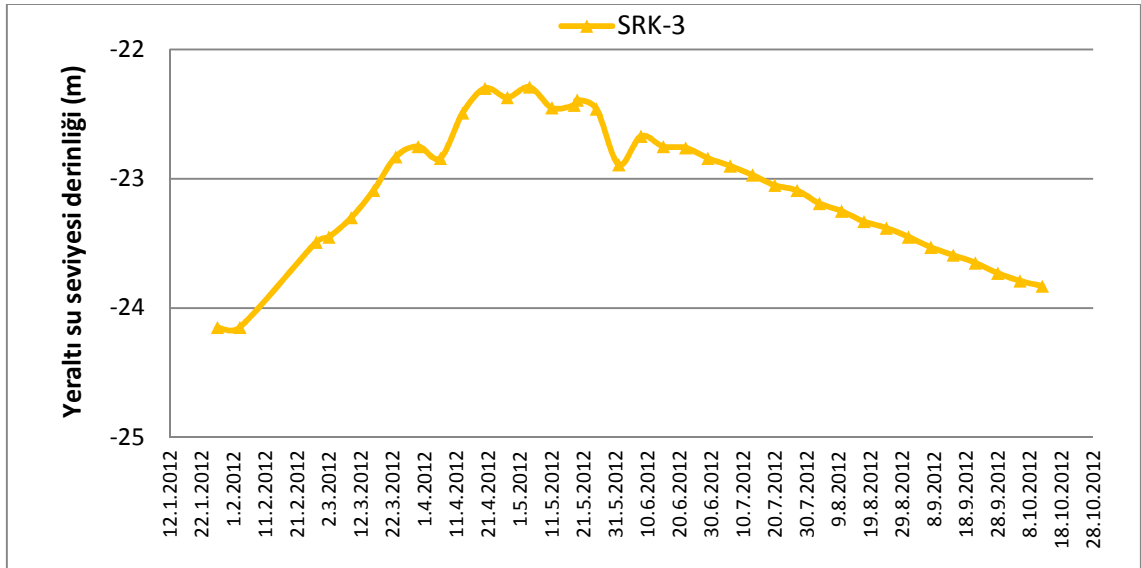
**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

Çizelge 35. İzleme kuyularının yeraltı su seviyesi değerleri (m)

Ölçüm tarihi	SRK-1		SRK-2		SRK-3		Referans	
	Derinlik (m)	Yükseklik (m)	Derinlik (m)	Yükseklik (m)	Derinlik (m)	Yükseklik (m)		
Temmuz 2011	14,82	317,18	12,41	290,59	23,75	415,25	SRK	
Eylül 2011	5,46	326,54	6,58	296,42	24,57	414,43		
Aralık 2011	3,18	328,82	6,5	296,5	24,17	414,83		
27.01.2012	3,7	328,3	6,3	296,7	24,15	414,85	Teek Madencilik Şirketi	
03.02.2012	3,5	328,5	6	297	24,15	414,85		
27.02.2012	3,45	328,55	5,27	297,73	23,49	415,51		
02.03.2012	3,38	328,62	5,23	297,77	23,45	415,55		
09.03.2012	3,28	328,72	5,08	297,92	23,3	415,7		
16.03.2012	3,05	328,95	4,89	298,11	23,09	415,91		
23.03.2012	2,94	329,06	4,72	298,28	22,83	416,17		
30.03.2012	2,78	329,22	4,61	298,39	22,75	416,25		
06.04.2012	2,8	329,2	4,6	298,4	22,84	416,16		
13.04.2012	2,67	329,33	4,42	298,58	22,49	416,51		
20.04.2012	2,6	329,4	4,34	298,66	22,3	416,7		
27.04.2012	2,63	329,37	4,34	298,66	22,37	416,63		
04.05.2012	2,56	329,44	4,4	298,6	22,29	416,71		
11.05.2012	2,69	329,31	4,66	298,34	22,45	416,55		
18.05.2012	2,6	329,4	4,74	298,26	22,43	416,57		
19.05.2012	2,53	329,47	4,71	298,29	22,39	416,61		Bu çalışma
25.05.2012	2,46	329,54	4,85	298,15	22,46	416,54		Teek Madencilik Şirketi
01.06.2012	2,13	329,87	5,4	297,6	22,89	416,11		
08.06.2012	2,43	329,57	5,2	297,8	22,67	416,33		
15.06.2012	2,46	329,54	4,54	298,46	22,75	416,25		
22.06.2012	2,47	329,53	5,25	297,75	22,76	416,24		
29.06.2012	2,55	329,45	5,42	297,58	22,84	416,16		
06.07.2012	2,58	329,42	5,55	297,45	22,9	416,1		
13.07.2012	2,63	329,37	5,7	297,3	22,97	416,03		
20.07.2012	2,66	329,34	5,82	297,18	23,05	415,95		
27.07.2012	2,69	329,31	5,9	297,1	23,09	415,91		
03.08.2012	2,78	329,22	6,02	296,98	23,19	415,81		
10.08.2012	2,81	329,19	6,11	296,89	23,25	415,75		
17.08.2012	2,86	329,14	6,17	296,83	23,33	415,67		
24.08.2012	2,88	329,12	6,25	296,75	23,38	415,62		
31.08.2012	2,93	329,07	6,32	296,68	23,45	415,55		
07.09.2012	2,97	329,03	6,38	296,62	23,53	415,47		
14.09.2012	3	329	6,45	296,55	23,59	415,41		
21.09.2012	3,04	328,96	6,51	296,49	23,65	415,35		
28.09.2012	3,1	328,9	6,55	296,45	23,73	415,27		
05.10.2012	3,12	328,88	6,59	296,41	23,79	415,21		
12.10.2012	3,12	328,88	6,63	296,37	23,83	415,17		
04.04.2013	1,74	330,26	4,16	298,84	19,44	419,56		



Şekil 127. SRK-1 ve SRK-2'nin zamana bağlı yeraltı su seviyesi değişimi.



Şekil 128. SRK-3'ün zamana bağlı yeraltı su seviyesi değişimi.

#### 4.3.2.2.3. Araştırma sondajları

Çalışma alanında, Teck Madencilik Şirketi'ne ait ruhsatlı alanlarda altın arama çalışmaları kapsamında araştırma sondajları açılmıştır (Şekil 129). Seçilen 15 tane araştırma sondajında, Eylül 2010 ve Mayıs ve Temmuz 2011 ve Mart 2012 olmak üzere, 4 ayrı dönemde yeraltı su seviyesi ölçülmüştür.



Şekil 129. HD-57 no'lu araştırma sondajının görünümü.

Çizelge 36'da araştırma sondajlarının yeraltı su seviyesi sunulmuştur. Araştırma sondajlarında ölçülen maksimum yeraltı su seviyesi 19.05.2011 tarihinde HD-60 no'lu araştırma sondajında 21,42 m olarak ölçülmüştür. Sondajların tümünde en düşük yeraltı su seviyesi, kurak dönem olan 2011 yılı Temmuz ayında ölçülmüştür. Kurak dönem ile yağışlı dönem arasındaki yeraltı su seviyesi değişimi genellikle 1-2 m arasındadır. Sondajlar arasındaki mevsimsel yeraltı su seviyesi değişimleri birbirleriyle uyumludur (Şekil 130).

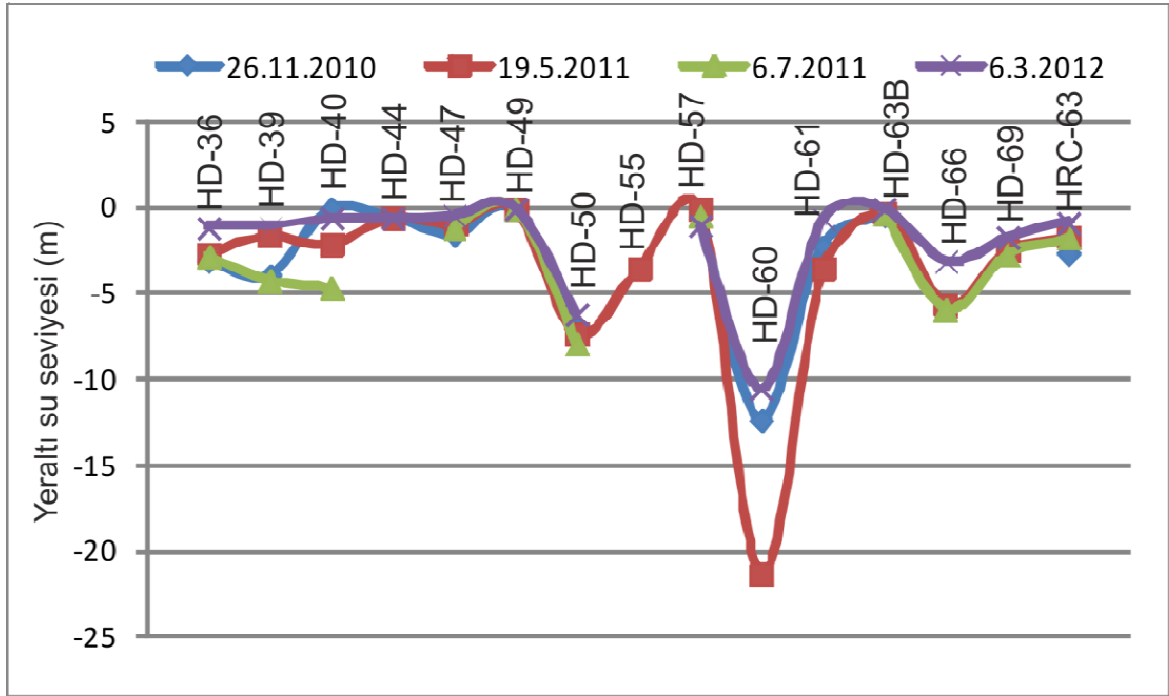
Çizelge 36. Araştırma sondajlarının konum ve yükseklik bilgileri, sondajların ve yeraltı su seviyesi derinlik değerleri

Araştırma sondajı	X	Y	Z (m)	Sondaj derinliği (m)	Yeraltı su seviyesi derinliği (m)			
					26.11.2010	19.05.2011	06.07.2011	06.03.2012
HD-36	482951	4419558	306	149	3,15	2,7	2,9	1,2
HD-39	483348	4419354	341	168,5	4	1,68	4,28	1,15
HD-40	483340	4419360	341	520,7	0,1	2,2	4,7	0,7
HD-44	483351	4419155	365	225,2	0,6	0,6	-	0,7
HD-47	483243	4419456	327	53	1,6	1	1,25	0,55

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

HD-49	482950	4419551	306	541,4	0,1	0,15	0,1	0,08
HD-50	483031	4419253	329	308	7	7,4	8	6,27
HD-55	483249	4419043	352	98,2	-	3,6	-	-
HD-57	483036	4419251	329	727,3	0,1	0,1	0,5	0,7
HD-60	483250	4419349	345	798,3	12,4	21,42	-	10,6
HD-61	482855	4419353	311	502,2	2,3	3,6	-	0,75
HD-63B	483149	4419635	307	350	0,5	0,33	0,45	0,15
HD-66	483248	4419047	357	161,4	-	5,7	5,96	3,2
HD-69	482206	4418781	283	550	-	2,55	2,8	1,8
HRC-63	483153	4419640	307	54	2,73	1,77	1,85	0,9



Şekil 130. Araştırma sondajlarının zamana bağlı yeraltı su seviyesi değişimi.

#### 4.3.2.2.3. Keson kuyular

Tarlalarda, evlerin bahçelerinde ve yol kenarlarında yaygın olarak gözlenen keson kuyulardan, genellikle hayvanların ihtiyacını karşılama ve tarımsal sulama amacıyla yararlanılmaktadır. Su sıkıntısının olduğu durumlarda, bazen içme amacıyla da kullanılmaktadır. Kuyuların çoğunun fiziksel özellikleri iyi olmayıp, çapları genellikle 1 m



ve derinlikleri ortalama 8-10 m'dir. Keson kuyularda yeraltı suyu seviye değerleri ölçülmüş ve bu değerler yeraltı su tablasının hazırlanmasında kullanılmıştır (Şekil 131).



Şekil 131. Keson kuyuda yeraltı su seviyesi ölçümü.

Temmuz 2011 döneminde 53 keson kuyudan ölçülen yeraltı suyu seviyesi değerleri Çizelge 37'de sunulmuştur. Keson kuyularda ölçülen yeraltı su seviyesi değerleri 0,41 ile 4,66 m arasında değişmektedir. Ortalama değer 2,01 m'dir.

Çizelge 37. Keson kuyuların konum ve yükseklik bilgileri ile Temmuz 2011 dönemine ait yeraltı suyu derinlik değerleri

Su Noktası	X	Y	Z (m)	Su derinliği (m)
KK-1	482575	4423277	314	1,86
KK-2	486080	4424620	205	2,37
KK-3	482388	4421443	313	2,85
KK-4	483030	4423429	296	1,56
KK-5	486831	4422292	300	2,89
KK-6	483778	4425792	267	4,01
KK-7	488954	4423525	199	1,67
KK-8	488624	4424360	127	3,27
KK-9	488289	4420429	289	0,9
KK-10	488262	4420348	301	1,12
KK-11	488309	4420373	353	1,76
KK-12	488356	4420422	349	0,41

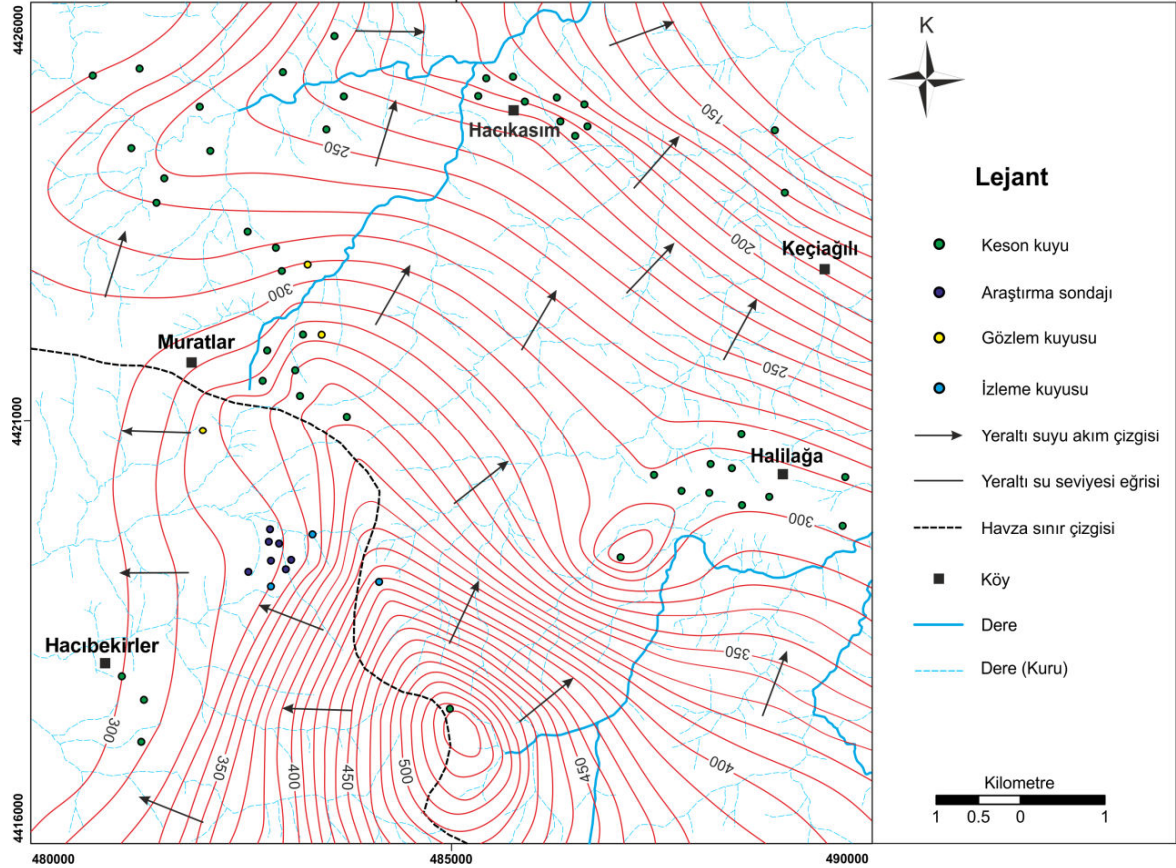
**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

KK-13	488320	4420425	345	2,08
KK-14	488379	4420414	353	0,86
KK-15	488013	4420343	329	0,8
KK-16	488050	4420353	333	1,08
KK-17	487943	4420282	316	0,74
KK-18	487409	4420371	311	1,64
KK-19	488236	4420372	337	1,4
KK-20	482913	4423082	304	2,1
KK-21	483144	4421624	316	1,54
KK-22	487011	4419394	282	0,78
KK-23	485873	4424818	193	1,87
KK-24	485790	4424925	246	2,64
KK-25	485649	4425004	183	1,95
KK-26	486073	4424622	206	1,06
KK-27	486080	4424619	207	2,37
KK-28	486074	4424605	206	1,14
KK-29	486087	4424604	207	1,94
KK-30	486089	4424635	201	1,1
KK-31	486101	4424616	211	1,4
KK-32	485922	4424662	264	2,2
KK-33	483990	4425556	243	3,94
KK-34	483311	4421522	389	2,32
KK-35	483145	4421619	373	1,28
KK-36	482754	4421659	352	2,4
KK-37	482709	4421740	342	2,5
KK-38	482985	4422806	330	1,96
KK-39	482577	4423275	314	1,86
KK-40	482488	4423267	312	2,4
KK-41	481413	4423981	287	1,1
KK-42	481403	4424008	290	1,25
KK-43	481534	4423805	310	1,54
KK-44	481495	4423616	310	1
KK-45	481292	4425212	336	4,66
KK-46	480737	4425128	308	3,7
KK-47	481566	4424770	285	2,87
KK-48	483461	4421099	390	2,63
KK-49	483860	4420795	398	1,96
KK-50	481794	4417425	348	2,4
KK-51	481345	4417704	335	1,53
KK-52	481083	4417983	343	4,4
KK-53	485014	4417551	540	3
<b>Ortalama</b>				<b>2,01</b>

***Yeraltı suyu tablası haritası***

Çalışma alanındaki keson kuyularda, gözlem kuyularında, izleme kuyularında ve araştırma sondajlarında Temmuz 2011 arazi çalışmaları kapsamında 70 ayrı su noktasından statik su seviyeleri ölçülerek yeraltı su tablası haritası hazırlanmıştır (Şekil 132). En düşük su tablası kotu çalışma alanının kuzey doğusunda 133,73 m, en yüksek su tablası kotu 537 m ile çalışma alanının güney kesiminde gözlenmektedir. Çalışma alanının, Çan havzasına

dahil olan kesiminde yeraltı suyu akış yönü GB'dan KD'ya doğru, Bayramiç havzasına dahil olan kesiminde ise yeraltı suyu akış yönü D'dan B'ya doğrudur. Yeraltı su tablası genel olarak topografyayı takip etmektedir. Yeraltı sularının ile yüzey suları arasında genel olarak uyumlu bir akış ilişkisi bulunmaktadır.



Şekil 132. Çalışma alanına ait yeraltı suyu tablası haritası (Temmuz 2011).

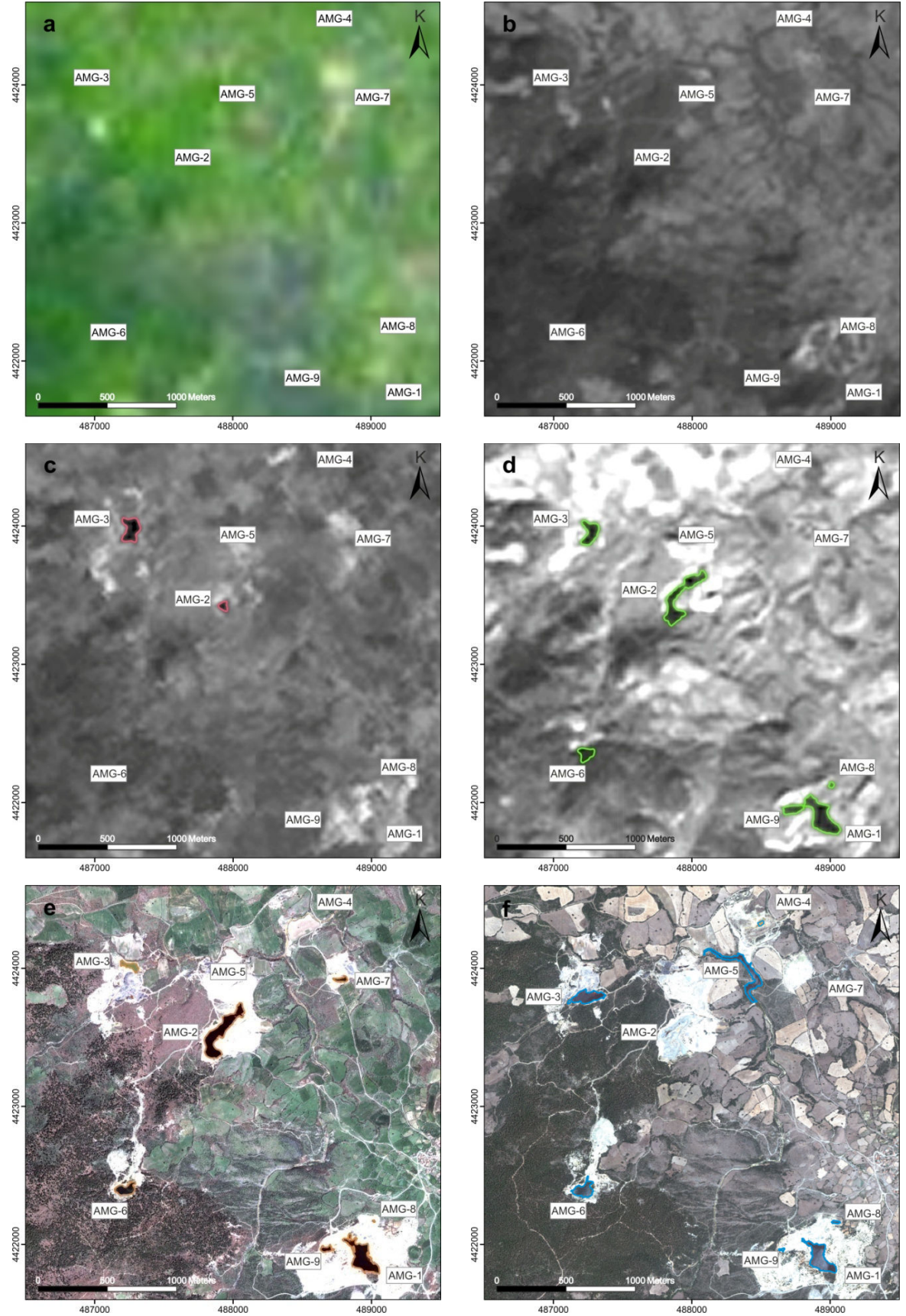
#### 4.4.3. Asit maden göllerinin yıllar bazında alansal değişimlerinin incelenmesi

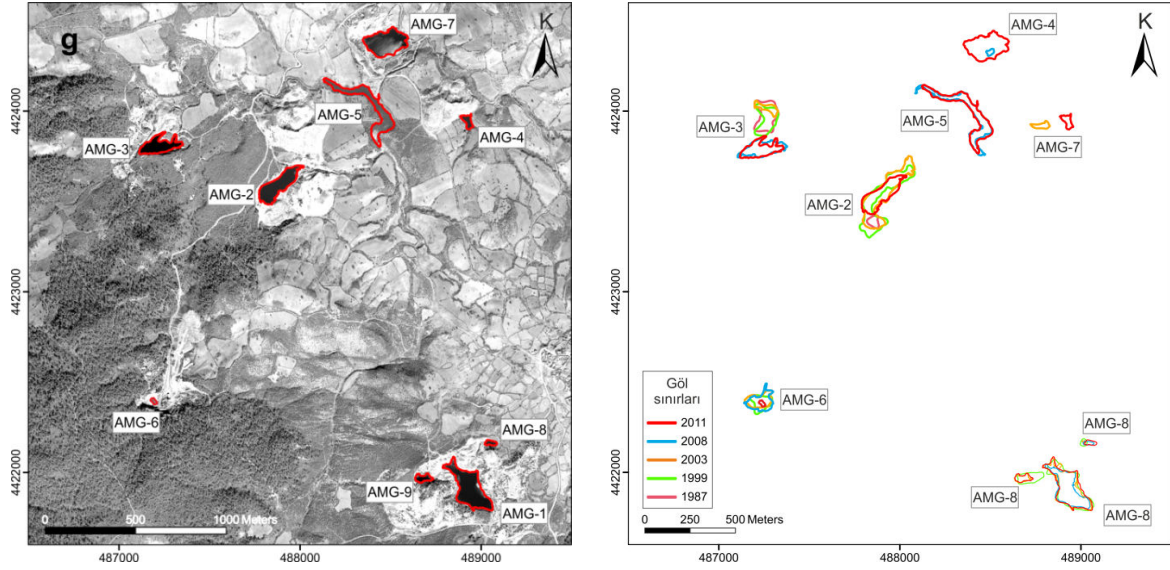
Uzay teknolojilerinin gelişmesi, uzaktan algılama ve uydu sistemlerinin de gelişimini beraberinde getirmiştir. Her geçen gün daha gelişmiş uydular yörüngeye yerleşmekte, bu durum neticesinde farklı mekansal, zamansal ve spektral çözünürlükteki yeni uydulardan daha hassas ve doğru bilgiler üretilebilmektedir. Bu sayede uzaktan algılama sistemlerinin kullanım alanları artmış, elde edilen görüntüler çevre, jeoloji, meteoroloji gibi pek çok disipline bilgi kaynağı olmuştur.

Çalışma alanında yer alan 9 AMG'nin 1977-2011 yılları arasındaki alansal değişimleri uydu görüntüleriyle incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında 5 farklı uydu görüntüsünden yararlanılmıştır. Bunlar multispektral görüntülü Landsat 2 MSS (Multispectral Scanner), Landsat 5 TM (Thematic Mapper), Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) uyduları ile yüksek çözünürlüklü Quickbird-2 ve Worldview-1 uydularıdır.

Çalışma alanının kuzeybatısında yer alan Çan formasyonunun linyit içeren seviyelerini çıkarmak amacıyla yapılan madencilik faaliyetlerine dair 1977 yılı öncesinde hiç bir çalışma yapılmadığı Şekil 133 a'da görülmektedir. Madencilik faaliyetleri ilk olarak, AMG-1, 8 ve 9'un bulunduğu alanda 1985 yılı öncesinde başladığı saptanmıştır (Şekil 133 b). 1985 ile 1987 yılları arasında AMG-2 ve 3'ün bulunduğu alanda başlayan madencilik faaliyetleri neticesinde, çalışma alanında ilk oluşan asit maden gölleri 2 ve 3 numaralı göllerdir (Şekil 133 c). Sonrasında sırasıyla AMG-1, AMG-6, AMG-8, AMG-9, AMG-7, AMG-5 ve AMG-4 oluşmuştur (Şekil 133 d; e; f). AMG-5 kömür ocağında yer almamasına rağmen kömürün çıkarılması sırasında etrafa yığılan pasaların dere yatağını set gibi kapatmasıyla oluşmuştur.

AMG'lerin alan ve çevre değişimleri Çizelge 38 ve 39'da sunulmuştur. AMG'ler içerisinde en geniş alana sahip olan AMG-2, maksimum alana 2003 yılı Nisan ayında ulaşmış ve 33466 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. AMG-2 2008 yılında kömür ocağının işletilmesi amacıyla boşaltılmıştır. AMG-5 ise en uzun göl olup, maksimum uzunluğu 2008 yılında 1671 m'dir. Göllerin alansal değişimleri mevsimsel olarak yağış, buharlaşma ve yüzeysel akış gibi faktörlerden etkilenmektedir. 2011 yılında tüm kömür ocaklarında işletme faaliyetlerine ara verilmesi ile AMG'ler toplamda en geniş alana sahip olmuş, alanı 124280 m<sup>2</sup> ve çevresi 5699 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 134 ve 135). AMG'lerin çevresinde, AMD'nin en önemli sebeplerinden biri olan pasaların toplam alanı ise 2011 yılında 1,78 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır, bu değer göllerin toplam alanının yaklaşık 14,5 katıdır (Şekil 136).





Şekil 133. AMG'lerin farklı yıllara ait alansal değişimleri (a. 1977, b. 1985, c. 1987, d. 1999, e. 2003, f. 2008, g. 2011).

Çizelge 38. AMG'lerin alanı (m<sup>2</sup>)

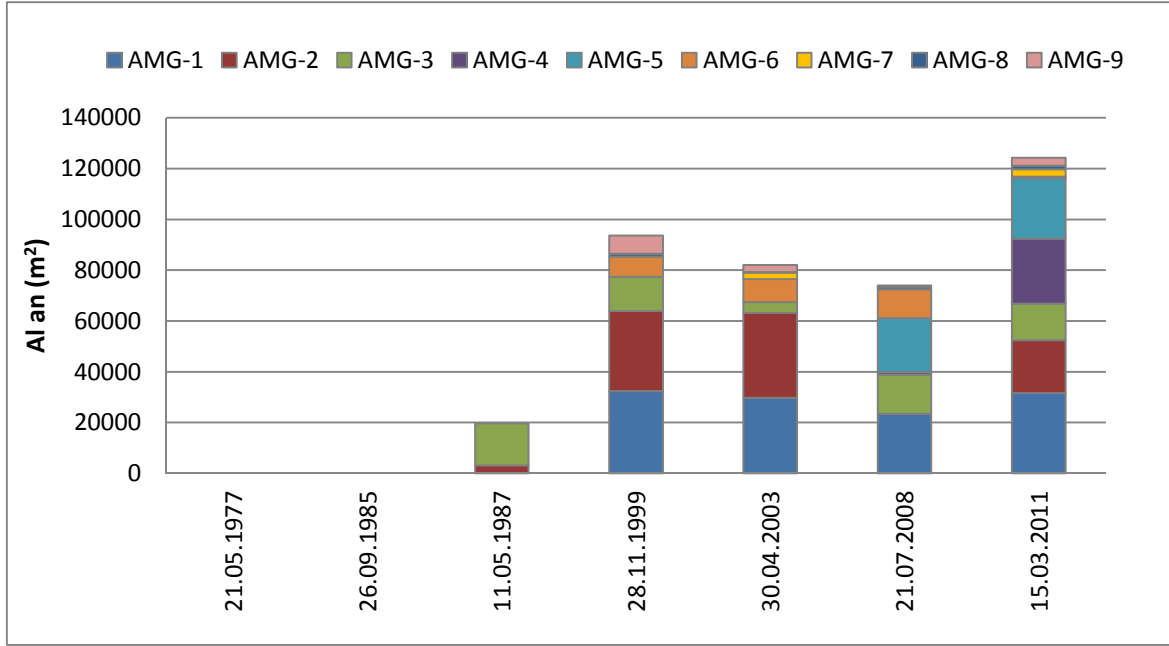
Uydu	Tarih	Çözünürlük	Asit maden göllerinin alanı								
			AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5	AMG-6	AMG-7	AMG-8	AMG-9
Landsat 2 MSS	21.05.1977	60 m x 60 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Landsat 5 TM	26.09.1985	30 m x 30 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Landsat 5 TM	11.05.1987	30 m x 30 m	-	3200	16426	-	-	-	-	-	-
Landsat 7 ETM+	28.11.1999	30 m x 30 m	32381	31518	13530	-	-	7931	-	1156	7182
Quickbird-2	30.04.2003	60 cm x 60 cm	29697	33466	4235	-	-	9166	2490	164	2817
Quickbird-2	21.07.2008	60 cm x 60 cm	23383	-	15437	1049	21304	11329	-	966	524
Worldview-1	15.03.2011	50 cm x 50 cm	31654	20768	14407	25543	23830	611	2912	1441	3114

Çizelge 39. AMG'lerin çevre uzunluğu (m)

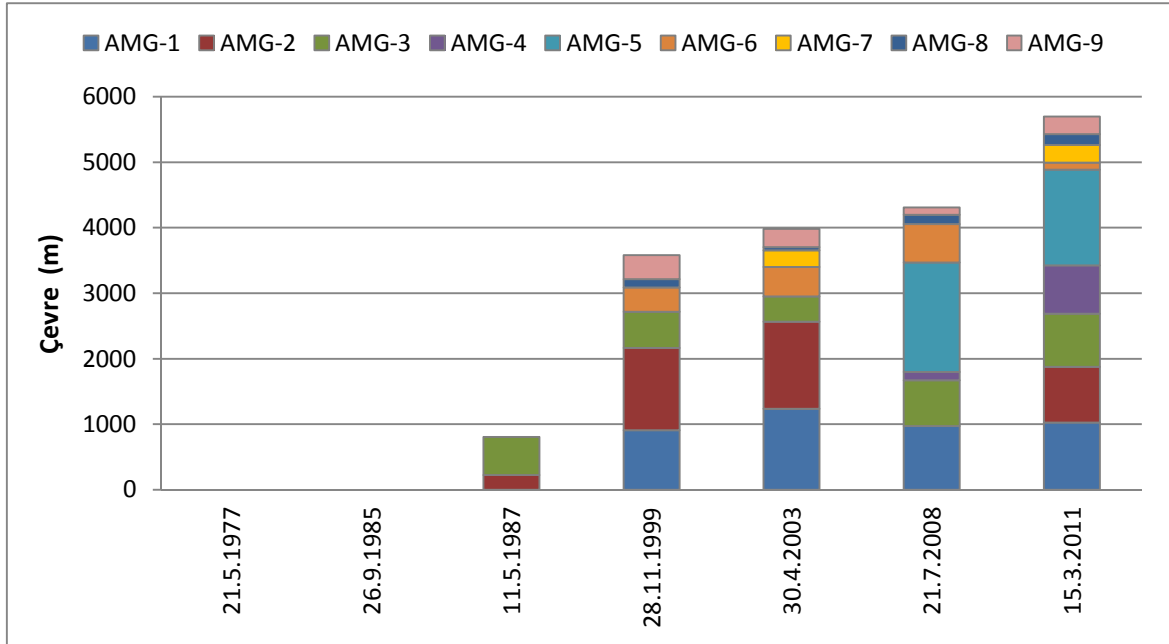
Uydu	Tarih	Asit maden göllerinin çevresi								
		AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5	AMG-6	AMG-7	AMG-8	AMG-9
Landsat MSS	21.05.1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Landsat 5 TM	26.09.1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Landsat 5 TM	11.05.1987	-	222	581	-	-	-	-	-	-
Landsat 7 ETM+	28.11.1999	908	1257	552	-	-	372	-	124	367
Quickbird-2	30.04.2003	1235	1329	385	-	-	451	254	51	276
Quickbird-2	21.07.2008	971	-	699	129	1671	585	-	142	111
Worldview-1	15.03.2011	1026	851	811	736	1465	105	271	165	269

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

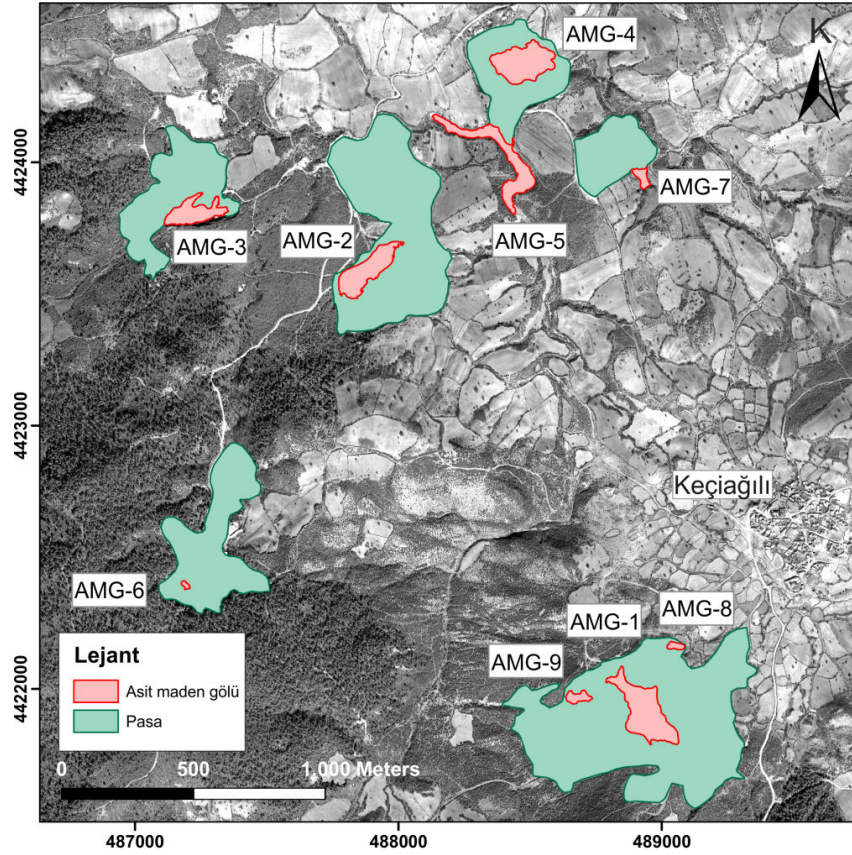
### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL



Şekil 134. AMG'lerin yıllar bazında alansal değişimleri.



Şekil 135. AMG'lerin yıllar bazında çevresel değişimleri.



Şekil 136. AMG'lerin çevresindeki pasa alanları.

#### 4.4. Hidrojeokimya

Bu bölümde, örneklenen su noktalarının fizikokimyasal özellikleriyle birlikte uygulanan bazı temel hidrojeokimyasal konular ve kavramlar ele alınmış, suların kimyasal bileşimleri, kullanılabilirlik özellikleri, izotopik özellikleri ana başlıklar halinde değerlendirilmiştir. Su noktalarının kimyasal analiz sonuçları, Türk İçme Suyu Standartları (TS266, 2005), İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (İTASHY, 2005), Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA, 2004) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2004) standartlarıyla karşılaştırılmıştır.

##### 4.4.1. Su noktalarının fizikokimyasal özellikleri

Çalışma alanında bulunan su noktalarında, yerinde fizikokimyasal parametre (pH, redoks potansiyeli, sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk) ölçümleri yapılmıştır. Bu kavramlar aşağıda açıklanmıştır.



**pH**, herhangi bir çözelti içindeki  $[H^+]$  aktivitesinin eksi logaritması olarak tanımlanır. pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin ölçüsü olup, sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi göstermektedir (Savaşın ve ark., 2005). Eğer  $H^+$  derişimi  $OH^-$  derişiminden fazla ise çözelti asidik; yani pH değeri 7 den düşük, Eğer  $OH^-$  derişimi  $H^+$  derişiminden fazla ise bazik; yani pH değeri 7 den büyüktür.  $OH^-$  ve  $H^+$  iyonlarından eşit miktarlarda mevcutsa, pH 7 değerine sahip olmak üzere nötrdür. Asitler ve bazlar arasındaki ilk tanım 1884 yılında, İsveçli kimyacı Svante Arrhenius tarafından, doktora tezindeki elektrolit ayrışma teorisinde "suda çözüldüğünde  $H^+$  iyonu açığa çıkaran maddeler asit, suda çözüldüğünde  $OH^-$  iyonu açığa çıkaran maddeler bazdır" şeklinde tanımlamıştır (www.chem.uwec.edu).

**Redoks potansiyeli (Eh)**, 1 mol oksidandan H'e elektron transferi sırasında kazanılan enerji olarak tanımlanır. Birimi volt'tur. Okside olmuş veya indirgenmiş şekilde bulunan herhangi bir maddenin, standart şartlarda hidrojene göre elektron çekimini ölçen bir elektrokimyasal ölçümdür (Şahinci, 1986). Ölçülen elektrovolt ortamda indirgenme varsa (-), yükseltgenme varsa (+) değer olarak alınır (Şahinci, 1991). Freeze ve Cherry (2003), sudaki metal taşınımı incelenirken pH ile Eh değerlerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

**Sıcaklık (T)**, coğrafi konum, yükselti, mevsim, akarsu debisi, derinlik gibi parametrelere bağlı olarak değişim gösterir. Sıcaklığın pH üzerinde etkisi vardır, doğal suların 30 °C'daki pH değeri 6,9 iken 0 °C'da ölçülen pH değeri 7,5'dir (Doğdu, 2004).

**Elektriksel iletkenlik (EC)**, suların elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal olarak ifadesi olup, sulardaki çözünmüş toplam iyon miktarı ile elektriksel iletkenlik arasında genellikle doğrusal bir ilişki vardır (Şahinci, 1991). Birimi micromho/cm veya nümerik olarak aynı olan mikrosiemens/cm şeklinde ifade edilir ve sıcaklık standart olarak laboratuvar ölçümlerinde 25 °C olarak alınır. Elektriksel iletkenlik sudaki çözünmüş iyon miktarı ve sıcaklık ile doğru orantılı olarak her 1 °C derecede % 1,9 mertebesinde değişmektedir (Hem, 1985).

**Tuzluluk (Sal)**, farklı tuzların (sodyum klorür, magnezyum, kalsiyum sülfat ve bikarbonat vb.) değerlerinin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Birimi ‰ olarak ifade edilir, deniz suyunun ortalama tuzluluk oranı ‰ 35'dir (Janisch, 1994; Can ve ark., 2002).

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Su içinde bulunan tuz miktarı elektrik iletme kabiliyeti ile doğrudan ilişkili olup, tuzluluk elektriksel iletkenlik ile orantılı olarak artmaktadır.

Çizelge 40'da bazı fizikokimyasal parametrelere ait limit değerler sunulmuştur. Tuzluluk ve redoks potansiyeli hakkında literatürde limit değere rastlanılmamıştır.

Çizelge 40. Bazı fizikokimyasal parametrelere ait limit değerler

Fizikokimyasal parametre	TS266, 2005		WHO, 2006	İTASHY, 2005	EPA, 2003
	İçme ve kullanma suları	Kaynak suları			
pH	6,5	9,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
EC (µS/cm)	650-2500	650	-	-	-
Sıcaklık (°C)	25	-	-	25	-

Çalışma alanında fizikokimyasal parametre ölçümleri 07.11.2009 ile 28.08.2012 tarihleri arasında düzenli olarak yapılmıştır (Çizelge 41). Ayrıca önceki çalışmalardan da yararlanılarak değerlendirme ve yorumlamalar yapılmıştır. Her su noktası ayrı başlık altında değerlendirilmiştir.

Çizelge 41. Su noktalarının fizikokimyasal parametre ölçüm tarihleri

Tarih	Asit maden gölleri	İçme suyu	Gözlem kuyusu	İzleme kuyusu	Araştırma sondajı	Keson kuyu	Yüzey suyu	Kaynak
07.11.2009	✓							
08.12.2009	✓							
05.01.2010	✓							
02.05.2010	✓							
10.05.2010	✓							
04.06.2010	✓							
17.07.2010	✓		✓					
15.09.2010	✓		✓					✓
27.11.2010	✓		✓					✓
01.04.2011	✓							
17.04.2011	✓		✓					
22.04.2011	✓							
19.05.2011	✓	✓	✓					
17.06.2011	✓							
04-09.07.2011	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
23.08.2011	✓	✓						
19.11.2011	✓	✓	✓					
26.11.2011	✓							
06.12.2011	✓							
03-08.03.2012	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
19-21.05.2012	✓			✓			✓	
03.07.2012	✓		✓					
28.08.2012	✓							

**4.4.1.1. Yüzey suları****4.4.1.1.1. Dereler**

Muratlar köyünden doğan Koca derenin ve civarındaki kolların birleşerek oluşturduğu Değirmen derenin pH değeri 7,6, elektriksel iletkenlik değeri ise 932  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ölçülmüştür. Hacıbekirler köyünün kuzeyinde bulunan Bayırköy formasyonu içerisinde bulunan Çakıl derenin pH değeri 7,2, Kapaklı derenin pH değeri ise 7,68 olarak ölçülmüştür. Çalışma alanının güney kesimlerinde Bostanlılık alanında Karakaya kompleksine ait rekristalize kireçtaşları arasından akan Fındık derenin pH değerleri 7,89-8,24 aralığında ölçülmüştür. Çizelge 42'de sadece örnekleme yapılan yüzey sularının fizikokimyasal parametre değerleri sunulmuştur.

Çizelge 42. Örnekleme yapılan derelerin fizikokimyasal parametre değerleri

Su noktası	X	Y	Ölçüm tarihi	pH	Eh (mV)	T (°C)	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Sal (%)
YS-1	486751	4417497	08.07.2011	8,24	-81	19,1	506	0
			06.03.2012	7,89	-65	8	367	0
YS-2	489373	4422667	01.04.2011	4,47	159	10,2	2030	0,8
			07.07.2011	4,26	171	26,5	2350	1

AMG'lerin çevresindeki derelerde Mayıs 2012 tarihlerinde pH ölçümleri yapılmıştır (Çizelge 43). Şekil 137'de AMG ve çevresindeki derelerin pH değerleri sunulmuştur. Dereler, asidik karakterli olup, pH değerleri 2,85 ile 5,75 aralığında değişmektedir. Pasalara yaklaştıkça, derelerin pH değerleri azalmaktadır.

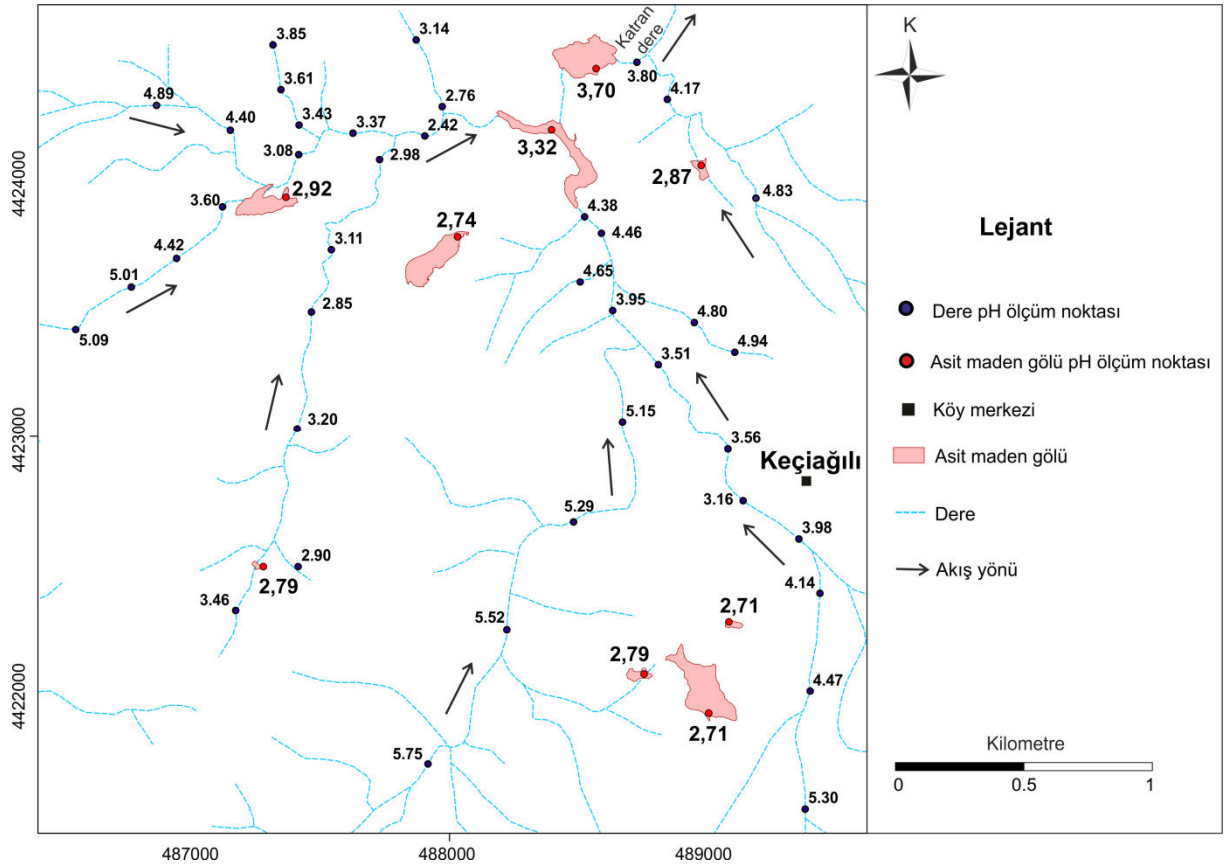
Çizelge 43. Asit göllerinin çevresindeki derelerin pH değerleri (Mayıs 2012)

X	Y	pH	X	Y	pH
489375	4422671	3,16	487454	4423403	2,85
487645	4424267	3,13	487396	4424039	3
487650	4424262	3,1	487871	4424273	2,76
487393	4424043	3,08	487652	4424250	2,89
487653	4424255	3,37	487115	4423870	3,6
487418	4424165	3,43	487337	4424201	2,82
487321	4424212	3,85	487422	4424166	2,91
487267	4424153	3,75	489059	4422927	3,56
487205	4423986	4,4	488623	4423360	3,95
487077	4423877	4,42	488886	4424904	3,5
487040	4423863	5,01	487651	4424254	2,42
487026	4423816	5,09	489431	4422631	4,14

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

487715	4424113	2,98	487237	4424233	3,61
487327	4422663	2,9	487265	4422548	3,46
487457	4423411	3,2	489375	4422671	3,16
487512	4423722	3,11	489373	4422667	4,47
487891	4424252	3,14	489431	4422631	4,14
488536	4424336	3,8	487649	4424252	3,77
489365	4422675	3,98	487908	4424233	3,61
488651	4423652	4,94	487311	4422935	5,19
488743	4423432	4,8	488629	4423611	5,11
488754	4423421	4,65	489059	4422927	3,56
488704	4423403	5,15	488623	4423360	3,95
487651	4424254	2,42	488886	4424904	3,5
489373	4422667	4,47	487908	4424233	3,61
489431	4422631	4,14	487764	4421886	5,75



Şekil 137. AMG'lerin ve çevresindeki derelerin pH değerleri (Mayıs 2012).

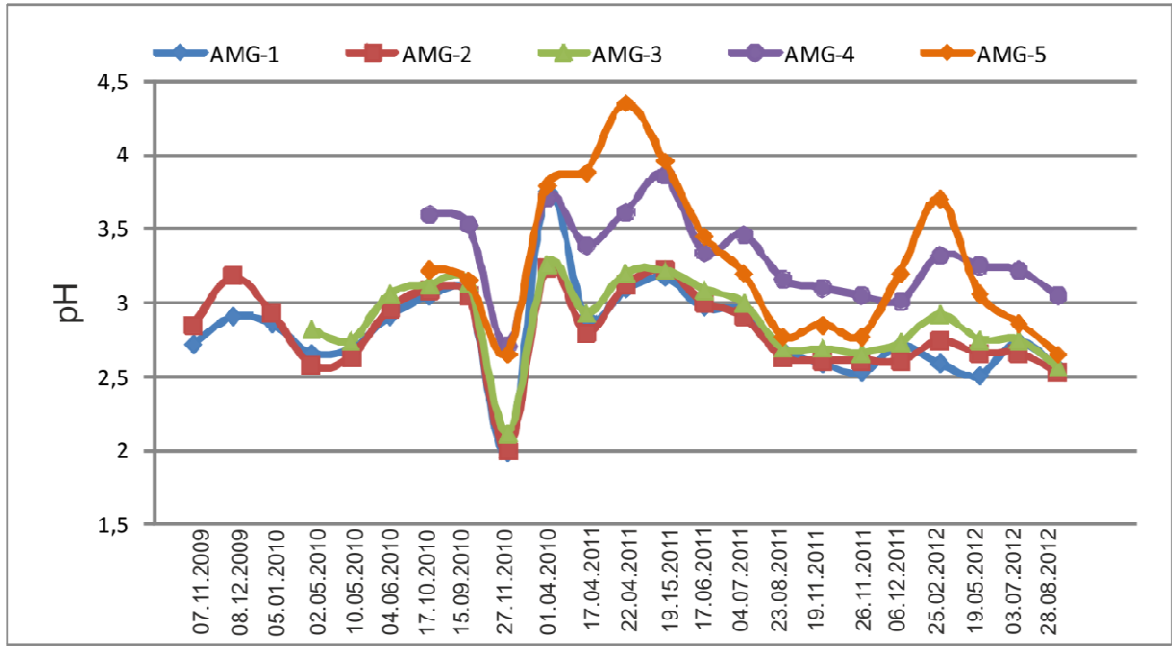
**4.4.1.1.2. Asit maden gölleri**

Asit maden göllerinde (AMG-1, 2, 3, 4 ve 5), 07.11.2009 ile 23.08.2012 tarihleri arasında, arazide 23 kez fizikokimyasal parametre değerleri ölçülmüştür. Diğer 4 AMG (AMG-6, 7, 8 ve 9) 28.08.2012 tarihinde çalışmaya dahil edilmiştir.

Yapılan ölçümlere göre, 5 gölde ortalama pH değeri 3,01'dir (Çizelge 44). Maksimum pH değeri 22.04.2011 tarihinde aşırı yağışlı dönemde, AMG-5'de ölçülen 4,35'tür. Minimum pH değeri ise 27.11.2010 tarihinde AMG-1'de ölçülen 1,99'dur (Şekil 138). Mills (1999), atmosferik oksidasyon koşullarında özellikle çok yağışlı mevsimler tepkimelerin taşınma kontrollü olduğu belirtmiştir. Yapılan düzenli ölçümler, yağışlar ile artan su debisinin AMD'nın seyrelmesini sağlayarak, yaz aylarına nazaran pH değerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Asit maden göllerinde zamana bağlı pH değişimi genellikle birbiri ile uyumludur. Eski bir dere yatağında bulunan AMG-5, atmosferik koşullardan en çok etkilenen göl olup, diğer göllere nazaran pH değişimi daha geniş aralıklarda değişmektedir.

Çizelge 44. Asit maden göllerinde ölçülen pH değerleri

Ölçüm tarihi	AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5
07.11.2009	2,72	2,85	-	-	-
08.12.2009	2,91	3,18			
05.01.2010	2,86	2,93			
02.05.2010	2,66	2,58	2,82	-	-
10.05.2010	2,69	2,63	2,74		
04.06.2010	2,91	2,96	3,06		
17.07.2010	3,05	3,09	3,12		
15.09.2010	3,06	3,05	3,14	3,53	3,15
27.11.2010	1,99	2	2,12	2,71	2,65
01.04.2011	3,75	3,24	3,26	3,71	3,79
17.04.2011	2,9	2,8	2,93	3,39	3,88
22.04.2011	3,09	3,12	3,2	3,61	4,35
19.05.2011	3,17	3,22	3,22	3,86	3,96
17.06.2011	2,97	3	3,09	3,34	3,45
04.07.2011	2,95	2,91	3	3,46	3,2
23.08.2011	2,68	2,63	2,69	3,16	2,77
19.11.2011	2,59	2,61	2,69	3,1	2,85
26.11.2011	2,53	2,61	2,66	3,05	2,77
06.12.2011	2,71	2,61	2,73	3,01	3,2
25.02.2012	2,59	2,74	2,92	3,32	3,7
19.05.2012	2,51	2,66	2,75	3,25	3,06
03.07.2012	2,74	2,66	2,75	3,22	2,86
28.08.2012	2,56	2,53	2,57	3,05	2,65
<b>Ortalama</b>	2,8	2,8	2,87	3,31	3,26
<b>Minimum</b>	1,99	2	2,12	2,71	2,65
<b>Maksimum</b>	3,75	3,24	3,26	3,86	4,35



Şekil 138. AMG'lerin zamana bağlı pH değişimi.

Atmosferik koşullardan kolaylıkla etkilenen asit maden göllerinin sıcaklık değerleri 7-30,6 °C arasında değişmektedir (Çizelge 45). Sracek ve ark. (2004), yüzey sularının sıcaklık değerleri coğrafi konum, yükseklik, mevsim, su kütlelerinin derinliği ve hatta gün içerisinde ölçüm yapılan saatten bile etkilendiğini belirtmiştir.

Çizelge 45. AMG'lerde ölçülen sıcaklık değerleri (°C)

Ölçüm tarihi	AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5
07.11.2009	16,8	17,2			
08.12.2009	11,7	10,6	-		
05.01.2010	7,5	7,9			
02.05.2010	17,9	17,3	17,9	-	-
10.05.2010	21,1	26,2	25,1		
04.06.2010	25,9	31,3	28,1		
17.07.2010	25,6	26,7	28,7	30,6	30,5
15.09.2010	23,6	22,9	22	23,1	22,4
27.11.2010	15,1	15,6	15,9	14,6	15,3
01.04.2011	12,5	9,5	11,1	11,8	11,7
17.04.2011	10,9	11,5	12,6	12	12,1
22.04.2011	13,4	11,9	11,8	12,2	12
19.05.2011	18,7	19,3	21	21	20,1
17.06.2011	23,7	24,8	25	28,5	27,7
04.07.2011	27,3	28,9	28,2	26,7	25,4
23.08.2011	26,6	24,9	24,1	25,3	25,1
19.11.2011	9,3	9,3	8	12	9,6
26.11.2011	7,6	7,6	7	8,9	7,5

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

06.12.2011	9,4	11,5	11,9	10,8	10,9
25.02.2012	9,1	10	7,6	8,2	8,5
19.05.2012	22,1	22,6	21,9	21,3	21,4
03.07.2012	26,9	26,7	26,8	27,3	27,1
28.08.2012	25,4	25,3	25,3	27,7	27,6
<b>Ortalama</b>	17,74	18,23	19	18,94	18,52
<b>Minimum</b>	7,5	7,6	7	8,2	7,5
<b>Maksimum</b>	27,3	28,9	28,7	30,6	30,5

Eh değerleri, düşük pH ve yüksek demir konsantrasyonuna sahip sularda anlamlı sonuçlar vermektedir (Nordstrom ve ark., 1979; Sracek ve ark., 1994). Asit maden göllerinin ortalama Eh değerleri 176-261 mV arasında ölçülmüştür (Çizelge 46). Eh değerleri, asit maden göllerinde yüksek olan demir konsantrasyonunun baskın olan  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  redoks çiftinin varyasyonlarından etkilenmektedir.

Çizelge 46. AMG'lerde ölçülen Eh değerleri (mV)

Ölçüm tarihi	AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5
07.11.2009	243	243	-	-	-
08.12.2009	237	221			
05.01.2010	234	229			
02.05.2010	245	251	233	-	-
10.05.2010	249	253	246		
04.06.2010	258	261	252		
17.07.2010	256	255	257		
15.09.2010	256	257	251	229	251
27.11.2010	242	242	237	206	210
01.04.2011	201	228	227	201	198
17.04.2011	233	235	228	205	203
22.04.2011	237	234	230	207	176
19.05.2011	235	237	238	201	194
17.06.2011	253	251	246	217	210
04.07.2011	256	260	254	227	242
23.08.2011	253	254	250	224	247
19.11.2011	228	227	222	201	214
26.11.2011	226	221	218	199	214
06.12.2011	232	224	217	200	211
25.02.2012	235	233	221	198	177
19.05.2012	239	245	238	217	220
03.07.2012	242	248	243	215	236
28.08.2012	236	238	235	208	233
<b>Ortalama</b>	240,26	241,17	237,15	210,88	217,05
<b>Minimum</b>	201	221	217	198	176
<b>Maksimum</b>	258	261	257	230	254

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Asit maden göllerinde ölçülen yüksek EC değerleri, göllerin yüksek iyon konsantrasyonu varlığının işaretidir. Göllerin ortalama EC değerleri 2342-6080  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasındadır (Çizelge 47). Asit maden göllerindeki minimum EC değeri, AMG-5'de 674  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , maksimum EC değeri ise AMG-2'de 7310  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. AMG-5, atmosferik koşullardan diğer göllere nazaran daha kolay etkilenmesi nedeniyle diğer göllere nazaran düşük EC değerine sahiptir. Göllerin EC değerlerinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde birbirleri ile genel olarak uyumlu oldukları saptanmıştır (Şekil 139). AMG-2'de su-kayaç etkileşimi daha fazla olması nedeniyle, EC değeri diğer göllere nazaran daha yüksektir.

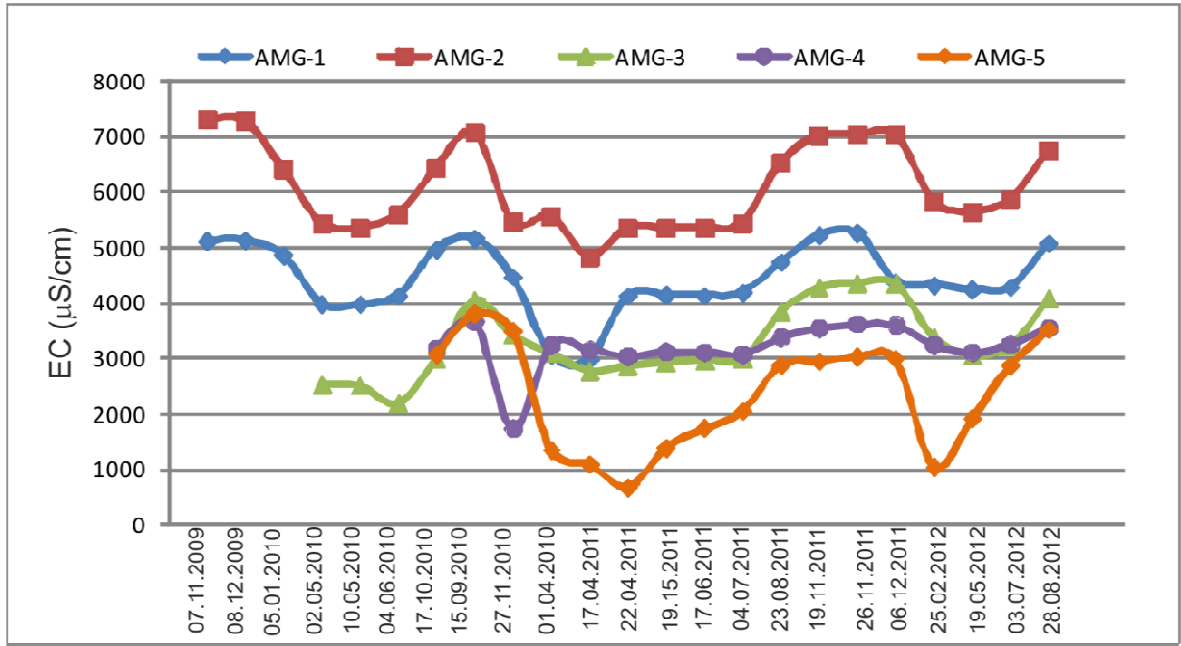
Çizelge 47. AMG'lerde ölçülen EC değerleri ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

Ölçüm tarihi	AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5
07.11.2009	5110	7310	-	-	
08.12.2009	5130	7280			
05.01.2010	4860	6410			
02.05.2010	3970	5430	2530		
10.05.2010	3970	5350	2510		
04.06.2010	4120	5590	2180		
17.07.2010	4960	6434	2990		
15.09.2010	5160	7070	4050	3180	3070
27.11.2010	4460	5450	3430	3660	3810
01.04.2011	3040	5550	3080	1732	3490
17.04.2011	2985	4820	2770	3240	1345
22.04.2011	4120	5340	2870	3160	1085
19.05.2011	4130	5350	2920	3040	674
17.06.2011	4120	5340	2960	3120	1384
04.07.2011	4180	5440	2990	3110	1736
23.08.2011	4730	6530	3840	3070	2050
19.11.2011	5210	7010	4280	3370	2880
26.11.2011	5260	7030	4360	3550	2940
06.12.2011	4370	7030	4340	3620	3030
25.02.2012	4320	5820	3380	3600	2990
19.05.2012	4235	5640	3050	3240	1040
03.07.2012	4280	5870	3230	3100	1915
28.08.2012	5070	6750	4070	3260	2870
<b>Ortalama</b>	4425,65	6080,17	3291,5	3550	3520
<b>Minimum</b>	2985	4820	2180	3260	2870
<b>Maksimum</b>	5260	7310	4360	3550	3520



## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL



Şekil 139. AMG'lerin zamana bağlı EC değişimi.

AMG'lerin tuzluluk değerleri ortalama olarak % 1,05-3,18 arasında ölçülmüştür (Çizelge 48). Tuzluluk değerleri, elektriksel iletkenlik değerleri ile uyumlu değişim göstermektedir.

Çizelge 48. AMG'lerde ölçülen tuzluluk değerleri (‰)

Ölçüm tarihi	AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5
07.11.2009	2,7	4			
08.12.2009	2,7	3,9	-		
05.01.2010	2,5	3,4			
02.05.2010	2	2,8	1,2		
10.05.2010	2	2,9	1,2		
04.06.2010	2,1	3	1,3		
17.07.2010	2,4	3,5	1,5	1,6	1,5
15.09.2010	2,7	3,9	2,1	1,8	1,9
27.11.2010	2,3	2,9	1,7	0,7	1,7
01.04.2011	1,4	2,9	1,5	1,6	0,5
17.04.2011	1,3	2,5	1,3	1,4	0,3
22.04.2011	2,1	2,8	1,3	1,4	0,1
19.05.2011	2,2	2,8	1,4	1,5	0,5
17.06.2011	2,3	2,9	1,4	1,6	0,7
04.07.2011	2,2	2,9	1,5	1,5	0,9
23.08.2011	2,5	3,6	1,9	1,7	1,4
19.11.2011	2,7	3,8	2,1	1,7	1,4
26.11.2011	2,7	3,7	2,2	1,8	1,4
06.12.2011	2,2	3,8	2,2	1,7	1,3
25.02.2012	2,2	1,4	1,6	1,5	0,4

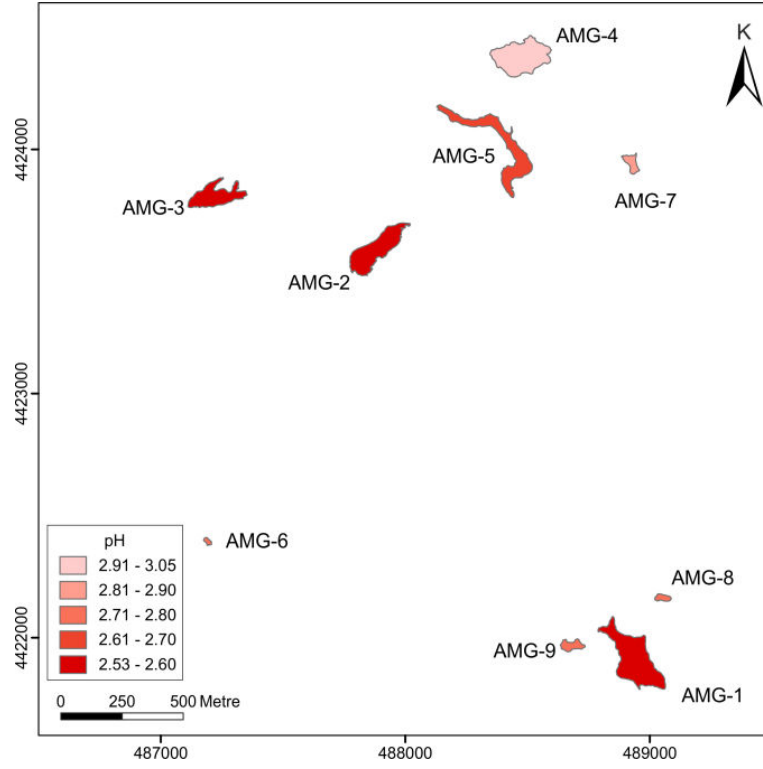
**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

19.05.2012	2,7	3	1,5	1,4	0,8
03.07.2012	2,2	3,2	1,6	1,6	1,4
28.08.2012	2,7	3,7	2,1	1,8	1,8
<b>Ortalama</b>	2,29	3,18	1,63	1,54	1,05
<b>Minimum</b>	1,3	1,4	1,2	0,7	0,1
<b>Maksimum</b>	2,7	4	2,2	1,8	1,9

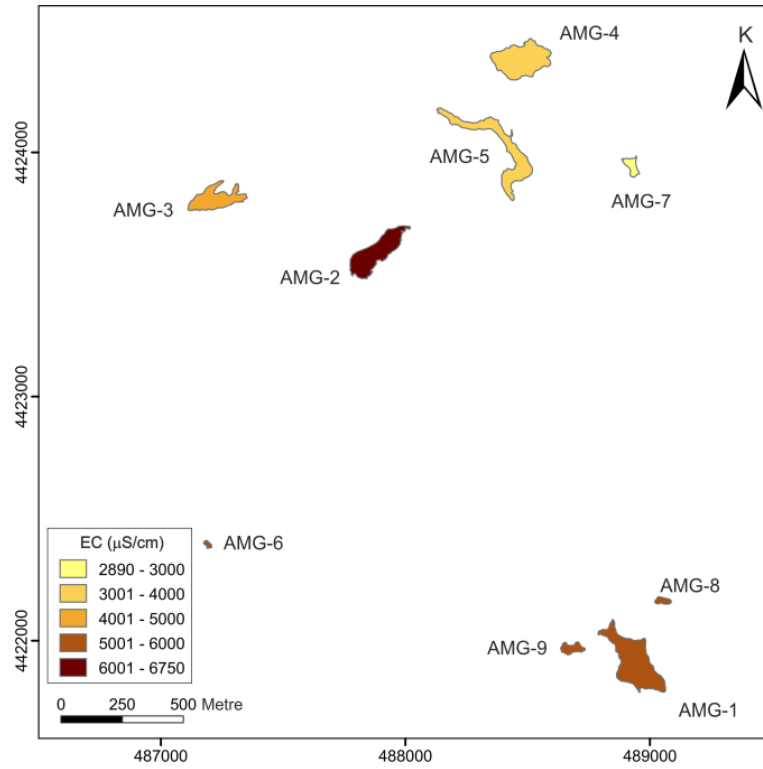
28.08.2012 tarihinde tüm göllerde fizikokimyasal parametre ölçümleri yapılmıştır (Çizelge 49). En düşük pH değeri AMG-2'de 2,53, en yüksek pH değeri AMG-4'te 3,05 olarak ölçülmüştür (Şekil 140). Göllerin sıcaklık değerleri 26,1-29,3 °C aralığında olup, hava sıcaklığı ile orantılı olarak yüksektir. Eh değerleri 208-242 mV aralığında ölçülmüştür. EC değerleri, en yüksek AMG-2'de 6750 µS/cm, en düşük ise AMG-7'de 2890 µS/cm olarak ölçülmüştür (Şekil 141). Tuzluluk değerleri, EC ile orantılı olarak yüksek olup, ‰ 1,4-3,7 aralığında değişmektedir.

Çizelge 49. Tüm AMG'lerin fizikokimyasal parametre değerleri (28.08.2012)

Su noktası	pH	Eh (mV)	T (Göl, °C)	T (Hava, °C)	EC (µS/cm)	Sal (‰)	Renk
AMG-1	2,56	236	25,4	26,1	5070	2,7	Sarı-turuncu-kırmızı-kahve
AMG-2	2,53	238	25,3	26,9	6750	3,7	Sarı-turuncu-kırmızı-kahve
AMG-3	2,57	235	25,3	27,3	4070	2,1	Sarı-turuncu-kırmızı-kahve
AMG-4	3,05	208	27,7	28,4	3550	1,8	Mavi
AMG-5	2,65	233	27,6	29,3	3520	1,8	Sarı-turuncu-kırmızı-kahve
AMG-6	2,79	231	27,4	28,7	3980	2,1	Sarı-turuncu-kırmızı-kahve
AMG-7	2,87	219	26,7	27,5	2890	1,4	Yeşil
AMG-8	2,71	242	27	27,2	5780	2,9	Sarı-turuncu-kırmızı-kahve
AMG-9	2,79	240	27,2	26,9	5910	3,2	Sarı-turuncu-kırmızı-kahve

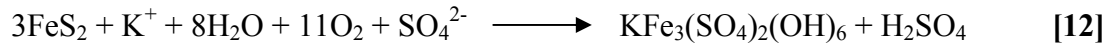


Şekil 140. AMG'lerin pH değerleri (Ağustos 2012).



Şekil 141. AMG'lerin EC değerleri (Ağustos 2012).

Renk değişimi asit maden gölleri için ayırt edici bir özellik olmuştur. AMG-4 mavi, AMG-7 ise yeşil rengi ile karakteristik olup, diğer göller kıyı kesimlerde sarı-turuncu ve derinlere doğru kırmızı-kahve tonları arasında değişen renge sahiptir. AMD'nin rengi, jeokimyasal oluşum ortamındaki çözülmüş metal iyonlarına bağlı olarak oluşan mineral çökelişi ile değişmektedir. Karadeniz (2011), AMD'nin oluşum reaksiyonları sırasında bir kısım  $Fe^{3+}$ 'ün hidrolize uğrayarak oluşan demir hidroksitinin sarı, kırmızı, turuncu ve kahverengi renkler vererek çökeldiğini ifade etmiştir [11]. 2 no'lu AMG'nün tabanında, XRD sonuçları ile jarosit mineralleri saptanmıştır [12]. Göllerin tabanındaki sarı-kırmızı rengin sebebi; ikincil mineral çökelimleridir (Şekil 142).



Şekil 142. AMG'nin tabanında oluşan jarosit mineralleri.

AMG-2'de Temmuz 2010 döneminde yapılan limnolojik çalışmalar neticesinde elde edilen fizikokimyasal parametre ölçümleri Çizelge 50'de sunulmuştur. Ölçümler, 15 m mesafe ve 3 m'lik derinlik değişimi ile toplam 48 noktada yapılmıştır (Şekil 143). Artan

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

derinlikle birlikte pH, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk değerlerinde artış, sıcaklık ve redoks potansiyeli değerlerinde ise azalma belirlenmiştir (Şekil 144). pH 3,04 ile 3,85 arasında değişmiştir, ortalama değer 3,32'dir. 6 m derinlikten sonra pH değerinde daha fazla artış gözlenmiştir. Maksimum sıcaklık değeri yüzeyde 26,8 °C ölçülmüştür. Minimum sıcaklık değeri, 12 metre derinlikte 12,9 °C, ortalama sıcaklık değeri ise 20,59 °C'dır. Derinlikle azalan sıcaklık değeri, 9 m derinlikten sonra belirgin azalma göstermemiştir. Eh değerleri 167 ile 257 mV arasında değişmiştir. Elektriksel iletkenlik değerleri 6390 ile 6990 µS/cm arasında değişmektedir. Tuzluluk değeri de elektriksel iletkenlik ve derinlikle doğru orantılı olarak artmış ve ortalama değeri ‰ 3,65 olarak ölçülmüştür.

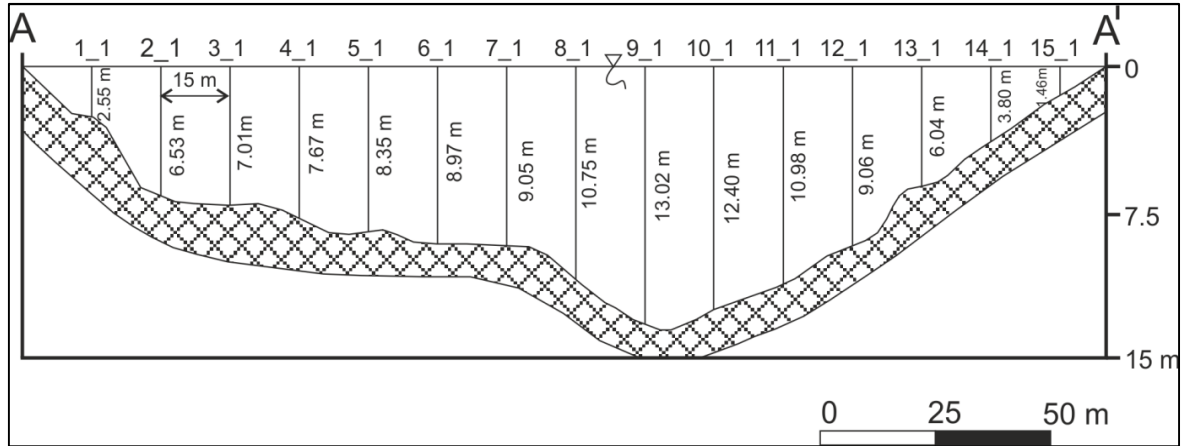
Çizelge 50. 2 no'lu AMG'nin derinliğe bağlı değişen fizikokimyasal parametre değerleri

Ölçüm noktası	Toplam derinlik (m)	Ölçüm derinliği (m)	pH	T (°C)	Eh (mV)	EC (µS/cm)	Sal (‰)
1_1	2,55	0	3,09	26,7	255	6434	3,5
2_1	6,53	0	3,11	26,8	254	6440	3,5
2_2		-3	3,15	21,6	220	6680	3,7
2_3		-6	3,25	18,6	195	6850	3,8
3_1	7,01	0	3,1	26,7	255	6420	3,5
3_2		-3	3,17	22,1	226	6610	3,6
3_3		-6	3,27	17,9	190	6820	3,8
4_1	7,67	0	3,12	26,8	256	6400	3,5
4_2		-3	3,19	21,5	225	6650	3,7
4_3		-6	3,28	17,9	193	6880	3,8
5_1	8,35	0	3,08	26,8	254	6410	3,5
5_2		-3	3,17	22,3	215	6640	3,7
5_3		-6	3,29	17,1	191	6820	3,8
6_1	8,97	0	3,07	26,5	254	6430	3,5
6_2		-3	3,15	22,2	224	6590	3,6
6_3		-6	3,28	17,2	196	6850	3,8
7_1	9,05	0	3,11	26,4	257	6440	3,5
7_2		-3	3,14	21,6	228	6680	3,7
7_3		-6	3,27	17,6	192	6850	3,8
7_4		-9	3,45	13,4	175	6960	3,9
8_1	10,75	0	3,09	26,5	254	6390	3,4
8_2		-3	3,21	21,2	220	6585	3,6
8_3		-6	3,3	16,9	195	6745	3,7
8_4		-9	3,47	13,5	177	6860	3,8
9_1	13,02	0	3,07	26,4	253	6390	3,3
9_2		-3	3,15	21,6	224	6560	3,6
9_3		-6	3,26	16,2	189	6780	3,8
9_4		-9	3,5	13,6	175	6900	3,9
9_5		-12	3,83	12,9	168	6970	4
10_1	12,4	0	3,05	26,5	255	6410	3,4
10_2		-3	3,16	21,2	226	6605	3,6

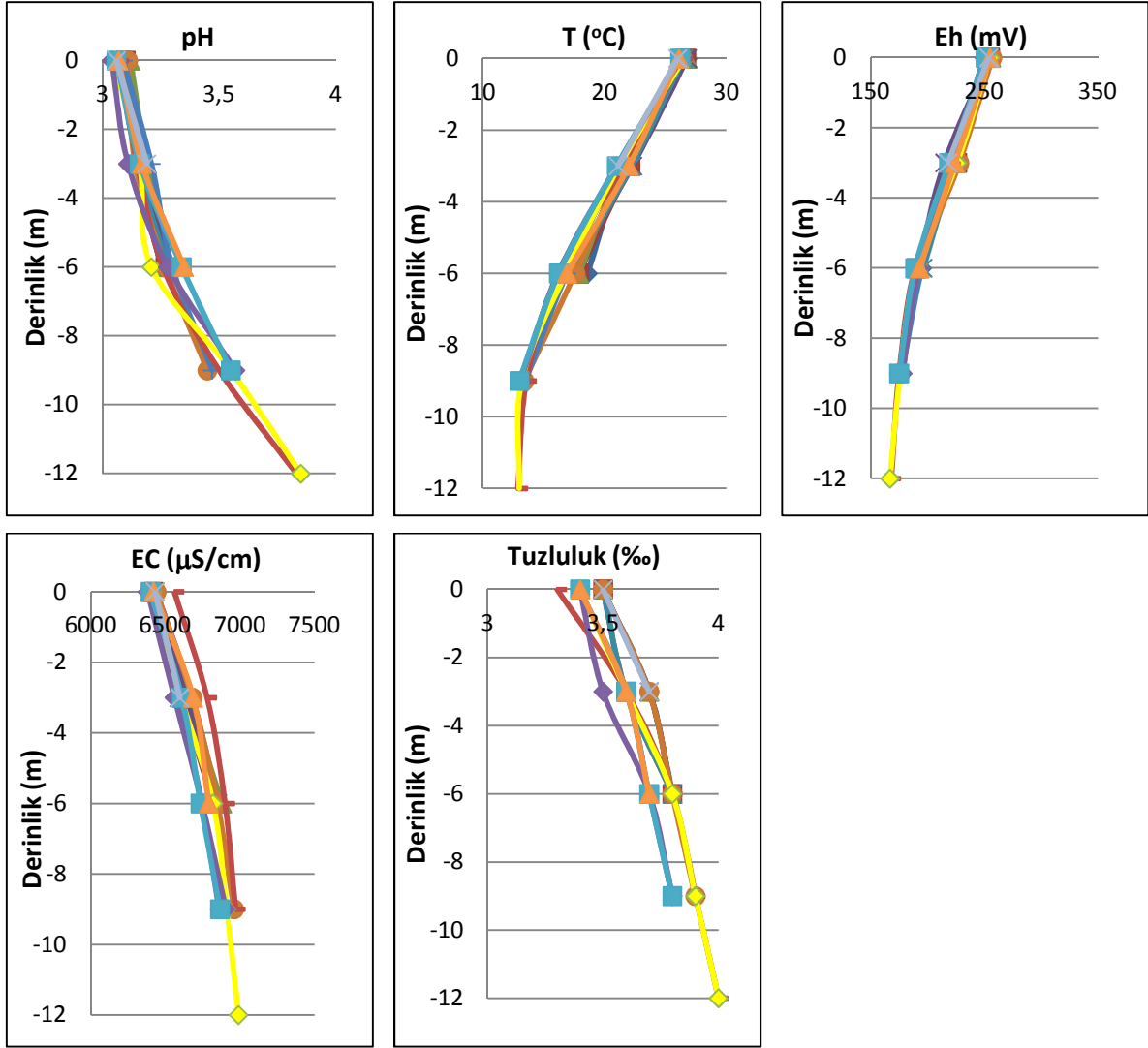
## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

10_3		-6	3,21	16,8	190	6820	3,8
10_4		-9	3,55	13,2	176	6910	3,9
10_5		-12	3,85	13	167	6990	4
11_1	10,98	0	3,04	26,3	250	6380	3,4
11_2		-3	3,11	21	221	6560	3,5
11_3		-6	3,28	16,2	192	6745	3,7
11_4		-9	3,57	13,1	178	6905	3,8
12_1	9,06	0	3,06	26,2	251	6400	3,4
12_2		-3	3,16	21	219	6610	3,6
12_3		-6	3,34	16,25	189	6735	3,7
12_4		-9	3,55	13	175	6865	3,8
13_1	6,04	0	3,07	26,1	255	6420	3,4
13_2		-3	3,17	22	224	6685	3,6
13_3		-6	3,35	16,9	193	6790	3,7
14_1	3,8	0	3,06	26	254	6430	3,5
14_2		-3	3,19	21,1	218	6595	3,7
15_1	1,46	0	3,08	26,2	256	6425	3,5
<b>Ortalama</b>			3,32	20,59	216,64	6652,37	3,65
<b>Maksimum</b>			3,85	26,8	257	6990	3,3
<b>Minimum</b>			3,04	12,9	167	6390	4



Şekil 143. AMG-2'nin 15 m aralıklarla ölçülen derinlik değerleri.



Şekil 144. AMG-2'de derinlikle değişen fizikokimyasal parametre değerleri.

#### 4.4.1.2. Yeraltı suları

##### 4.4.1.2.1. Kaynaklar

Köylere giden içme ve kullanma sularının arazide ölçülen fizikokimyasal parametre sonuçları Çizelge 51'de sunulmuştur. Çan volkanitlerinin altere zonlarından çıkan Muratlar köyünün içme suyu ortalama pH değeri 4,67, Muratlar köy merkezinde yer alan şadırvana giden kaynağın ortalama pH değeri 3,92'dir. Şadırvan kaynağı, içme suları arasında en asidik olan kaynaktır. Evciler plütununun granitik zonlarından çıkan Halılağa köyü içme suyunun ortalama pH değeri 7,3'tür. Çan volkanitlerine ait altere zondan çıkan Hacibekirler köyü ana depo-1 kaynağının ortalama pH değeri 5,1'dir. Çan volkanitlerine ait

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

alterasyona uğramamış zonlardan çıkan Hacıbekirler köyü ana depo-2 kaynağının ortalama pH değeri 7,27'dir. En yüksek elektriksel iletkenlik değeri; Halılağa köyünün ana deposunda ortalama 513,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ölçülmüştür. İçme sularının redoks potansiyeli değerleri -42 ile 168 mV arasında ölçülmüştür. Kaynakların tuzluluk değerleri ‰ 0'dır. Muratlar ana depo ve şadırvan ile Hacıbekirler ana depo-1 içme sularının pH değerleri, limit değerlerin altında olup, içme açısından uygun değildir.

Çizelge 51. İçme suyu kaynaklarının fizikokimyasal parametre değerleri

Köy adı	Su tipi	Ölçüm tarihi	pH	Eh (mV)	T (°C)	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Sal (‰)	Formasyon	Referans
Muratlar	Ana depo	19.05.2011	4,99	121	14,2	95	0	Çan volkanitleri	Bu çalışma
		07.07.2011	4,41	141	17,5	84	0		
		20.07.2011	4,6	-	17,5	70,8	-		SRK, 2012
		23.08.2011	4,56	136	17,9	91	0		
		23.09.2011	5,14	-	16,8	78,9	-		Bu çalışma
		20.11.2011	4,49	124	13,6	94	0		
	04.03.2012	4,69	122	9,3	87	0	SRK, 2012		
	19.05.2011	4,15	145	12,9	109	0		Bu çalışma	
	Şadırvan	07.07.2011	3,92	168	16,6	120	0		Çan volkanitleri
		20.07.2011	3,87	-	17,2	116	-		
23.09.2011		3,99	-	18,8	146,5	-			
04.03.2012		4,09	150	5,7	114	0			
Halılağa	Ana depo	14.07.2010	7,06	20	13,8	570	0	Evciler Plütönu	Bu çalışma
		19.05.2011	7,21	6	11,8	503	0		
		07.07.2011	7,21	-18	12,8	450	0		
		20.11.2011	7,4	-42	10,4	581	0		
		04.03.2012	7,4	-38	9,4	462	0		
Hacıbekirler	Ana depo-1	07.07.2011	5,09	103	17,3	212	0	Çan volkanitleri	Çan volkanitleri
		04.03.2012	5,12	97	13,5	216	0		
	Ana depo-2	07.07.2011	7,48	-36	16,6	481	0		
		04.03.2012	7,07	-20	12,1	541	0		

Köy kaynakları arasında en düşük pH değeri, Halılağa köyü girişinde Soğuluk tepenin eteğinde, silisik zon ile arjilik zonun kesişiminden çıkan 10 no'lu kaynakta 3,47 ölçülmüştür. Tüm kaynakların ortalama pH değeri ise 4,94'tür (Çizelge 52). pH değerleri düşük olan sular, Çan volkanitlerinin ayrışma/alterasyon zonlarından çıkan sulardır. Kaynakların ortalama EC değeri 721,52  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Maksimum EC değeri Keçiagılı köyünde bulunan 8 no'lu kaynakta ölçülen 2840  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , minimum EC değeri ise Muratlar köyündeki 16 no'lu kaynakta ölçülen 105  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Kaynakların sıcaklık değerleri mevsimsel olarak değişim göstermektedir.



**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA**

**Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

Çizelge 52. Su kaynaklarının fizikokimyasal parametre değerleri

Ölçüm tarihi	Köy adı	Analiz no	pH	Eh (mV)	T (°C)	EC (µS/cm)	Tuzluluk (‰)	Formasyon	
16.09.2010	Keçiağılı	6	3,71	184	22,3	1446	0,5	Çan volkanitleri	
27.11.2010			3,78	154	17,1	1485	0,5		
04.07.2011			4,07	186	21,4	1537	0,6		
03.03.2012			4,54	128	10,6	1538	0,6		
16.09.2010		7	7	7,33	-24	22	624	0,1	Çan volkanitleri
27.11.2010				7,15	-16	14,9	674	0,1	
04.07.2011				7,37	-8	23	683	0,1	
03.03.2012				6,95	-5	6,3	746	0,1	
16.09.2010		8	8	3,91	171	21,5	2840	1,4	Çan volkanitleri
05.07.2011				4,47	160	17,7	2660	1,2	
16.09.2011		9	9	6,52	23	23,5	476	0	Çan volkanitleri
05.07.2011				6,73	30	19,9	481	0	
23.08.2011	6,55			21	23	507	0		
03.03.2012	6,34			28	10,3	336	0		
16.09.2010	Halilağa	10	3,58	189	18,6	200	0	Çan volkanitleri	
05.07.2011			3,98	188	17,5	199	0		
23.08.2011			3,77	183	19,2	199	0		
20.11.2011			3,7	169	15,3	203	0		
03.03.2012		11	11	3,47	189	13	265	0	Çan volkanitleri
16.09.2010				4,32	146	17,7	148	0	
06.07.2011				4,68	146	14,8	135	0	
23.08.2011				4,33	148	17,6	144	0	
20.11.2012		12	12	4,31	134	13,7	142	0	Çan volkanitleri
03.03.2012				4,61	124	10,3	118	0	
05.07.2011				6,88	-6	22	718	0,1	
23.08.2011				6,86	2	23,8	812	0,2	
04.03.2012		13	13	6,88	-10	6,4	838	0,2	Evciler plütönu
14.07.2010				7,01	24	16,6	486	0	
14.09.2010	7,11			16	17,7	481	0		
07.07.2011	6,88			2	17,7	442	0		
03.03.2012	14	14	6,88	-9	12,4	448	0	Karakaya kompleksi	
07.07.2011			7,24	-23	19,1	440	0		
06.03.2012	Muratlar	15	7,1	-21	13	491	0	Çan volkanitleri	
06.07.2011			6,22	37	17,9	823	0,2		
06.03.2012		16	16	6,35	25	13,2	837	0,2	Çan volkanitleri
04.07.2011				4,95	110	20,6	105	0	
23.08.2011				4,89	118	21,1	109	0	
20.11.2011				4,9	99	8,5	107	0	
03.03.2012		17	17	5,25	90	4,7	128	0	Çan volkanitleri
04.03.2012				7,07	-12	9,6	815	0,1	
03.07.2012		18	18	7,02	-10	15,5	803	0,1	Çan volkanitleri
15.09.2010				3,9	189	20	487	0	
06.07.2011				3,71	186	18,8	450	0	
23.08.2011				3,84	180	21	489	0	
20.11.2011	19	19	3,89	156	10,8	454	0	Çan volkanitleri	
03.03.2012			3,69	190	5,7	521	0		
04.07.2012			3,8	175	18,7	508	0		
Baba, 2010			3,78	-	14,7	873	-		
15.09.2010	20	20	3,84	172	16,3	807	0,2	Çan volkanitleri	
20.11.2011			3,67	170	13,4	853	0,2		
03.03.2012	21	21	3,74	174	14,1	815	0,1	Çan volkanitleri	
15.09.2010			3,58	201	17,3	1078	0,4		
07.07.2011			3,38	205	18,3	1052	0,3		
03.03.2012			3,57	185	10,3	968	0,2		
08.07.2011	22	22	3,57	192	21,8	673	0,1	Çan volkanitleri	
04.03.2012			3,53	188	20,1	746	0,1		
28.04.2013	23	23	3,59	190	21,3	775	0,1	Çan volkanitleri	
07.07.2011			3,82	176	19,7	488	0		
03.03.2012	Hacıkasım	23	3,8	174	13	564	0	Çan volkanitleri	
06.07.2011			4,01	152	26,1	1575	0,6		
23.08.2011			4,13	165	19,6	1599	0,6		
04.03.2012			4,19	155	17,3	1621	0,6		
04.07.2012	Ortalama değer		4,12	149	19,4	1528	0,6		
			4,96	109,74	16,64	723,69	0,16		

Muratlar köyünün kuzeyinde, Tepeköy mahallesinde yer alan kaynak, yöre halkı tarafından "imam çeşmesi" olarak isimlendirilmiştir (Şekil 145). Bu çalışmada, 21 no'lu kaynak olarak adlandırılmıştır. Kaynağın sıcaklık değeri mevsimsel olarak büyük değişim göstermemekle birlikte, sıcaklığı 08.07.2011 tarihinde 21,8 °C, kar yağışının yoğun olduğu 04.03.2012 tarihinde 20,1 °C, 28.04.2013 tarihinde ise 21,3 °C ölçülmüştür. Bu kaynak sıcaklığının bölgenin ortalama sıcaklık değeri olan 15,02 °C'nin üzerinde olması ve Uluslararası Hidrojeologlar Birliği tarafından sıcaklığı 20 °C'in üstünde olan kaynakların "jeotermal su" olarak adlandırılması nedeniyle, "düşük sıcaklıklı jeotermal kaynak" olarak tanımlanmıştır.



Şekil 145. 21 no'lu su kaynağı.

#### **4.4.1.2.2. Sondajlar**

##### **4.4.1.2.2.1. Gözlem kuyuları**

Gözlem kuyuları, Çan volkanitlerinin alterasyona uğramamış kısımlarda açılmıştır ve aglomeratik seviyelerinden su alınmaktadır. Kuyuların fizikokimyasal parametre sonuçları Çizelge 53'de sunulmuştur. Minimum pH değeri GK-1'de ölçülen 6,82, maksimum pH değeri ise GK-3'de ölçülen 7,82 olup, ortalama pH değeri 7,3'tür. Eh değeri -45 ile 22 mV

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

aralığında ölçülmüştür. Maksimum EC değeri, GK-3'de 1440  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , minimum EC değeri GK-1'de 445  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ölçülmüştür. Gözlem kuyularının tuzluluk değerleri ‰ 0 ile 0,5 arasındadır. En düşük sıcaklık değeri olan 6,5 °C, yoğun kar yağışının olduğu 01.03.2012 tarihinde GK-3'de ölçülmüştür.

Çizelge 53. Gözlem kuyularının fizikokimyasal parametre değerleri

Su noktası	Ölçüm tarihi	pH	T (°C)	Eh (mV)	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Sal (‰)	Referans	
GK-1	2010	7,34	14,1	-	684	-	Baba, 2010	
	13.07.2010	7,05	17,2	11	462	0	Bu çalışma	
	14.09.2010	7,03	16,9	22	465	0		
	26.11.2010	6,82	16	7	445	0		
	10.04.2011	7,2	13,2	5	529	0		
	19.05.2011	7,61	13,5	-17	798	0,1		
	05.07.2011	7,21	17,8	-19	675	0,1		
	20.07.2011	7,32	18,5	-	613	-	SRK, 2012	
	22.09.2011	7,31	16,4	-	706	-		
	20.11.2011	6,98	14,9	-19	718	0,1		
	01.03.2012	7,22	11,3	-18	633	0		
04.07.2012	7,24	15,9	-23	747	0,1			
GK-2	13.07.2010	7,15	21	6	996	0,3	Bu çalışma	
	14.09.2010	7,6	21	-10	990	0,3		
	26.11.2010	7,07	16,1	5	955	0,3		
	10.04.2011	7,51	15	-13	1047	0,3		
	19.05.2011	7,7	15,5	-23	1003	0,3		
	05.07.2011	7,5	21,3	-36	940	0,2		
	20.11.2011	7,44	16	-45	1104	0,3		
	01.03.2012	7,24	13,3	-19	1100	0,3		
04.07.2012	7,49	21,9	-40	1008	0,3			
GK-3	13.07.2010	7,14	18,2	7	1388	0,5		
	14.09.2010	7,04	18,4	-7	1343	0,5		
	26.11.2010	7,04	16	-16	1399	0,5		
	10.04.2011	7,68	14,2	-23	1290	0,4		
	19.05.2011	7,82	16,3	-30	1424	0,5		
	05.07.2011	7,11	17,6	-12	1440	0,5		
	20.11.2011	7,05	15,4	-22	1380	0,5		
	01.03.2012	7,54	6,5	-35	1255	0,5		
04.07.2012	7,24	15,9	-24	1351	0,5			

#### 4.4.1.2.2. İzleme kuyuları

Çan volkanitlerinde açılmış olan, izleme kuyularında ölçülen ortalama pH değeri 6,91'dir. Minimum pH değeri SRK-3'de ölçülen 5,91, maksimum pH değeri ise SRK-1'de ölçülen 7,47'dir (Çizelge 54). SRK-1'in EC değerlerinde zaman içerisinde artış gözlenmiştir. Mayıs 2012'de ölçülen EC değeri 7360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Sal değeri ise ‰ 4' olup, bu

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

değerler, su noktalarında ölçülen en yüksek EC ve Sal değerleridir. SRK-1'e ait sondaj logu incelendiğinde (Bölüm 4.3) yüksek EC değeri fay zonu ile ilişkilendirilmiştir. Çünkü bu alanda hem düşük debili su alınabilmektedir, hem de kil oranı oldukça yüksektir. Bu nedenle, su-kayaç etkileşimi fazladır. Ayrıca SRK-2'nin EC değeri, SRK-3'e göre oldukça yüksektir. Bunu nedeni SRK-2'de su alınan (volkanik breş) birim kalınlığı 13,5 m iken SRK-3'de su alınan aynı birimin kalınlığı ise 36 m'dir. Ayrıca, SRK-2'deki su-kayaç etkileşimi SRK-3'e göre daha fazladır.

Çizelge 54. İzleme kuyularına ait fizikokimyasal parametre değerleri

Su noktası	Ölçüm tarihi	pH	Eh (mV)	T (°C)	EC (µS/cm)	Sal (‰)	Referans
SRK-1	Temmuz 2011	7,22	-	19,1	4200	-	SRK, 2012
	Eylül 2011	7,47	-	18,2	5660	-	
	19.05.2012	6,85	-2	14,9	7360	4	Bu çalışma
SRK-2	Temmuz 2011	7,22	-	22,8	1896	-	SRK, 2012
	Eylül 2011	7,24	-	16,3	1939	-	
	19.05.2012	7,16	-19	14,5	2210	1	Bu çalışma
SRK-3	Temmuz 2011	5,91	-	16,8	97	-	SRK, 2012
	Eylül 2011	6,62	-	16	377	-	
	19.05.2012	6,46	21	14,1	350	0	Bu çalışma

#### 4.4.1.2.2.3. Araştırma sondajları

Araştırma sondajları, Çan volkanitlerinde açılmıştır. En düşük pH değerine sahip sondaj HD-50 olup, ortalama pH değeri 4,37'dir (Çizelge 55). Yeraltı suyu, arjilik alterasyona uğramış kayalar ile teması neticesinde asidik karakter kazanmıştır. Diğer sondajlar ise asidik-nötr aralıktadır. HD-57'de yüksek elektriksel iletkenlik ve tuzluluk değerleri sırası ile 2200 µS/cm ve ‰ 1 ölçülmüştür. HD-57'nin yüksek EC değeri, su-kayaç etkileşiminin diğer sondajlara göre daha fazla olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 55. Araştırma sondajlarının fizikokimyasal parametre değerleri

Sondaj adı	Ölçüm tarihi	pH	Eh (mV)	T (°C)	EC (µS/cm)	Sal (‰)
HD-39	06.07.2011	5,15	101	16,1	137	0
	06.03.2012	5,24	81	9	110	0
HD-40	06.07.2011	5,34	89	14,7	125	0
	06.03.2012	5,39	75	10,1	158	0
HD-44	03.03.2012	5,7	65	5,6	131	0
HD-50	06.07.2011	4,33	149	16,2	201	0
	06.03.2012	4,41	132	13,8	288	0
HD-57	06.07.2011	7,08	-12	21,9	2200	1
	06.03.2012	6,43	15	10,6	1262	0,4
HD-61	06.07.2011	7,01	-7	16,3	221	0
	06.03.2012	6,08	35	7,6	111	0

**4.4.1.2.3. Keson kuyular**

Keson kuyularda ölçülen minimum pH değeri 3,31, maksimum pH değeri 7,21, ortalama pH değeri ise 6,16'dır (Çizelge 56). Eh değerleri -20 ile 182 mV arasında değişmektedir. EC değerleri 77 ile 2330  $\mu\text{S/cm}$  aralığında ölçülmüştür, ortalama değer 785,2'dir. En düşük pH ve yüksek EC değeri Hacıkasım köyünün güneyinde yer alan KK-20 no'lu arjilik alterasyona uğramış tüfler üzerine açılmış keson kuyuda ölçülmüştür. Atmosferik koşullardan etkilenen keson kuyularda, yaz aylarında 19,9 °C'a kadar ulaşan sıcaklık değeri ölçülmüştür. Kışın bu değer 6,1 °C'a kadar düşmektedir.

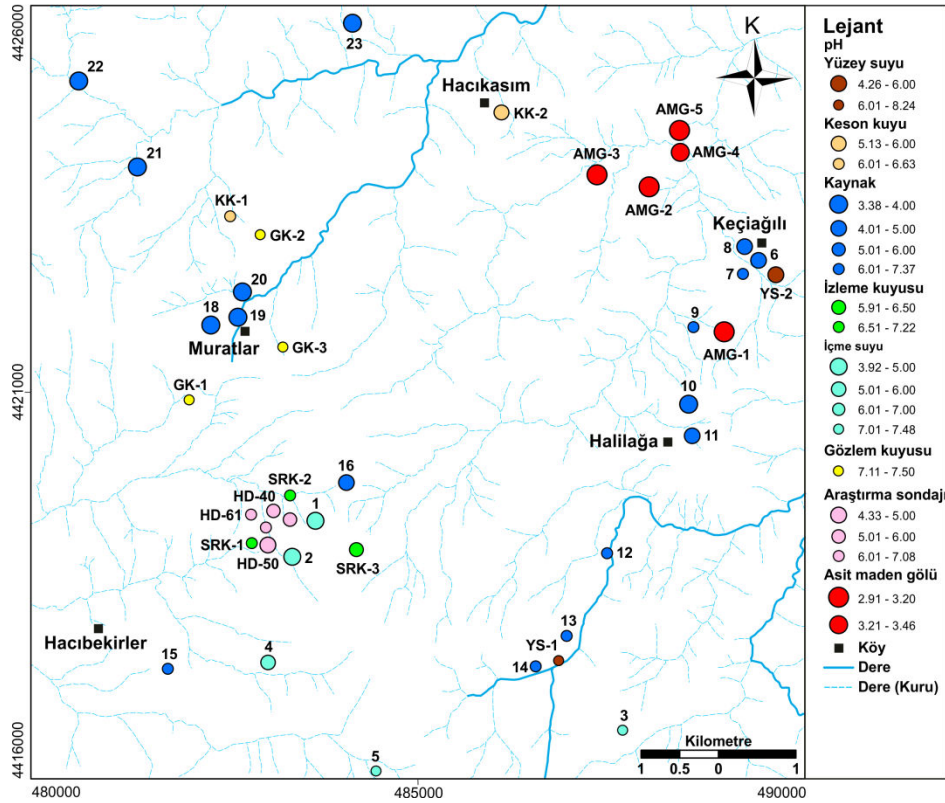
Çizelge 56. Keson kuyularda ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri

Su noktası	Ölçüm tarihi	pH	Eh (mV)	T (°C)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	Sal (%)	Referans
KK-1	06.07.2011	6,63	14	18,9	188	0	Bu çalışma
	03.03.2012	6,26	35	6,5	77	0	
KK-2	06.07.2011	5,51	80	15,7	567	0	
	03.03.2012	5,13	98	9,9	532	0	
KK-3	2010	6,56	-	16,8	2170	-	Baba, 2010
KK-4		6,77	-	15,3	726	-	
KK-5		7,13	-	14	928	-	
KK-6		6,96	-	15,5	877	-	
KK-7	03.03.2012	6,3	34	6,1	1094	0,3	Bu çalışma
KK-8	03.03.2012	6,43	26	9,3	745	0,1	
KK-9	03.03.2012	6,76	7	8,1	388	0	
KK-10	08.07.2012	7,19	4	17,9	446	0	
KK-11	06.07.2012	5,84	81	17	1254	0,4	
KK-12	06.07.2012	6,77	27	16,8	812	0,2	
KK-13	06.07.2012	6,8	25	15,8	797	0,1	
KK-14	07.07.2012	4,59	152	16,1	285	0	
KK-15	06.07.2012	5,51	80	15,7	567	0	
KK-16	08.07.2012	6,63	14	18,9	188	0	
KK-17	06.07.2012	6,55	18	15,1	382	0	
KK-18	06.07.2012	7,21	-20	15,5	413	0	
KK-19	08.07.2012	3,31	177	19,9	1861	0,8	
KK-20	06.07.2012	3,67	182	19,3	2330	1,1	
KK-21	06.07.2012	6,72	11	17,9	556	0	
KK-22	09.07.2012	6,68	10	15,8	662	0,1	

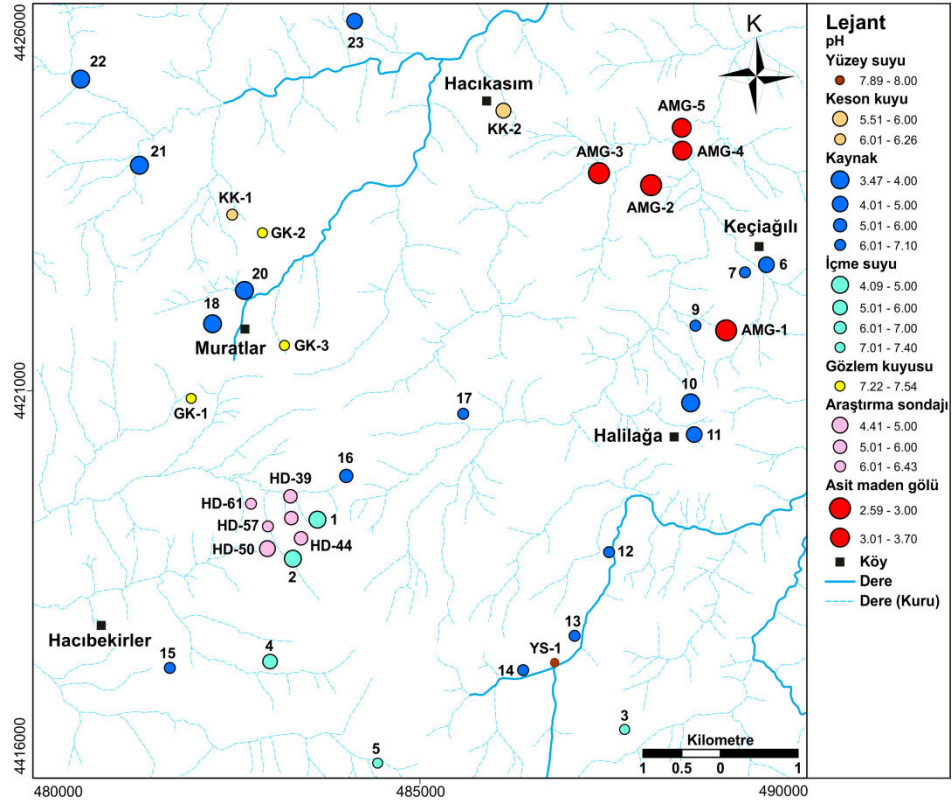
**4.4.1.3. Tüm su noktalarının fizikokimyasal özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi**

Tüm su noktalarında, kurak ve yağışlı dönemlerde pH değerleri ölçülmüştür (Şekil 146; 147). Ölçüm yapılan su noktalarının Temmuz 2011'deki pH aralığı 2,91-8,24, Mart 2012'deki pH aralığı ise 2,59-8'dir. Ortalama pH değerlerine göre Karakaya kompleksine

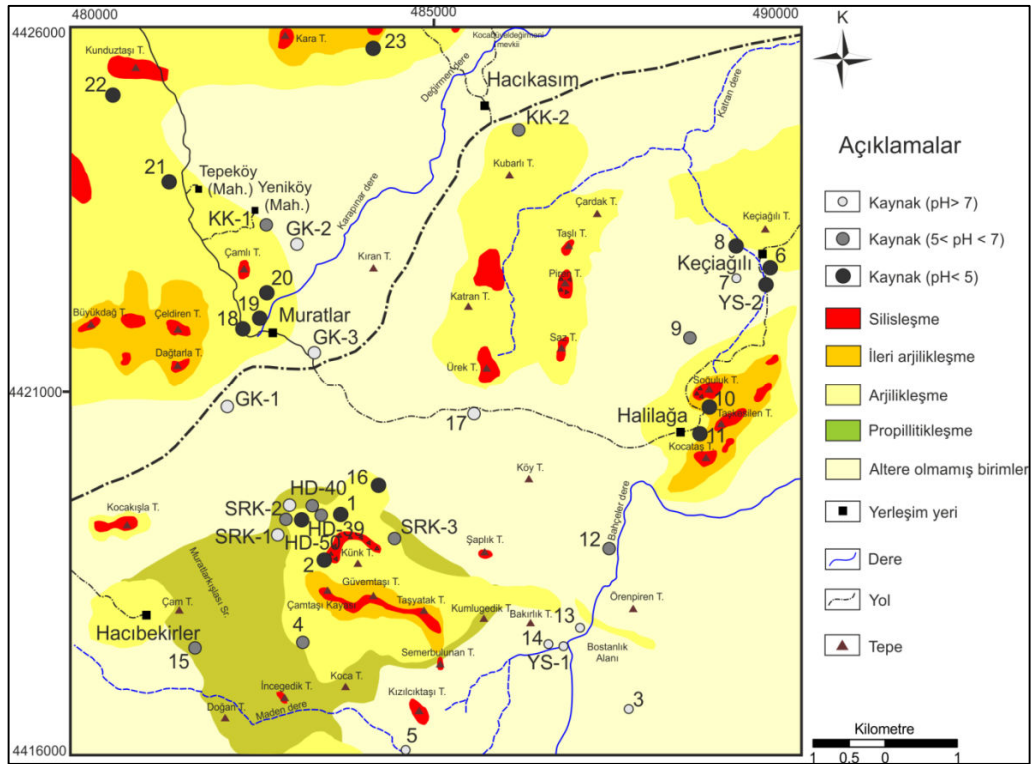
ait metalav ve kireçtaşlarından çıkan YS-1 no'lu Fındık dere, 13 ve 14 no'lu kaynaklar nötr ve bazik özelliktedir. Evciler plütonunun granitik kayalarından çıkan 3 no'lu içme suyu kaynağı bazik özellik sergilemektedir. Çan formasyonundan çıkan sular hafif asidik özellik göstermesine karşın, Çan formasyonuna ait birimlerin, Çan volkanitlerinin altere birimleri ile olan kontak zonlarındaki su noktaları asidik özellik göstermektedir. Çan volkanitlerinin alterasyona uğramamış zonlarında çıkan kaynaklar nötr-bazik özellik sergilemektedir. Çan volkanitlerinin arjilik alterasyon gözlenen Muratlar ve Halılağa köyü içi, Hacıkasım köyünün kuzeybatısı ve Hacıbekirler köyünün kuzeydoğusundaki tüm su noktaları asidik özellik göstermektedir. Çalışma alanındaki tüm asidik karakter sergileyen sular, arjilik/ileri arjilik ve silisik alterasyon zonlarından çıkmaktadır (Şekil 148).



Şekil 146. Su noktalarının pH dağılım grafiği (Temmuz 2011).



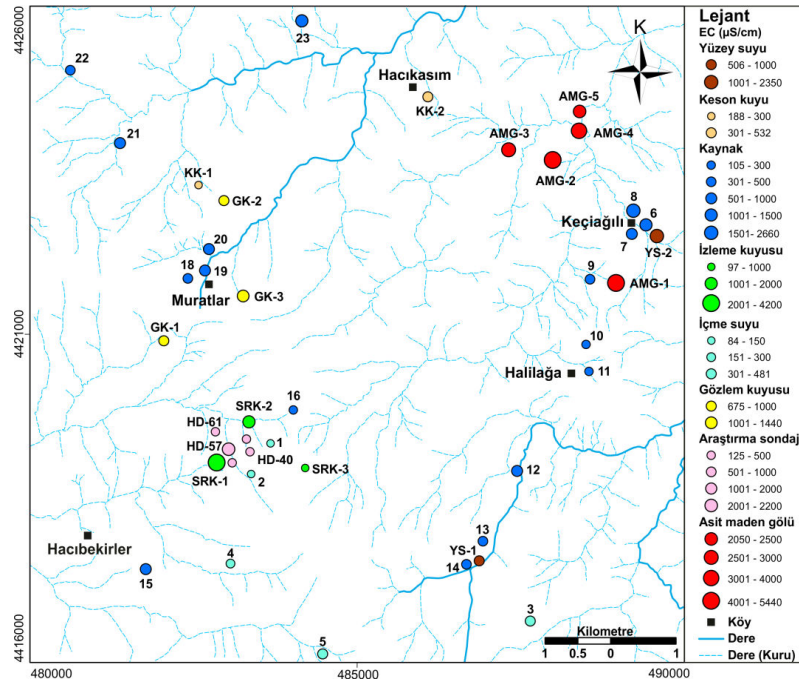
Şekil 147. Su noktalarının pH dağılım grafiği (Mart 2012).



Şekil 148. Su noktalarının ortalama pH değerleri ve alterasyon haritası.

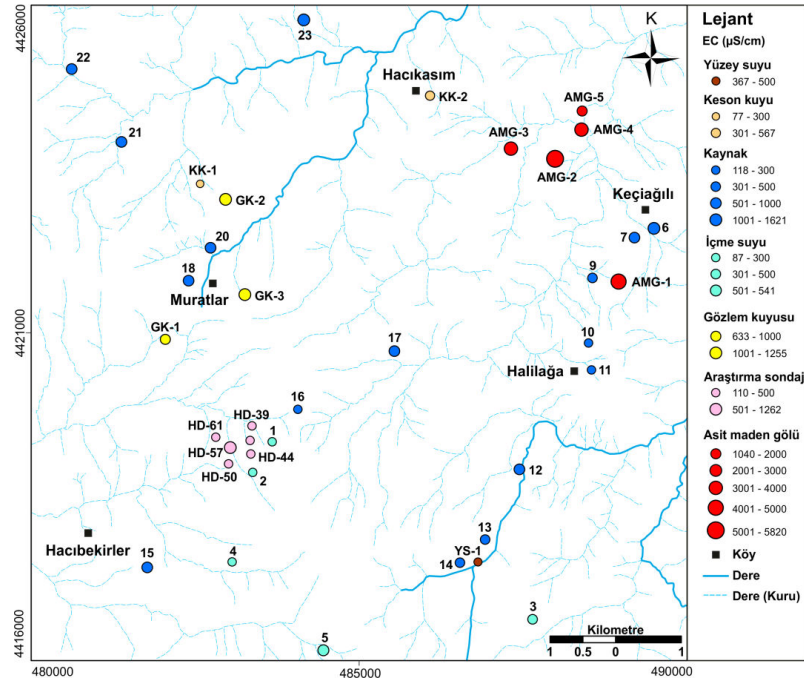
Su noktalarında kuyu/kaynak başında yapılan sıcaklık ölçümlerine göre ortalama değer 8,9 °C'dir. En yüksek sıcaklık değeri 21 no'lu kaynakta ölçülmüştür. Sondajlar, kaynaklar kadar mevsimsel sıcaklık değişiminden etkilenmemektedir. Su noktalarında ölçülen Eh değerleri -24 ile 261 mV aralığında olup, en yüksek Eh değeri AMG-2'de ölçülmüştür. Tuzluluk değerleri ‰ 0 ile 4 arasındadır. En yüksek tuzluluk değeri fay zone ile ilişkili olan SRK-1 no'lu izleme kuyusunda ölçülmüştür.

Ölçüm yapılan su noktalarının EC değerleri; Temmuz 2011'de 84-4200 µS/cm, Mart 2012'de 77-5820 µS/cm aralığındadır (Şekil 149; 150). Çalışma alanında en yüksek EC değerine sahip olan su noktası SRK-1 no'lu izleme kuyusu olup, Mayıs 2012'de EC değeri 7360 µS/cm ölçülmüştür. En yüksek EC değerine sahip olan diğer su noktaları, asit maden gölleridir. Göllerin EC değerlerinin 3 yıl boyunca yapılan düzenli ölçümlerde 674 ile 7310 µS/cm aralığında değiştiği saptanmıştır. YS-2 no'lu yüzey suyunda 2350 µS/cm elektriksel iletkenlik değeri ölçülmüştür, bu yüksek değer AMG-1 no'lu AMG'nin etrafında yıllardır yığılı olarak bulunan pasalardan sızan AMD neticesinde oluşmaktadır. Yağışlı dönemde EC değerleri en fazla değişen su noktası yüzey sularıdır. YS-1'in EC değeri Temmuz 2011 döneminde 506 µS/cm, Mart 2012 döneminde 367 µS/cm olarak ölçülmüştür.



Şekil 149. Su noktalarının EC dağılımı (Temmuz 2011).





Şekil 150. Su noktalarının EC dağılımı (Mart 2012).

#### 4.4.2. Su noktalarının kimyasal özellikleri

Yeraltı suları, yağıştan itibaren yerin derinliklerine süzülürken farklı süreçlerden geçmektedir. Bu kimyasal süreçlerden en etkili olan ve su tipini belirleyen etken su-kayaç etkileşiminden kaynaklanan çökelme ve çözünme süreçlerdir. Yeraltı suyunun kimyasal bileşimi kayacın kimyasal yapısına ve dolaşım/etkileşim süresine bağlı olarak değişim gösterir. Su tarafından kazanılan bu kimyasal içerik, suların hangi ortamdan/kayaçtan geldiği hakkında yorum yapabilmeye olanağını sağlar.

##### 4.4.2.1. Majör iyonlar

Doğal suların toplam iyon içeriğinin % 90'dan daha yüksek oranı oluşturan sodyum, kalsiyum, magnezyum, potasyum, klorür, bikarbonat ve sülfat iyonları majör iyonlar olarak adlandırılmaktadır. Bu elementlerin sudaki miktarı ve önem sıraları her su noktasında farklılık gösterir.

**Sodyum ( $\text{Na}^+$ )**, alkali metaller (Na, Li, K, Rb, Cs) arasında yer kabuğunda en fazla bulunan olup, bulunma oranı % 2,5 (Şahinci, 1986). Magmatik kayalar, kil mineralleri, feldspatlar, feldspatoidler, evaporitler (NaCl gibi) sodyum içeren başlıca kayaç ve minerallerdir (Goldschmidt, 1958; Kaçaroğlu 1991).

**Potasyum ( $K^+$ )**, yer kabuğunda sodyum ile neredeyse eşit miktarlarda (% 2,5) bulunmaktadır. Magmatik kayalarda sodyum, sedimanter kayalarda ise potasyum egemendir (Şahinci, 1986). Feldspatlarda (ortoklas, mikroklin), mikalarda, feldspatoyidlerde ve kil minerallerinde bulunur (Rankama ve Sahama, 1964). Doğada oldukça yaygın bulunmasına karşın doğal sularda genellikle birkaç mg/l düzeyinde bulunur (Kaçaroğlu, 1991).

**Kalsiyum ( $Ca^{2+}$ )**, ağırlık yüzdesine göre, yer kabuğunda oksijen, silisyum, alüminyum ve demirden sonra beşinci (% 3,5) olarak bulunur (Şahinci, 1986). Magmatik kaya minerallerinin başlıca elementlerinden biri Ca'dur. Özellikle silikat zincirlerinde, piroksen, amfibol, feldspat ve plajioklaslarda bulunur (Şahinci, 1991).

**Magnezyum ( $Mg^{2+}$ )**, yer kabuğunda sekizinci (% 2) sırada bulunmaktadır (Şahinci, 1986). Magnezyum, kalsiyumdan sonra yeraltı sularında en fazla rastlanan katyondur. Doğal sularda magnezyumun kaynağı dolomitlerdir. Ayrıca magnezyum; olivin, piroksen (diyopsit), amfibol ve mikalardan da kaynaklanabilir (Altınkale, 2001).

**Klorür (Cl)**, halojen grubunun (Cl, F, Br, I) bir elementi olup, yer kabuğunda on altıncı (% 0,045), tatlı sularda ise altıncı sırada yer alır (Şahinci, 1991). Doğada geniş bir yayılım sunar ve sodyum klorür, potasyum klorür ve kalsiyum klorür şeklinde bulunur. Klorür deniz suyundan, evaporitlerden, yağmur ve kar suyundan ya da atmosferden gelebilir. Ayrıca sodalit, biyotit, hornblend gibi magmatik kökenli minerallerde ve şeyllerde klorür iyonu bulunur (Feth, 1981; Hem, 1985). Çok yüksek değerler ise evaporitlerle ilişkilidir (Feth, 1981).

**Alkalinite ( $HCO_3^-$  ve  $CO_3^{2-}$ )**, suyun içerdiği çözülmüş maddelerin asitlerle tepkimeye girme ve nötrleştirme kapasitesidir. Hemen hemen bütün doğal sularda alkalinite, karbonat ( $CO_3^{2-}$ ), bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) ve hidroksit ( $OH^-$ ) iyonlarından dolayı ortaya çıkar (Kaçaroğlu, 1991). Bunlar dışında borat, silikat, fosfat iyonları ve organik maddelerde alkaliniteye katkıda bulunur (Gamsız ve Ağacık 1981; Hem, 1985).

**Sülfat ( $SO_4^{2-}$ )**, sularda bikarbonat ve klorürden sonra en yaygın bulunan anyondur (Yalçın ve Gürü, 2002). Kükürt elementi, indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayalarda yaygın olarak bulunmaktadır. Kükürtlü mineraller su ile temas ederek bozdukları zaman oksitlenerek  $SO_4$  iyonları oluşur ve bu iyonlar suya geçmektedir. Doğal sulardaki sülfatın başlıca kaynakları sedimanter kayalar (özellikle

jips, anhidrit, şeyl), magmatik kayalar, piritin oksidasyonu ve organik maddelerdir (Şahinci, 1986; Kaçaroğlu, 1991; Tarcan, 2004).

Çizelge 57'de majör iyonların limit değerleri sunulmuştur. Bu sınır değerler içilebilecek nitelikteki her türdeki suyu kapsamaktadır. K, Ca, Mg, HCO<sub>3</sub> iyonları ile ilgili literatürde herhangi bir limit değer belirtilmemiştir.

Çizelge 57. Standartlara göre içme sularında bulunabilecek majör iyon konsantrasyonları limit değerleri (mg/l)

Majör iyon	Bulunabilecek en yüksek değer			
	TSE, 2005	EPA, 2004	İTASHY, 2005	WHO, 2006
Na	200	-	200	200
Cl	250	250	250	250
SO <sub>4</sub>	250	250	250	250

#### ***Su noktalarının sınıflandırılması***

Suları adlandırmak, birbiri ile karşılaştırmak, su noktaları arası etkileşimlerini araştırmak, kökeni ile ilgili yorum yapabilmek ve suların tipini belirlemek amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmış olup, bu çalışmada Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) sınıflaması kullanılmıştır. Buna göre suda çözülmüş başlıca anyon ve katyonlardan ayrı ayrı olmak üzere meq/l olarak % 20'den fazla çözülmüş bulunan iyonlar su tipini belirlemektedir.

İyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardan biri Piper (Üçgen) diyagramıdır. Bu sınıflamaya göre eşkenar üçgenlerden meydana gelen katyon ve anyon üçgenine iyonların % meq değerleri işaretlenerek bulunan noktalar iki üçgenin üzerine çizilen bir eşkenar dörtgene taşınarak kesiştiği nokta ile suyun sınıfı belirlenir (Piper, 1944). Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.

Schoeller yarı logaritmik diyagramı, logaritmik ölçekli Y ekseninde element derişimlerinin meq/l olarak yer aldığı, X ekseninde sırasıyla Mg, Ca, Na+K, Cl, SO<sub>4</sub> ve HCO<sub>3</sub> iyonlarını içeren bir diyagramdır. Bu diyagram üzerine işaretlenen element derişimlerinin oluşturduğu çizgilerin yorumlanması yoluyla suların kökenlerinin benzer olup olmadığı değerlendirilebilmektedir.

Sudaki tüm katyonların ve anyonların mek/l cinsinden değerlerinin ayrı ayrı toplamları birbirine eşit olmalıdır. Suların kimyasal analizlerinde yapılabilecek hatalar anyon katyon dengesinden [13] bağıntısıyla hesaplanabilir (Hitchon ve ark., 1999).

$$\% e = [(\Sigma \text{ katyon} - \Sigma \text{ anyon}) / (\Sigma \text{ katyon} + \Sigma \text{ anyon})] \times 100 \quad [13]$$

Analiz sonuçlarında hata yüzdesinin genellikle % 5'den düşük olması istenir. Daha yüksek hataya sahip analizlerde, örnekleme sırasında yapılan yanlışlıklar veya kimyasal analiz sırasında yapılan hatalar olabileceği düşünülebilir. Analiz hataları dışında bu oranın % 5'ten fazla olması, sularda analizi yapılmamış olan iyon türlerinden bazılarının suda baskın olduğu yorumu yapılabilir (Ford ve Williams, 1989). Pozitif değerler katyon fazlalığını, negatif değerler ise anyon fazlalığını gösterir. Çalışma alanındaki suların kimyasal analiz sonuçlarında e değerleri; % 0,5 ile % 13,6 arasında değişmektedir, bir kaç analiz sonucu dışında hata oranları kabul edilebilir düzeydedir.

Çizelge 58'de doktora tezi kapsamında su noktalarının (toplam 104 tane analiz sonucu) örnekleme dönemleri sunulmuştur. Kimyasal analiz sonuçları çizelgelerde gösterilmiş ve majör iyon sonuçları Piper ve Schoeller diyagramları ile grafiklendirilerek sunulmuştur. Çok sayıda olması sebebiyle, örneklerinin Piper ve Schoeller diyagramında gösterimleri karışıklığı önlemek için su noktaları türlerine göre ayrılarak yapılmıştır.

Çizelge 58. Su noktalarının örnekleme dönemleri

Örnekleme tarihi	Asit maden gölleri	İçme suyu	Gözlem kuyusu	İzleme kuyusu	Araştırma sondajı	Keson kuyu	Yüzey suyu	Kaynak	Referans
08.12.2009	✓								Bu çalışma
2010			✓			✓			Baba, 2010
17.07.2010	✓								Bu çalışma
01.04.2011	✓		✓						
19-21.05.2011	✓		✓						
03-09.07.2011	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
20.07.2011				✓					SRK, 2012
22.09.2011			✓	✓					
06.12.2011	✓								Bu çalışma
01-08.03.2012	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
03.07.2012	✓								
28.08.2012	✓								

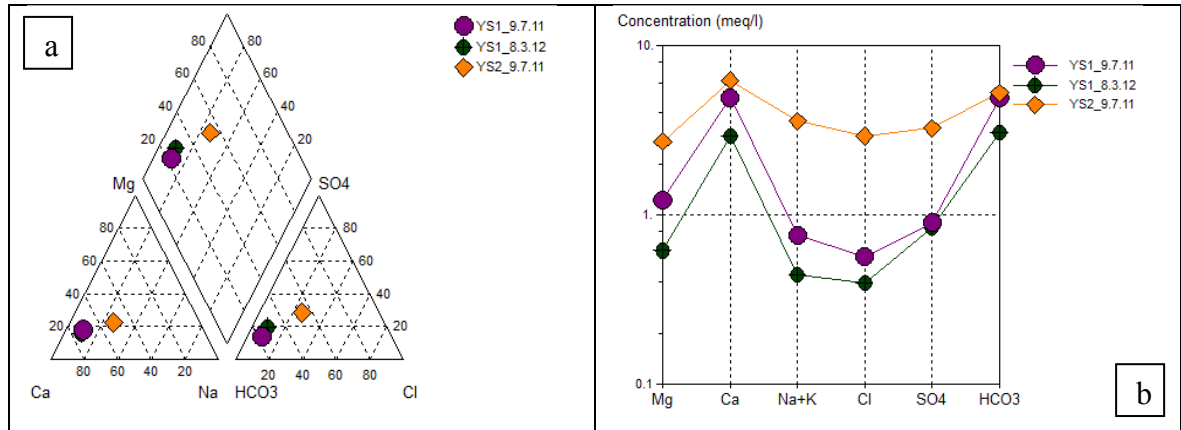
## 4.4.2.1.1. Yüzeysel suları

## 4.4.2.1.1.1. Dereler

Çalışma alanın güney kesiminde rekristalize kireçtaşlarının arasından akan Fındıklı dere (YS-1) Ca-HCO<sub>3</sub> su tipindedir (Çizelge 59; Şekil 151). Keçiagılı köyünün batısında, AMG-1'in etrafındaki AMD ile karışan dere (YS-2) Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tipinde olup karışım fasiyesini belirtmektedir.

Çizelge 59. Derelerde ölçülen majör iyon konsantrasyonları (mg/l)

Su noktası	X	Y	Ölçüm tarihi	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	% e	Su tipi
YS-1	486751	4417497	09.07.2011	16,04	2,47	98,38	14,93	20	298,5	43	4,1	Ca-HCO <sub>3</sub>
			08.03.2012	9,31	1,39	58,87	7,47	14	185,6	40,4	-3,5	Ca-HCO <sub>3</sub>
YS-2	489373	4422667	09.07.2011	72,18	16,64	124,4	32,95	103,55	320	156	4,5	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>



Şekil 151. Derelere ait majör iyonların a. Piper ve b. Schoeller diyagramı.

## 4.4.2.1.1.2. Asit maden gölleri

Asit maden göllerinde yapılan su kimyası analiz sonuçlarına göre baskın olan anyon SO<sub>4</sub>, baskın olan katyon ise Ca'dur (Çizelge 60; 61). Göllerin majör iyon dizilimi; SO<sub>4</sub>> Ca> Mg> Na> Cl> K şeklindedir (Şekil 152; 153; 154). Maksimum Ca konsantrasyonu AMG-2'de ölçülmüş olup, 513,84 mg/l'dir. Maksimum sülfat konsantrasyonu AMG-2'de 5370 mg/l olarak ölçülmüştür. Bu değer, limit değerden 21 kat daha fazladır. En düşük SO<sub>4</sub>

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

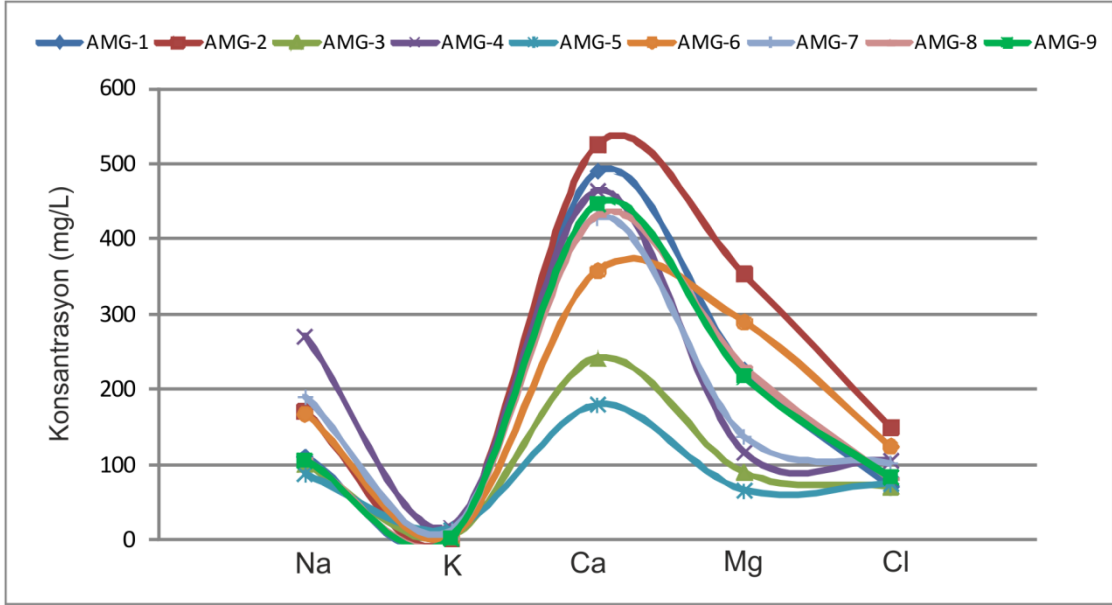
değeri AMG-5'de ölçülmüştür, bunun sebebi eski bir dere yatağı olan AMG-5'in yüzey suları ile etkileşim içerisinde olmasıdır.

Çizelge 60. AMG'lerin majör iyon konsantrasyonları (mg/l)

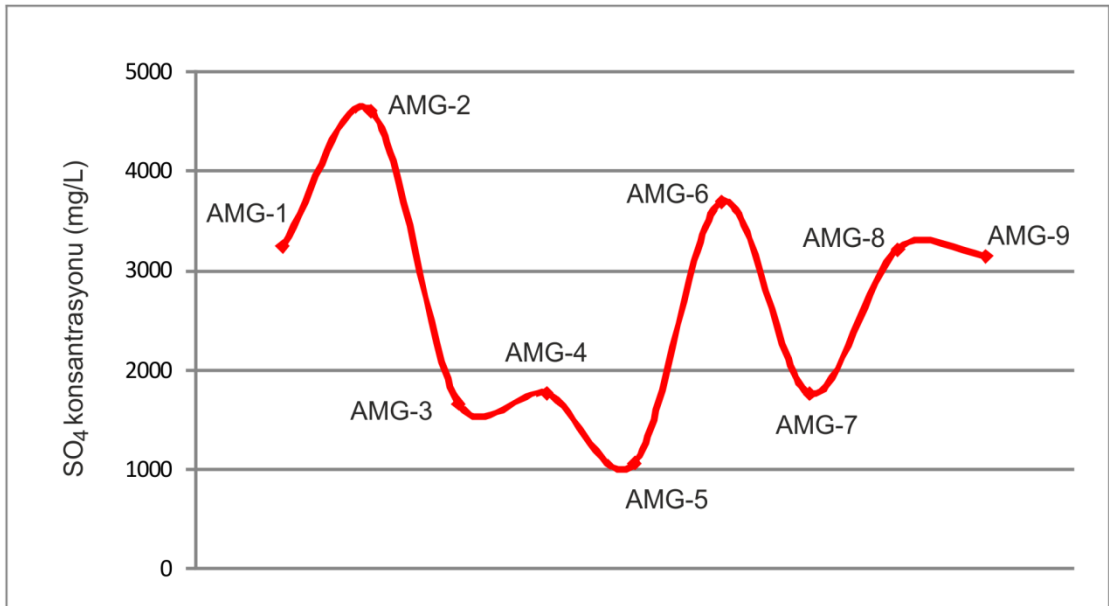
Su noktası	Ölçüm tarihi	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	Su tipi	İyon dizilimi
AMG-1	08.12.2009	125,51	0,99	444,25	232,53	44,63	3857	Ca-SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> > Ca> Mg> Na> Cl> K
	17.07.2010	104,8	0,99	377,65	230,53	78,3	3512		
	01.04.2011	115,92	1,9	350,7	178,1	73,2	3017		
	19.05.2011	96,3	1,4	392,8	198,4	53,6	3192		
	04.07.2011	108,8	1,6	478,1	228,9	63	3000		
	06.12.2011	105,38	1,8	304,34	174,21	65,33	3122		
	25.02.2012	77,01	0,95	356,1	182	46	3260		
	03.07.2012	81,43	1,25	290,2	134,4	42,78	3181		
AMG-2	08.12.2009	279,69	2,93	513,84	261,55	100,84	5296	Ca-SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> > Ca> Mg> Na> Cl> K
	17.07.2010	164,27	0,99	477,65	230,53	78,3	5012		
	01.04.2011	176,93	1,9	450,7	278,1	73,2	5017		
	19.05.2011	181,65	0,87	470,2	238,17	182,42	5273		
	04.07.2011	168,3	2	520,1	357,8	143	4600		
	06.12.2011	164,17	2,94	451,29	306,63	191,45	4413		
	25.02.2012	157,97	2	461,9	306	97	5370		
	03.07.2012	146,6	2,89	445,3	271,2	83,01	4774		
AMG-3	17.07.2010	53,02	3,36	98,51	63,25	39,8	904	Ca-SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> > Ca> Na> Mg> Cl> K
	01.04.2011	76,93	2,09	147,28	98,53	38,75	988		
	19.05.2011	74,92	2,3	177,89	64,69	48,67	1455		
	04.07.2011	98,6	4,8	229	80,6	69	1500		
	06.12.2011	87,49	4,3	212,02	69,08	73,9	1656		
	25.02.2012	108,52	2	245,1	92	67	2520		
	03.07.2012	137,55	2,7	177,55	68,48	44,28	2330		
AMG-4	01.04.2011	216,15	9,94	386,49	125,43	99,41	1018	Ca-SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> > Ca> Na> Mg> Cl> K
	19.05.2011	207,73	10,07	315,8	101	83,54	1823		
	04.07.2011	265,7	15,8	411,3	119,4	106	1700		
	06.12.2011	217,03	8,82	306,87	101,88	89,25	1036		
	25.02.2012	243,13	12	368,8	118	100	1760		
	03.07.2012	197,72	7,14	302,3	94,97	76,16	1605		
AMG-5	01.04.2011	44,39	9,1	122,06	49,67	104,56	895	Ca-SO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> > Ca> Na> Mg> Cl> K
	19.05.2011	52,14	6,21	107,7	34,4	65,87	772		
	04.07.2011	81,21	12,41	172,1	62,61	72	1000		
	06.12.2011	48,11	16,57	145,53	73,95	85,27	964		
	25.02.2012	43,97	4,78	85,47	28,74	54	594		
	03.07.2012	50,41	5,88	141,3	53,61	53,84	1091		

Çizelge 61. Tüm AMG'lerin majör iyon konsantrasyonu (mg/l) (Ağustos 2012)

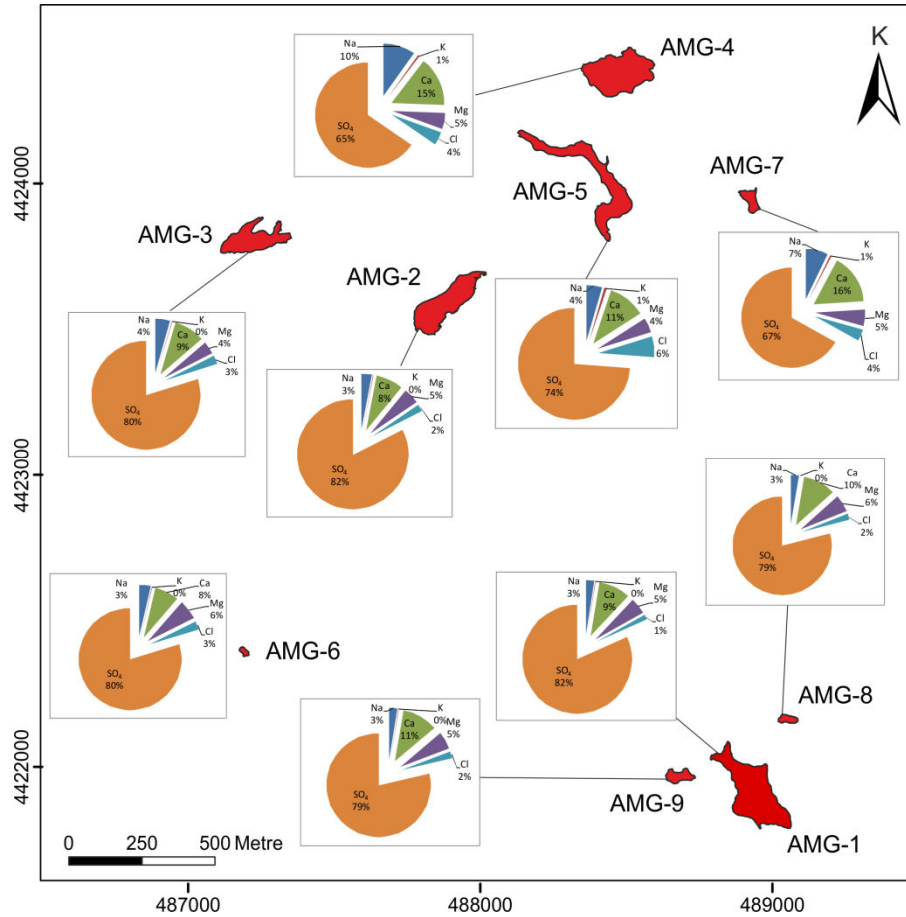
Majör iyon	AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5	AMG-6	AMG-7	AMG-8	AMG-9
Na	110,6	170,2	99,8	270,6	86,9	167,5	190,6	106,7	105,8
K	1,8	2	4,9	16,2	12,9	3,1	11,8	1,7	1,65
Ca	490,2	525,3	241	463,2	179,8	357,5	428,6	430,7	445,6
Mg	226	353	89,4	115,7	64,9	289,4	137,8	229,7	216,3
Cl	70,5	150	70,6	105	74	124	102	80,9	82,5
SO <sub>4</sub>	3240	4600	1650	1760	1055	3690	1750	3210	3140



Şekil 152. AMG'lerin bazı majör iyon konsantrasyonları (Ağustos 2012).



Şekil 153. AMG'lerinin SO<sub>4</sub> konsantrasyonları (Ağustos 2012).



Şekil 155. Asit maden göllerinin ortalama majör iyon konsantrasyonlarının Pie diyagramı.

AMG-2'de Temmuz 2010 döneminde yapılan limnolojik çalışmalar neticesinde elde edilen majör iyon analiz sonuçları Çizelge 62'de sunulmuştur. Ölçümler, 30 m mesafe ve 3 m'lik derinlik değişimi ile toplam 24 noktada yapılmıştır (Şekil 156). Ca konsantrasyonu artan derinlikle, 50-100 mg/l azalmıştır (Şekil 157). SO<sub>4</sub> konsantrasyonu yüzeyde maksimum değerde ölçülmüş, 6 m derinliğe kadar 200-500 mg/l arasında azalmış, 6 m derinlikten sonra da 100-300 mg/l arasında artmıştır. Mg, Cl ve Na değerlerinde derinlik artışı ile çok büyük bir değişiklik gözlenmezken, K değerleri 9 m'den sonra artış göstermiştir.

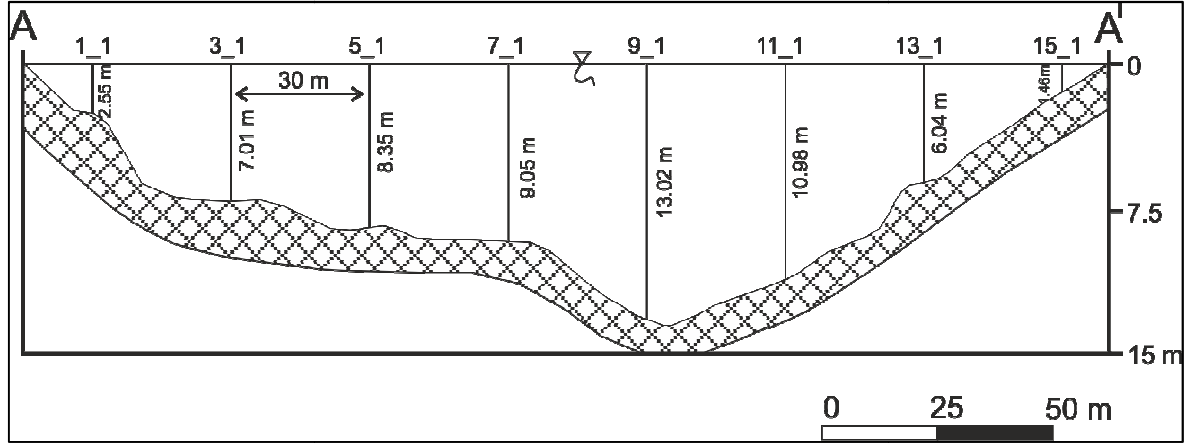


## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

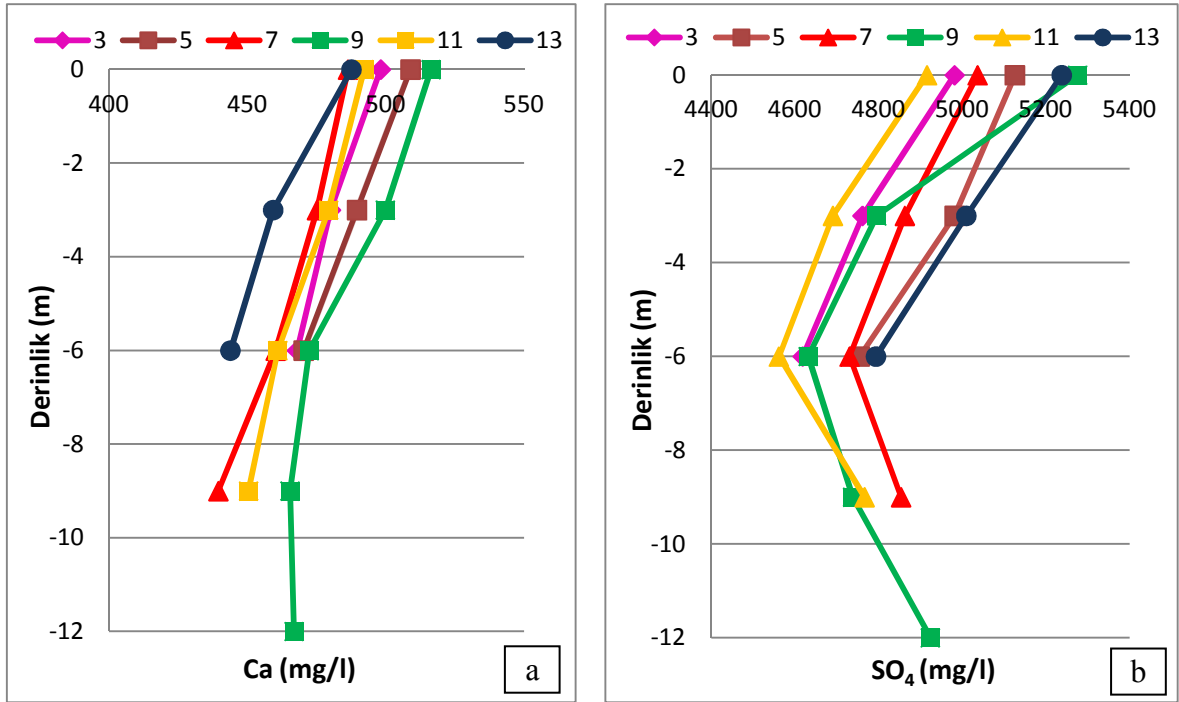
### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Çizelge 62. AMG-2'de derinlik ile değişen majör elementler

Ölçüm noktası	Toplam derinlik (m)	Ölçüm derinliği (m)	Ca	Na	K	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>
1_1	-2,55	0	477,65	164,27	0,99	230,53	78,3	5012
3_1	-7,01	0	498,22	165,22	0,87	225,63	80,1	4982
3_2		3	480,16	162,15	0,92	216,98	76,13	4762
3_3		6	467,95	160,89	0,86	220,11	73,09	4619
5_1	-8,35	0	508,95	159,25	0,95	232,02	83,65	5126
5_2		3	489,62	161,28	0,89	229,25	80,98	4982
5_3		6	470,35	162,35	0,92	225,98	78,52	4755
7_1	-9,05	0	486,33	169,22	1,02	218,14	75,66	5037
7_2		3	475,17	164,37	1,03	209,85	74,27	4863
7_3		6	460,21	167,15	0,91	212,64	71,39	4731
7_4		9	439,52	170,36	3,69	208,34	72,95	4854
9_1	-13,02	0	516,38	163,74	1,09	241,36	79,24	5276
9_2		3	499,86	162,35	1,11	239,17	77,35	4796
9_3		6	472,36	165,67	0,98	229,63	76,84	4632
9_4		9	465,41	167,84	4,45	230,12	77,49	4738
9_5		12	466,87	181,65	11,86	227,15	76,13	4924
11_1	-10,98	0	492,15	160,37	1,15	222,86	85,69	4916
11_2		3	479,34	162,89	1,14	220,69	83,17	4691
11_3		6	461,02	163,78	1,23	218,77	82,56	4562
11_4		9	450,42	169,96	3,89	215,69	80,26	4767
13_1	-6,04	0	487,61	159,65	0,86	217,36	74,98	5238
13_2		3	459,31	160,12	1,12	210,38	70,33	5010
13_3		6	443,87	162,89	0,96	205,46	71,75	4794
15_1	-1,46	0	501,39	168,49	0,81	226,74	81,02	5305
<b>Ortalama</b>			477,08	164,82	1,820	222,28	77,57	4890,5
<b>Maksimum</b>			516,38	181,65	11,86	241,36	85,69	5305
<b>Minimum</b>			439,52	159,25	0,86	205,46	70,33	4562



Şekil 156. AMG-2'nin 30 m aralıklı örnekleme noktaları.



Şekil 157. Artan derinlik ile değişen a. Ca b. SO<sub>4</sub> konsantrasyonları.

#### 4.4.2.1.2. Yeraltı suları

##### 4.4.2.1.2.1. Kaynaklar

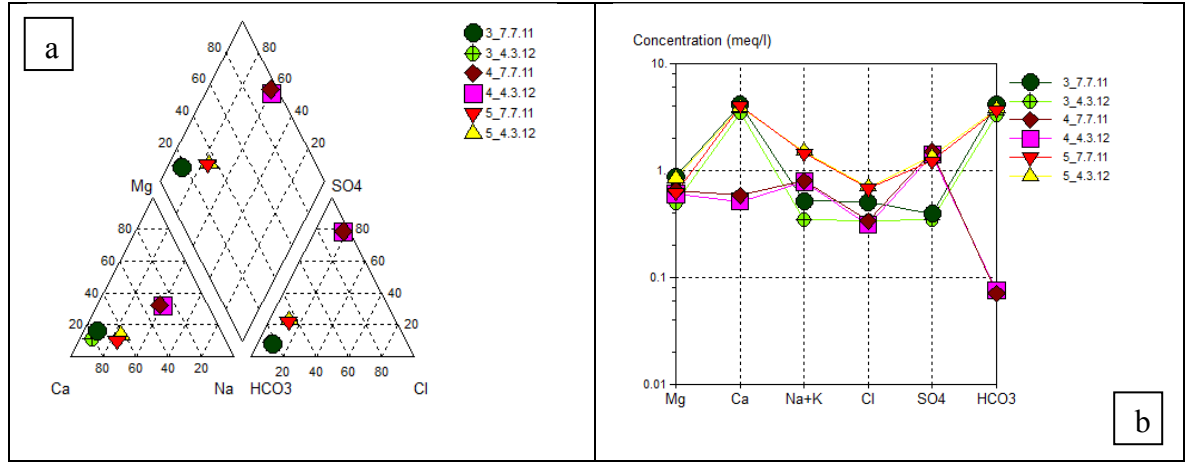
Muratlar ana depo ve şadırvan su kaynakları Na-Ca-SO<sub>4</sub>-Cl su tipindedir (Çizelge 63; Şekil 158). Bu su kaynakları, Çan volkanitlerinin arjilik alterasyona uğramış zonlarından yüzeye ulaşmaktadır. Halilağa köyü ana depo kaynağı Ca-HCO<sub>3</sub> su tipindedir. Bu kaynak, Evciler plütununun granitik kayaçları ile temas ederek yüzeye ulaşmaktadır. Hacıbekirler köyü ana depo-1 Na-Ca-SO<sub>4</sub> su tipinde olup, Çan volkanitlerinin arjilik-propilitik alterasyon zonunun sınırından yüzeye ulaşmaktadır. Hacıbekirler ana depo-2 ise Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tipinde olup, Çan volkanitlerinin alterasyona uğramamış birimlerle temas ederek yüzeye ulaşmaktadır. Su kaynaklarının majör iyon konsantrasyonunda dönemsel olarak büyük farklılık gözlenmemiştir.

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA**

**Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

Çizelge 63. Kaynakların majör iyon konsantrasyonları (mg/l)

Su noktası	Ölçüm tarihi	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	% e	Referans	Su tipi
1	07.07.2011	8,36	1,1	4,22	1,33	13	-	16	-	Bu çalışma	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl
	20.07.2011	5,6	0,75	3,01	0,97	11,9	< 2	13,65	-	SRK, 2012	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl
	23.09.2011	6,72	0,84	3,87	1,01	11,9	< 2	13,5	-		Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl
	04.03.2012	7,41	0,95	3,98	1,5	12	-	12,5	-	Bu çalışma	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl
2	07.07.2011	8,22	1,49	2,91	1,25	13	-	21	-	SRK, 2012	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl
	20.07.2011	5,49	1,16	2,19	0,83	12	< 2	22	-		Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl
	04.03.2012	6	0,77	3,7	2,21	11	-	15,3	-		Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl
3	07.07.2011	10,95	1,81	82,75	10,69	18	255	19	4,2	Bu çalışma	Ca-HCO <sub>3</sub>
	04.03.2012	7,2	1,26	70,07	6,01	12	201	16,9	4,1		Ca-HCO <sub>3</sub>
4	07.07.2011	17,75	1,09	11,76	7,95	12	4,35	73	2,8		Na-Ca-SO <sub>4</sub>
	04.03.2012	17,44	1,1	10,3	7,34	11	4,6	67,9	2,9		Na-Ca-SO <sub>4</sub>
5	07.07.2011	32,75	1,15	81,51	7,61	24	224,3	59	4,8		Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	04.03.2012	34,06	1,51	77,79	10,28	25	230,5	65	3,4		Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
6	06.07.2011	122,1	41,63	120,5	28,65	180	-	360	-		Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl
	05.03.2012	119,52	46,45	120,3	30,14	180	-	346	-		Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl
7	06.07.2011	25,53	0,97	102	14,52	46	256,6	71	3		Ca-HCO <sub>3</sub>
	05.03.2012	29,4	1,53	128,5	18,44	60	307,8	78,8	4,9		Ca-HCO <sub>3</sub>
8	06.07.2011	185,9	37,7	414,7	118,4	170	-	1300	-		Ca-Na-SO <sub>4</sub> -Cl
9	06.07.2011	18,49	0,56	64,36	21,5	56	196,2	33	2,8		Ca-HCO <sub>3</sub>
	05.03.2012	13,27	0,39	42,37	15,37	29	113,5	69,7	-2		Ca-HCO <sub>3</sub>
10	06.07.2011	8,63	3,63	3,79	1,59	14	-	36	-		Na-SO <sub>4</sub>
	05.03.2012	7,97	1,47	3,68	1,26	15	-	53,2	-		Na-SO <sub>4</sub>
11	06.07.2011	11,44	3,83	6,99	2,24	14	-	33	-		Na-SO <sub>4</sub>
	05.03.2012	9,85	1,28	5,19	1,92	14	-	20,6	-		Na-SO <sub>4</sub>
12	06.07.2011	15,94	1,88	91,73	18,73	19	296,3	50	3,2		Ca-HCO <sub>3</sub>
	05.03.2012	21,82	2,61	149,8	30,15	20	450,4	98,6	4,6		Ca-HCO <sub>3</sub>
13	06.07.2011	23,76	3,12	88,36	15,74	20	345,8	15	2		Ca-HCO <sub>3</sub>
	05.03.2012	20,54	2,1	75,36	13,18	21	264,9	18,6	4,2		Ca-HCO <sub>3</sub>
14	06.07.2011	18,94	2,66	84,14	13,77	18	286	26	4,1		Ca-HCO <sub>3</sub>
	05.03.2012	25,01	2,87	77,22	15,84	19	305	25,5	2		Ca-HCO <sub>3</sub>
15	06.07.2011	30,28	1,81	149,1	33,38	36	289	240	3,6	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	
	05.03.2012	30,03	1,59	148,3	36,29	36	265	300	0,5	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	
16	06.07.2011	13,1	1,19	5,84	1,99	20	10,9	11	4,1	Na-Ca-Cl-SO <sub>4</sub>	
	05.03.2012	13,67	1,06	29,03	2,76	23	69	14,3	5	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	
17	05.03.2011	47,44	1,17	80,31	22,58	43	245	111	2,7	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	
18	06.07.2011	34,62	6,81	30,54	7,24	61	-	110	-	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl	
	05.03.2012	31,89	5,44	40,97	7,5	63	-	184	-	Ca-Na-SO <sub>4</sub> -Cl	
19	05.03.2011	55,72	8,79	55,41	15,25	72	-	237	-	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl	
20	06.07.2011	73,96	14,65	62,42	13,2	85	-	380	-	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl	
	05.03.2012	56,76	8,99	70,63	12,57	54	-	330	-	Ca-Na-SO <sub>4</sub> -Cl	
21	06.07.2011	53,88	10,39	46,59	10,7	59	-	150	-	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl	
	05.03.2012	53,61	9,48	44,37	11,04	61	-	145	-	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl	
22	06.07.2011	41,05	3,6	30,54	7,6	44	-	160	-	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl	
	05.03.2012	39,78	3,49	29,33	7,31	44	-	192	-	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl	
23	06.07.2011	131,3	34,91	110,7	20,21	100	-	570	-	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl	
	05.03.2012	207,66	31,08	107,3	17,97	80	-	707	-	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -Cl	



Şekil 158. Köylerin içme suyu kaynaklarına ait majör iyonların a. Piper ve b. Schoeller diyagramı.

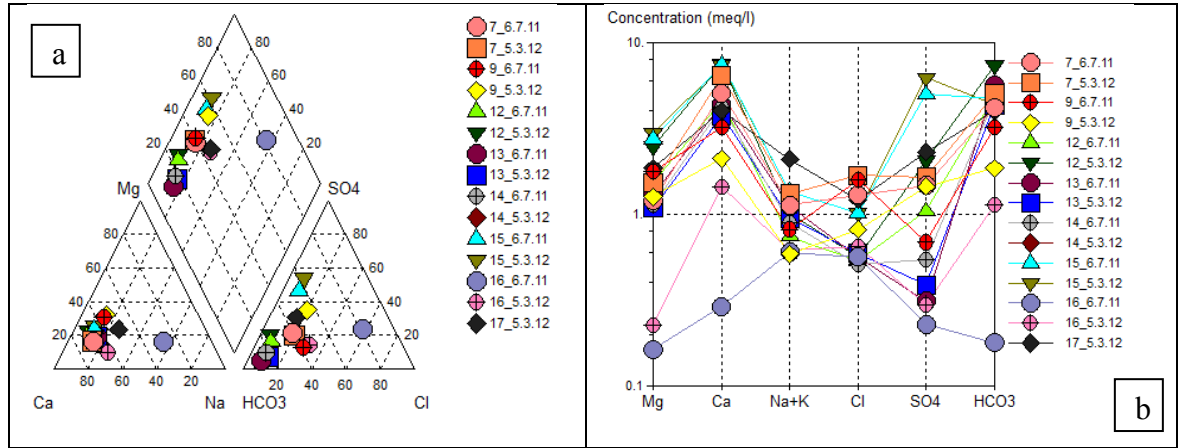
Su kaynaklarında 4 farklı su tipi belirlenmiştir. Bunlar;

Ca-HCO<sub>3</sub>: 7, 9, 12, 13, 14, 17

Na-SO<sub>4</sub>: 10 ve 11

Na-Ca-SO<sub>4</sub>-Cl: 6, 8, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23

Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>: 15'tir (Şekil 159).



Şekil 159. Kaynaklara ait majör iyonların a. Piper ve b. Schoeller diyagramı.

#### 4.4.2.1.2.2. Sondajlar

##### 4.4.2.1.2.2.1. Gözlem kuyuları

GK-1 no'lu sondaj Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü su tipinde, GK-2 ve GK-3, Na-Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl su tipinde olup, karışım fasiyesindedir (Çizelge 64; Şekil 160). GK-3'ün köy halkı tarafından

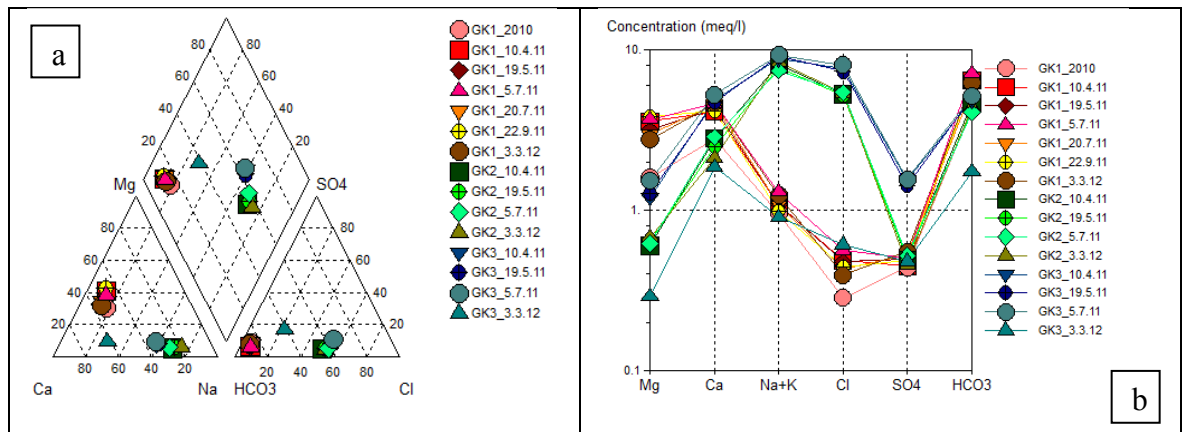
## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

kullanılmasından sonra suyun iyon konsantrasyon değerleri azalmış ve Ca iyonu Na iyonundan daha baskın olmuştur. Su çekimi ile alanda çatlaklar genişlemiş, durağan haldeki suya çevredeki sulardan girişim olmuştur. Bu durum, sudaki bazı elementlerin konsantrasyonunun azalmasına nedenidir.

Çizelge 64. Gözlem kuyularının majör iyon analiz sonuçları (mg/l)

Su noktası	Tarih	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	% e	Referans	Su Tipi
GK-1	2010	21,11	1,52	55,46	19,37	10,08	261,08	21,18	3	Baba, 2010	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
	10.04.2011	24,01	1,75	82,1	43,47	17,18	395,4	21,52	8,3	Bu çalışma	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
	19.05.2011	24,18	1,47	86,1	38,23	16,95	389,6	23,94	7,3		Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
	05.07.2011	28,99	1,49	93,05	44,74	20	435	24	8		Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
	20.07.2011	24	1,4	92	36,1	15,2	343	25,2	13,6	SRK, 2012	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
	22.09.2011	21,8	1,52	82,9	46,6	15,6	379	23,5	11,3		Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
	03.03.2012	27,51	1,41	93,66	33,49	14	379,5	26,4	9,5		Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
GK-2	10.04.2011	182,82	4,96	55,95	7,29	187	285,3	23,7	4,7	Bu çalışma	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
	19.05.2011	174,56	5,05	49,96	7,73	183	256,1	24,3	4,8		Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
	05.07.2011	167,6	4,95	57,25	7,52	192	247,2	25	4,4		Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
	03.03.2012	188,3	6,61	42,36	8,2	190	264,8	22	3,7		Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
GK-3	10.04.2011	199,23	4,01	97,48	14,56	268,5	297,2	74,1	2,9		Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
	19.05.2011	205,57	4,08	94,03	15,4	259,8	305,6	68,8	4,3		Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
	05.07.2011	211,3	4,33	104,9	18,49	285	312,8	75	4,2		Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
	03.03.2012	19,34	2,54	37,12	3,51	21,6	105,6	23	3,9	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	



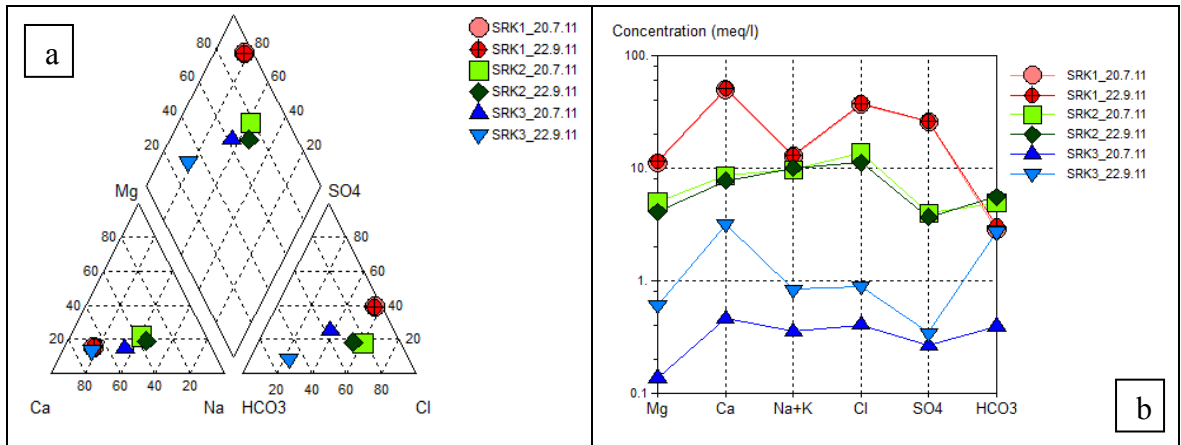
Şekil 160. Gözlem kuyularına ait majör iyonların a. Piper b. Schoeller diyagramı.

## 4.4.2.1.2.2.2. İzleme kuyuları

SRK (2012) tarafından, Temmuz ve Eylül 2011 dönemlerinde izleme kuyularında su kimyası analizleri yapılmıştır (Çizelge 65). İzleme kuyularının Piper ve Schoeller diyagramları ile değerlendirilen analiz sonuçlarına göre su kimyası farklı tipte olan sulara işaret etmektedir (Şekil 161). SRK-1 ve SRK-3'de baskın katyon Ca iken, SRK-2'de tüm Ca'un yanı sıra baskın katyon Na'dur. SRK-1 ve SRK-2'de baskın anyon Cl'dir. Yüksek Cl konsantrasyonları gözlenmesi, önceki bölümde ifade edilen yüksek EC değerleri olası bir termal su girişi ya da derin dolaşım ile ilişkilendirilebilir. SRK-1'deki Cl ve SO<sub>4</sub> konsantrasyonu limit değerlerden 5 kat fazladır. SRK-1 ve SRK-2 analiz sonuçları Temmuz ve Eylül aylarında fazla değişim göstermemesine karşın SRK-3'de baskın anyon olan HCO<sub>3</sub>'ün Eylül 2011 döneminde miktarındaki artışın sebebi yağmur suyu karışımı olabilir.

Çizelge 65. İzleme kuyularının majör iyon konsantrasyonları (SRK, 2012) (mg/l)

Su noktası	Ölçüm tarihi	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	% e	Su tipi
SRK-1	20.07.2011	284	15,8	1000	136	1310	172	1240	5,9	Ca-Cl-SO <sub>4</sub>
	22.09.2011	293	15	1020	140	1340	190	1250	6,1	Ca-Cl-SO <sub>4</sub>
SRK-2	20.07.2011	218	6,65	173	61,3	485	300	192	1,6	Na-Ca-Cl
	22.09.2011	225	9,65	155	49,6	395	341	177	3,4	Na-Ca-Cl
SRK-3	20.07.2011	7,41	1,2	9,2	1,66	14,4	24,1	12,8	-5,9	Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
	22.09.2011	17,6	2,74	63,6	7,4	31,6	166	16,6	6,7	Ca-HCO <sub>3</sub>



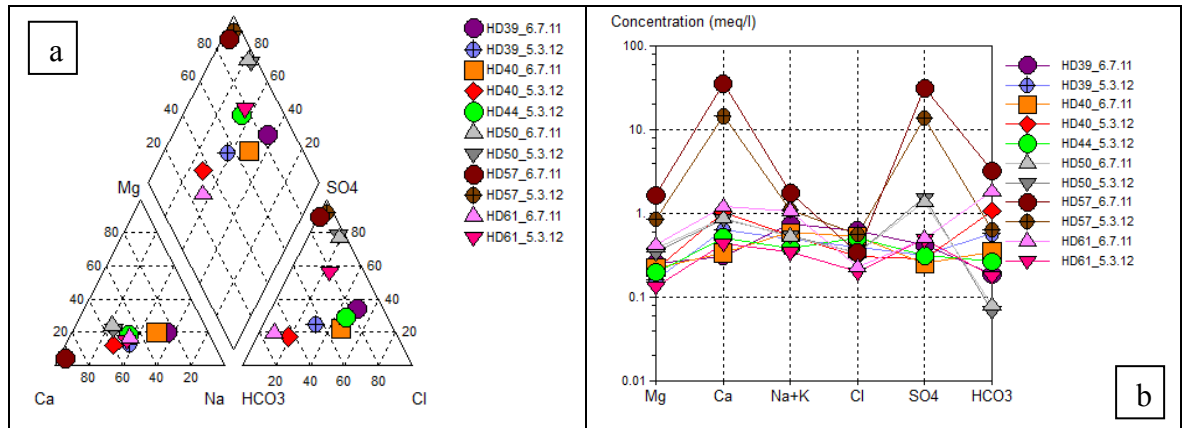
Şekil 161. İzleme kuyularına ait majör iyonların a. Piper ve b. Schoeller diyagramı.

4.4.2.1.2.2.3. Araştırma sondajları

HD-50 ve 57 no'lu araştırma sondajları Ca-SO<sub>4</sub> su tipindedir (Çizelge 66; Şekil 162). Diğer araştırma sondajları ise karışım fasiyesinde olup, dönemsel olarak majör iyon konsantrasyonlarında değişim gözlenmektedir. Sondajlardaki hakim katyon Ca'dur.

Çizelge 66. Gözlem kuyularının majör iyon analiz sonuçları (mg/l)

Su Noktası	Ölçüm Tarihi	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	% e	Su Tipi
HD-39	06.07.2011	16,42	1,06	6,22	3,12	22	11,5	20	3,3	Na-Ca-Cl-SO <sub>4</sub>
	05.03.2012	10,93	0,84	12,88	1,95	14	34,9	15,2	1,7	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
HD-40	06.07.2011	12,79	1,4	6,76	2,74	19	21,5	12	1,5	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
	05.03.2012	11,14	2,03	20,47	2,58	11	65,7	13,9	2,2	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
HD-44	05.03.2012	8,45	0,85	10,37	2,39	18	16,4	15	0,7	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
HD-50	06.07.2011	7,93	7,22	17,38	4,7	12	4,8	66	-0,5	Ca-SO <sub>4</sub>
	05.03.2012	8,47	7,16	17,25	4,17	12	4,2	74,3	-5,3	Ca-SO <sub>4</sub>
HD-57	06.07.2011	37	6,4	714,4	20,1	12	198,2	1500	5,8	Ca-SO <sub>4</sub>
	05.03.2012	15,38	16,52	289,7	10,3	20	38,9	662	4,5	Ca-SO <sub>4</sub>
HD-61	06.07.2011	20,58	6,8	24,21	5,11	8,1	111,5	24	2,8	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	05.03.2012	6,91	1,84	8,85	1,64	7,1	10,9	23,6	3,1	Ca-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>



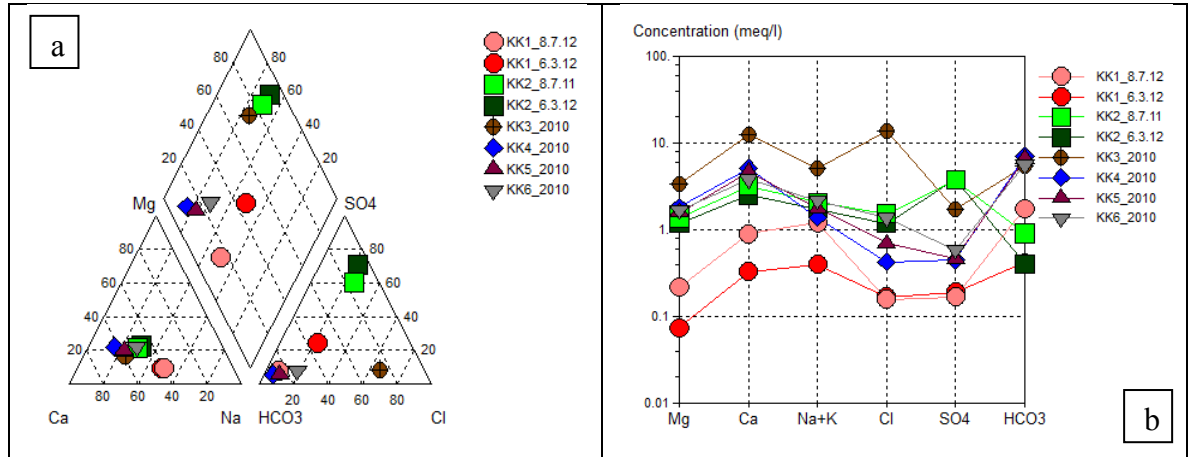
Şekil 162. Araştırma sondajlarına ait majör iyonların a. Piper b. Schoeller diyagramı.

4.4.2.1.2.3. Keson kuyular

KK-1 no'lu keson kuyu Na-Ca-HCO<sub>3</sub>, KK-2 Ca-Na-SO<sub>4</sub>-Cl, KK-3 Ca-Na-Cl-HCO<sub>3</sub>, KK-4 Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, KK-5 ve 6 Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub> su tipindedir (Çizelge 67; Şekil 163). Arjilik altere zonlardada açılan kuyular Na, SO<sub>4</sub> ve Cl iyonlarınca zenginleşmişlerdir.

Çizelge 67. Keson kuyularının majör iyon analiz sonuçları (mg/l)

Su noktası	Ölçüm tarihi	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	% e	Referans	Su tipi
KK-1	08.07.2011	26,11	2,97	17,99	2,65	5,6	107	8,1	5,6	Bu çalışma	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
	06.03.2012	8,83	0,68	6,62	0,91	6	25,6	9,19	1,7		Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
KK-2	08.07.2011	43,23	7,26	64,25	16,71	54	55,4	180	3,7	Baba, 2010	Ca-Na-SO <sub>4</sub> -Cl
	06.03.2012	36,99	5,05	49,89	14,48	42	24,8	183	1,2		Ca-Na-SO <sub>4</sub> -Cl
KK-3	2010	117,23	1,44	249,34	41,32	483,92	328,18	83,16	0,5	Baba, 2010	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
KK-4		29,54	3,71	103,89	22,12	15,12	429,44	21,34	2,9		Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
KK-5		40,28	0,58	93,53	19,26	24,73	405,04	22,1	1,4		Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
KK-6		49,52	1,36	76,70	20,36	48,83	342,82	28,18	0,7		Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>



Şekil 163. Gözlem kuyularına ait majör iyonların a. Piper b. Schoeller diyagramı.

#### 4.4.2.2. Elementler

Su noktalarında, analiz sonuçlarına göre en yüksek konsantrasyonda olan As, Al, Fe, Mn, Ni, S ve Zn elementleri seçilerek, değerlendirilmiştir.

**Alüminyum (Al)**, yer kabuğunda 3. bol bulunan element (% 8,6 oranında) olup, pH'ı 5-9 arasındaki sulara Al değeri 1 mg/l'den az iken, asidik sulara bu değer 100 mg/l'ye erişebilmektedir (Şahinci, 1986). Alüminyum birçok kayaç grubunun yapısında bulunan alüminosilikatların bünyesindeki ana elementlerden biridir, gıpsitin çözünür hale geldiği pH < 5 olan ortamlarda Al konsantrasyonları yüksek olur (Akçay, 2002). WHO (1997), AMD'ndan etkilenen sulardaki Al miktarının 90 mg/l üzerinde olduğunu belirtmiştir. pH aralığı 5,5-6 olan saf suda Al minimum çözünebilirlikte olur, pH değeri düştükçe toplam çözülmüş Al konsantrasyonu artar (ISO, 1994). Sudaki Al kimyası oldukça karışıktır, birçok kimyasal parametre ve çözeltilinin pH'ı, sulu çözeltideki Al'un hangi türünün var olacağını belirler (WHO, 1998).



**Arsenik (As)**, kalkofil bir elementtir, kayaç oluşturan minerallerde  $As^{3+}$  ve  $As^{5+}$  şeklinde bulunur. EPA (2003), arseniğin doğal kaynakları arasında kaplıcalar, volkanik kayalar, çöküntü kayaları, başkalaşım kayaları, deniz suyu yer aldığını belirtmiştir. Doğal sulara arsenik oluşumu akiferin jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal özelliklerine bağlıdır. Doğadaki arseniğin en önemli kaynağı sülfür mineralleridir. Arsenik içeren en önemli mineraller arasında; orpiment, realgar, arsenopirit, loellingite, nikelin, enarjit yer almaktadır (Matschullat, 2000; Bissen ve Frimmel, 2003). Cevher kuşaklarında rastlanan en önemli arsenik minerali; arsenikli pirittir (Nordstrom, 2003). Düşük pH'lı indirgen ortamlarda sülfürün bulunması ile bileşikler duraylılıklarını kaybeder ve değişik As sülfürler şeklinde çökeler. Sülfürlü minerallerin (özellikle pirit) yoğun olduğu ve oksitlendiği bölgelerde içme sularında yüksek arsenik konsantrasyonlarına erişebilir (Akçay, 2002).

**Demir (Fe)**, yer kabuğunda Al'dan sonra ikinci bol bulunan metal olup,  $Fe^{2+}$  ve  $Fe^{3+}$  değerliklerine sahiptir. Demirin jeokimyasal özellikleri sıkı bir şekilde oksijen, kükürt ve karbona bağlıdır (Şahinci, 1986). Demir, redoks aktif bir element olması nedeniyle ortamın jeokimyası hakkında önemli bilgiler sağlar (Balcı ve ark., 2009). Demir özellikle piroksen, amfibol, magnetit, pirit, biyotit, ve granat gibi demirli minerallerin bozunması ile orta çıkmaktadır (Şahinci, 1991). Yüzey ve yeraltı sularında bulunan demir; kayaçlardan, topraktan, organik atıklardan, kömür küllerinden, kömür yatakları drenaj sularından kaynaklanır (Kaçaroğlu, 1991). Demirin yeraltı suyunda bulunuş şekli, akiferin oksijen dengesine bağlıdır. Bu denge esas olarak; akiferin jeolojik yapısı ve karakteristikleri, mevsimsel çevrim, toprak ve temel kayaç tipi, demir bakterilerinin cinsleri ve akiferdeki yeraltı suyu akımı gibi faktörlerle ilişkilidir. Yeraltı suyunun demir içeriğini etkileyen diğer önemli faktörler oksidasyon-redüksiyon koşulları ve pH'tır (Hatva, 1989).

**Nikel (Ni)**, yer kabuğunda ortalama bolluğu 75 ppm olup, ultrabazik ve bazik kaya mineralidir, asidik kayalarda çok azdır (Şahinci, 1986). Ni, ferromagnezyen volkanik kayaç minerallerinde Fe ile yer değiştirebilir ve Fe-oksitler ve özellikle Mn-oksitler ile birlikte çökebilir. (Hem, 1985). Nikel magmatik kayaçlarda bulunan birçok mineralin yapısında bulunmaktadır. Olivin nikel içeren başlıca mineraldir. Magmatik kayaçların bozunmasıyla oluşan sedimanter kayaçlar ve toprak bir miktar nikel içerir (Goldschmidt, 1958; Rankama ve Sahama, 1964). Sulardaki nikel; kayaçlardan, topraktan ve fosil

Yakıtların kullanımından kaynaklanır. Nikel için jeokimyasal eşik, sülfür ve pH'dır. Asidik ortamlarda göçü hızlı olan nikel, alkali ve hidrojen sülfürün varlığında çöker.

**Mangan (Mn)**, yer kabuğunda 950 mg/l (% 0,09) olup, karasal bolluğu nedeniyle majör ve minör elementler arasında olan bir elementtir (Şahinci, 1991). Mangan genel olarak metamorfik ve magmatik kayalarda olivin, piroksen ve amfibol minerallerinde bulunur. Minerallerde  $Mn^{2+}$   $Mn^{3+}$  ya da  $Mn^{4+}$  olarak bulunabilir. Mn hidrolojik döngüye birçok normal ayrışma sürecinde  $Mn^{2+}$  olarak katılır ve  $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  ve  $Ca^{2+}$  iyonlarının yerine geçebilir. (Hitchon ve ark., 1999). Manganın akiferde bulunuşu esas olarak oksijen dengesine bağlıdır (Kaçaroğlu, 1991). Bu dengede akiferin jeolojik yapısı ve karakteristikleri, toprak yapısı, mangan bakterileri yeraltı suyu akım modeli, oksidasyon-redüksiyon koşulları ve pH gibi faktörlerle ilişkilidir (Hatva, 1989; Kaçaroğlu 1991).

**Çinko (Zn)**, magmatik kayalarda ortalama 70 ppm olup, daha çok ultrabazik ve bazik kayalarda bulunur (Şahinci, 1991). Volkanik ve magmatik kayalarda başlıca silikatlar, oksitler ve sfaleritin yapısında bulunur. Çinko, kil minerallerinin, Fe-oksitin ve organik maddenin yüzeyinde tutulur ve derin deniz kellerinde ve şeyllerde daha boldur (Hitchon ve ark., 1999). En yaygın Zn minerali sfalerittir. Çinko mineralleri sedimanter kayalarda ve toprakta (özellikle topraktaki humus tabakasında) oldukça yaygındır (Goldschmidt, 1958; Rankama ve Sahama, 1964). Sülfürün yıkanması sonucu ortaya çıkan asit maden suları yüzey sularındaki çinko konsantrasyonu yüksektir (Şahinci, 1986).

**Kükürt (S)**, yer kabuğunda % 0,06-0,09 oranında bulunmaktadır (Özgüner, 2005). Yüksek kimyasal etkinliği, bazı koşullarda çökebilene, tekrar kolayca suda çözünen kükürt bileşikleri doğal suların kimyasında önemli bir yer tutmaktadır (Şahinci, 1991). Yer kabuğunda kükürdün bulunuş şekli çözülmüş sülfat, çözülmüş sülfür, hidrojen sülfür, sülfat ve sülfür mineralleri şeklindedir. Tortul kayalar (çamur, şeyl), magmatik kayalardan altı kat fazla kükürt içerirler (Şahinci, 1986). Yüzey sularındaki çözülmüş kükürt kaynakları denizel aerosol, yağış, topraktaki ve evaporitlerdeki sülfatın çözünmesi, jeolojik devirlerdeki eski kayaların yeraltı suyu tarafından çözünmesi, sülfür mineralleri ile organik kükürdün oksidasyonudur.

Standartlara göre bazı elementlerin limit değerleri Çizelge 68'de sunulmuştur. Sülfür elementi için herhangi bir limit değeri belirtilmemiştir. Limit değerlerin üzerindeki element konsantrasyonları çizelgelerde kalın olarak yazılmıştır.

Çizelge 68. Standartlara göre bazı elementlerin limit değerleri (µg/l)

Element	Bulunabilecek en yüksek değer			
	TSE, 2005	EPA, 2004	İTASHY, 2005	WHO, 2006
Al	200	200	200	200
As	10	10	10	10
Fe	200	300	200	200
Mn	50	50	50	400
Ni	20	-	20	20
S	-	-	-	-
Zn	5000	5000	5000	5000

**4.4.2.2.1. Yüzey suları****4.4.2.2.1.1. Dereler**

Çalışma alanının güney kesiminde rekrystalize kireçtaşlarının arasından akan Fındıklı dere (YS-1) ölçülen tüm element konsantrasyonları limit değerlerin oldukça altındadır (Çizelge 69). Keçiagılı köyünün batısında, AMG-1'in etrafındaki pasalardan sızan AMD ile karışan YS-2'de Al, Fe, Mn ve Ni konsantrasyonları limit değerlerin oldukça üstünde olduğu saptanmıştır.

Çizelge 69. Yüzey sularında ölçülen element konsantrasyonları

Örnek adı	Al		As		Fe		Mn		Ni		Zn		S			
	µg/l														mg/l	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
YS-1	2	2,1	17	5,1	16,2	10	0,1	4,64	6,4	0,2	5	1,1	16	13		
YS-2	<b>50701</b>	-	5,6	-	<b>43140</b>	-	<b>11240</b>	-	<b>150</b>	-	1016	-	185	-		

1: Temmuz 2011, 2: Mart 2012 dönemi

**4.4.2.2.1.2. Asit maden gölleri**

Asit maden göllerinin bazı element sonuçları Çizelge 70; 71; 72; 73; 74'de sunulmuştur. Element konsantrasyonu en yüksek olan göl; AMG-2'dir. Ayrıca asit maden gölleri, Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın kıta içi su kaynaklarının kalite değerlerinin sınıflandırıldığı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne (SKKY, 2004) göre değerlendirilmiştir. (Çizelge 75). Göller, bu sınıflamaya göre; pH, SO<sub>4</sub>, Al, Fe, Mn, Ni ve Zn değerleri sınıf IV yani çok kirlenmiş sudur. Bu sonuç ile göllerin herhangi bir amaçla

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

kullanımı uygun görülmemekte olup, ancak ciddi iyileştirmelerden sonra kullanımı mümkün olabilir.

Çizelge 70. AMG-1'de ölçülen element konsantrasyonları ( $\mu\text{g/l}$ )

Ölçüm tarihi	AMG-1						
	Al	As	Fe	Mn	Ni	S	Zn
08.12.2009	278245	3,9	88093	74630	1009	1350000	4666
17.07.2010	247950	4,1	90315	67760	520	1289000	2820
01.04.2011	252683	5,2	83739	72413	1071	1511000	4471
04.07.2011	286613	6	91903	83947	1075	1275000	4881
06.12.2011	204677	4,5	90108	64201	515	1434000	3569
25.02.2012	219618	2,9	54198,9	66489	579	1206000	2758
03.07.2012	201450	3,1	75580	67610	493	1318000	2990
Ortalama	241605,14	4,24	81990,98	71007,14	751,71	1340428,6	3736,42
Minimum	201450	2,9	54198,9	64201	493	1206000	2758
Maksimum	286613	6	91903	83947	1075	1511000	4881

Çizelge 71. AMG-2'de ölçülen element konsantrasyonları ( $\mu\text{g/l}$ )

Ölçüm tarihi	AMG-2						
	Al	As	Fe	Mn	Ni	S	Zn
08.12.2009	311980	14,9	284540	206430	2150	1796000	16270
17.07.2010	345800	16,2	328296	217935	2436	1991400	15481
01.04.2011	327510	12,9	227210	225650	1800	1851000	15730
19.05.2011	346624	15,3	270414	208360	2396	1898000	13117
04.07.2011	360675	12,1	329770	187079	2367	1932000	12037
06.12.2011	352699	17,7	277169	222585	2149	1839000	15013
25.02.2012	308835	11,4	154650	182203	2022	2084000	10281
03.07.2012	356310	14,9	284400	216580	1840	2125000	9610
Ortalama	338804,12	14,42	269556,13	208352,75	2145	1939550	13442,37
Minimum	308835	11,4	154650	182203	1800	1796000	9610
Maksimum	360675	17,7	329770	225650	2436	2125000	16270

Çizelge 72. AMG-3'de ölçülen element konsantrasyonları ( $\mu\text{g/l}$ )

Ölçüm tarihi	AMG-3						
	Al	As	Fe	Mn	Ni	S	Zn
17.07.2010	118745	6,1	27780	24010	510	577000	2370
01.04.2011	124792	5,3	28721	25650	578	612380	1896
19.05.2011	123639	5,9	31790	20213	614	657300	2015
04.07.2011	129498	5	34370	27574	580	682000	1238
06.12.2011	142765	6,2	31951	24322	502	786400	2211
25.02.2012	155878	7,1	21550	33820	563	914000	3923
03.07.2012	166730	6,3	35962	21370	437	1143800	3120
Ortalama	137435,28	5,98	30303,43	25279,86	540,57	764413,33	2396,14
Minimum	118745	5	21550	20213	437	577000	1238
Maksimum	166730	7,1	35962	33820	614	1143800	3923

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

Çizelge 73. AMG-4'de ölçülen element konsantrasyonları (µg/l)

Ölçüm tarihi	AMG-4						
	Al	As	Fe	Mn	Ni	S	Zn
01.04.2011	20600	2,37	9670	35480	410	585600	1720
19.05.2011	19687	2,95	9645	38603	429,6	597490	1549
04.07.2011	16884	4	7142	32737	354	613700	1607
06.12.2011	19783	3,2	7588	31546	321	653860	1982
25.02.2012	18262	2,8	9856	32509	229	726000	611
03.07.2012	20531	2,7	8563	30850	210	734900	790
Ortalama	19291,8	3	8744	33620,83	325,6	651925	1376,5
Minimum	16884	2,37	7142	30850	210	585600	611
Maksimum	20600	4	9856	38603	429,6	734900	1982

Çizelge 74. AMG-5'de ölçülen element konsantrasyonları (µg/l)

Ölçüm tarihi	AMG-5						
	Al	As	Fe	Mn	Ni	S	Zn
01.04.2011	36810	3,05	15680	12240	110	286000	960
19.05.2011	38940	3,3	17004	11876	148	295400	764
04.07.2011	62880	2,1	25335	19978	183	393000	1238
06.12.2011	41339	3,1	18188	18200	139	201500	930
25.02.2012	18192	2,9	12330	9880	77	173000	438
03.07.2012	51494	2,67	14590	18290	112	387500	1210
Ortalama	41609,16	2,85	17187,83	15077,33	128,17	289400	923,33
Minimum	18192	2,1	12330	9880	77	173000	438
Maksimum	62880	3,3	25335	19978	183	393000	1238

Çizelge 75. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite değerleri (SKKY, 2004)

Su Kalite Sınıfları (SKKY, 2004)									
	I	II	III	IV	AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5
a) Fiziksel ve inorganik kimyasal parametreler (mg/l)									
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	< 6,0->9,0	IV	IV	IV	IV	IV
Cl	25	200	400	> 400	II	II	II	II	II
Na	125	125	250	> 250	I	III	I	III	I
SO <sub>4</sub>	200	200	400	> 400	IV	IV	IV	IV	IV
b) İnorganik parametreler (mg/l)									
Al	300	300	1000	> 1000	IV	IV	IV	IV	IV
As	20	50	100	> 100	I	I	I	I	I
Fe	300	1000	5000	> 5000	IV	IV	IV	IV	IV
Mn	100	500	3000	> 3000	IV	IV	IV	IV	IV
Ni	20	50	200	> 200	IV	IV	IV	IV	IV
Zn	200	500	2000	> 2000	IV	IV	IV	III	III

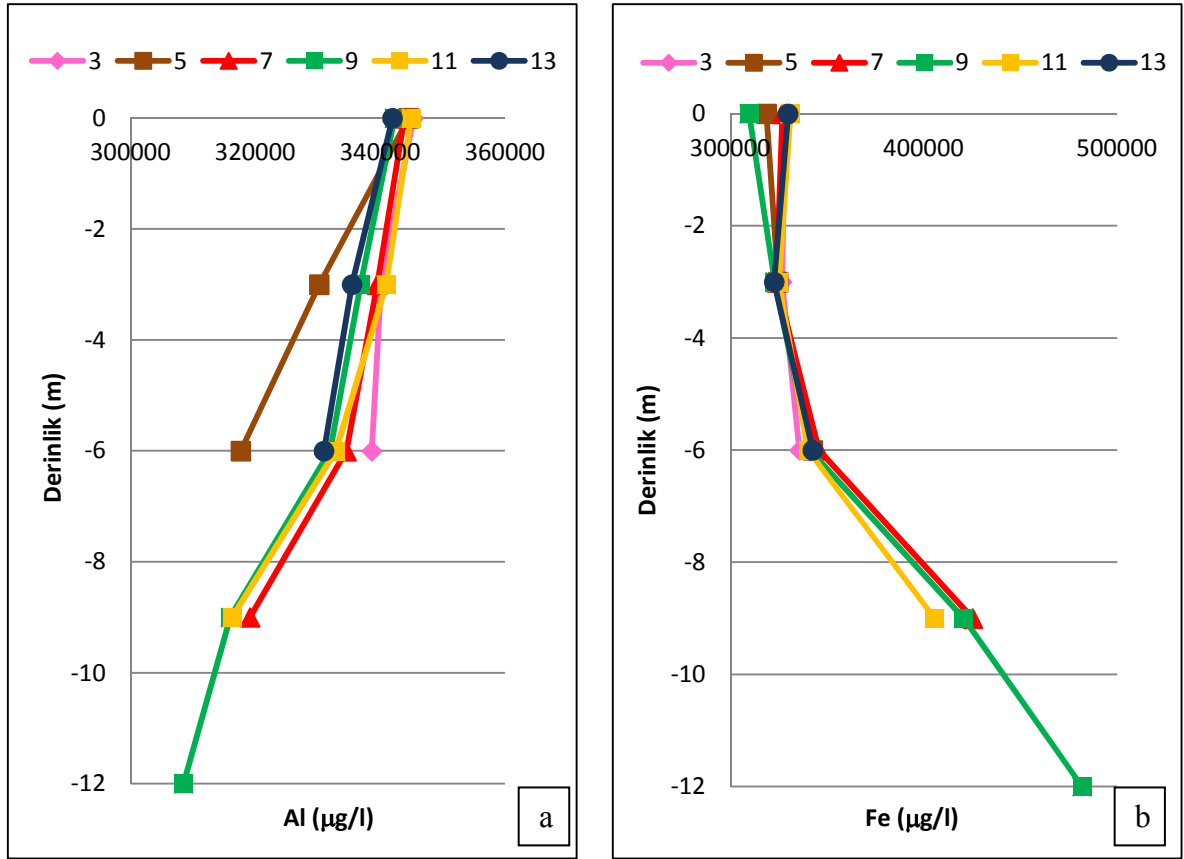
## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

AMG-2'de Temmuz 2010 döneminde yapılan limnolojik çalışmalar neticesinde elde edilen majör iyon analiz sonuçları Çizelge 76'da sunulmuştur. Ölçümler, 30 m mesafe ve 3 m'lik derinlik değişimi ile toplam 24 noktada yapılmıştır. Al, Mn, Ni, Zn konsantrasyonları artan derinlikle birlikte azalmıştır. Fe konsantrasyonu, ilk 6 m derinlikte 15000-20000 µg/l arasında artmış, 12 metre derinlikte maksimum ölçülen değer olan 481830 µg/l ulaşmıştır (Şekil 164).

Çizelge 76. AMG-2'de derinlikle değişen element konsantrasyonları (µg/l)

Ölçüm noktası	Toplam derinlik (m)	Ölçüm derinliği (m)	Al	Fe	Mn	Ni	Zn
1 1	-2,55	0	345150	327965	218060	2396	15550
3 1	-7,01	0	345330	328250	217680	2310	14980
3 2		3	340128	326580	195620	2225	14395
3 3		6	338641	335650	180560	2180	14250
5 1	-8,35	0	344556	318596	215970	2295	15100
5 2		3	330215	324590	192430	2210	14780
5 3		6	317650	342520	179850	2115	14365
7 1	-9,05	0	343890	326850	217820	2384	14902
7 2		3	339487	323670	193410	2295	14455
7 3		6	334598	345720	180650	2210	13975
7 4		9	319146	425330	181670	2340	14487
9 1	-13,02	0	342268	309584	219640	2280	14650
9 2		3	336843	322910	196220	2205	14220
9 3		6	331954	341060	179640	2154	13850
9 4		9	315961	420680	180630	2225	14496
9 5		12	308465	481830	182490	2267	15162
11 1	-10,98	0	344970	330896	218470	2298	15045
11 2		3	340962	324980	190830	2210	14465
11 3		6	332891	340125	179180	2147	13890
11 4		9	316265	405600	181960	2249	14764
13 1	-6,04	0	341956	329745	214980	2320	14985
13 2		3	335477	322590	193500	2255	14598
13 3		6	330982	342510	181460	2183	14060
15 1	-1,46	0	344720	327010	217650	2418	15110
<b>Ortalama</b>			334271,04	346885,04	196265,42	2257,125	14605,583
<b>Maksimum</b>			308465	481830	219640	2418	15162
<b>Minimum</b>			345150	322590	179180	2147	13850

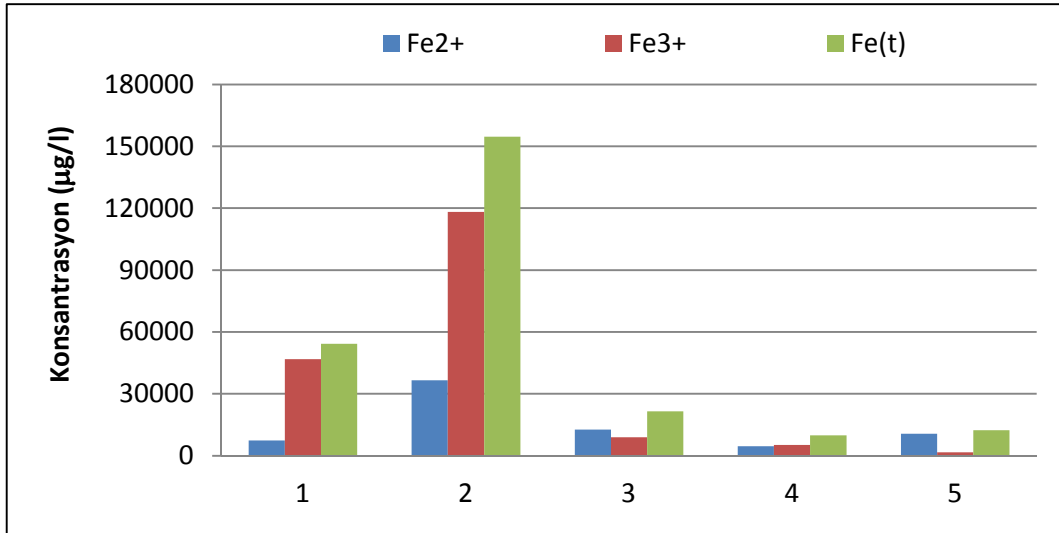
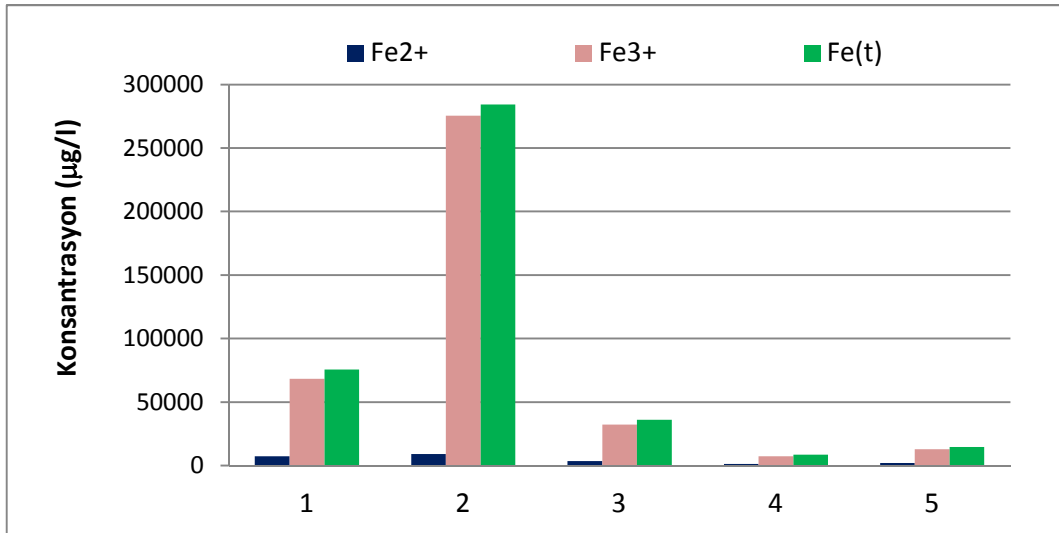


Şekil 164. Derinlikle değişen a. Al b. Fe konsantrasyonları.

Asit maden göllerinde, Şubat ve Temmuz 2012 dönemlerinde  $Fe^{2+}$  değerleri fenantrolin metodu ile tayin edilmiştir.  $Fe^{3+}$  miktarı; toplam demirden  $Fe^{2+}$  miktarının çıkartılmasıyla hesaplanmıştır (Çizelge 77). Tüm asit göllerinin pH değerleri 4'ten küçük olarak ölçülmüştür. Bu koşullarda  $Fe^{2+} < Fe^{3+}$ 'tür.  $Fe^{2+}$ 'nin bir kısmı  $OH^-$ 'a bir kısmı da  $Fe^{3+}$ 'e dönüşür (Şekil 165; 166). Yaz döneminde artan buharlaşma ile Fe değerleri bahar ve kış aylarına nazaran daha yüksek değerlerdedir.

Çizelge 77. AMG'lerin  $Fe^{2+}$  ve  $Fe^{3+}$  içeriği (µg/l)

Asit maden gölü	Fe (II)		Fe (III)		Fe (t)	
	Şubat 2012	Temmuz 2012	Şubat 2012	Temmuz 2012	Şubat 2012	Temmuz 2012
AMG-1	7400	7400	46798,9	68180	54198,9	75580
AMG-2	36500	8938	112150	275462	154650	284400
AMG-3	12600	3624	8950	32338	21550	35962
AMG-4	4600	1246	5256	7317	9856	8563
AMG-5	10700	1875	1630	12715	12330	14590

Şekil 165. AMG'lerin Fe<sup>2+</sup> ve Fe<sup>3+</sup> değerleri (Şubat 2012).Şekil 166. AMG'lerin Fe<sup>2+</sup> ve Fe<sup>3+</sup> değerleri (Temmuz 2012).

AMG'lerde, Kasım 2011 ve Ağustos 2012 dönemlerinde askıda ve çözülmüş katı madde analizleri ile asidite tayinleri yapılmıştır (Çizelge 78). Yazın yüksek sıcaklık, düşük yağış ve artan buharlaşma ile çözülmüş katı madde miktarı bir miktar katı forma dönüşmüştür, çökeltme görülmüştür. Ağırlıklı olarak çözülmüş katının katı madde haline gelerek çökmesi sonucunda çözeltide mineral asiditesi (H<sup>+</sup> ve metalik iyonlar) kısım ayına göre bir miktar azalmıştır. Askıda katı taneciklerinin ana kaynaklarından biri



demirdir. Demir pH'daki değişime göre suda iyonik ya da katı halde bulunabilir. Ayrıca sınırlı düzeyde alüminyum benzer davranış sergilemektedir.

Çizelge 78. AMG'lerin askıda ve çözünmüş katı madde ile asidite değerleri

Asit maden gölleri	Askıda katı madde (mg/l)		Çözünmüş katı madde (mg/l)		Asidite (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	
	26.11.2011	28.08.2012	26.11.2011	28.08.2012	26.11.2011	28.08.2012
AMG-1	2	1,75	9740	6080	108	80
AMG-2	49	4,33	10880	6690	102	86
AMG-3	26	0,87	5700	4700	104	76
AMG-4	12	0,62	3600	3230	32	18
AMG-5	0	0,5	4020	3120	46	50

Lundgren ve ark. (1972), kömür sahalarındaki yaptıkları çalışmalar neticesinde dört sınıftan oluşan "AMD sınıflaması" tanımlamışlardır (Çizelge 79). Çalışma alanında yer alan asit maden gölleri pH, Al, SO<sub>4</sub> bakımından Sınıf 1'de (asidik), asidite ve Fe içeriği bakımından Sınıf 2'de (kısmen oksitlenmiş) yer almaktadır.

Çizelge 79. AMD sınıflaması (Lundgren ve ark., 1972)

Parametre	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4
	Asidik	Kısmen oksitlenmiş veya nötrleşmiş	Oksitlenmiş ve nötrleşmiş veya bazikleşmiş	Nötrleşmiş oksitlenmiş
pH	2 - 4,5	3,5 - 6,6	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Asidite (CaCO <sub>3</sub> )	1000 - 15000	0 - 1000	0	0
Fe <sup>2+</sup>	500 - 10000	0 - 500	0	50 - 1000
Fe <sup>3+</sup>	0	0 - 1000	0	0
Alüminyum	0 - 2000	0 - 20	0	0
Sülfat	1000 - 20000	500 - 10000	500 - 10000	500 - 10000

pH dışındaki tüm parametrelerin birimi mg/l'dir

#### 4.4.2.2.2. Yeraltı suları

##### 4.4.2.2.2.1. Kaynaklar

Muratlar köyünün içme suyu kaynakları olan 1 ve 2 no'lu kaynakların Al konsantrasyonları içme suyu limit değerlerin üzerindedir (Çizelge 80). Halilağa köyünün

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

ana su kaynağı olan 3 no'lu kaynağın As değerleri limit değerden yaklaşık 2 kat yüksektir. Hacıbekirler köyünün su kaynakları olan 4 ve 5 no'lu kaynakların Mn değerleri limit değerlerin üzerinde saptanmıştır.

Çizelge 80. Su kaynaklarındaki element konsantrasyonları

Örnek adı	Al		As		Fe		Mn		Ni		Zn		S			
	µg/l														mg/l	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
1	438	296	0,4	0,5	9	12	10,75	7,2	2,9	1,9	10,1	7,5	6	6		
2	2162	1810	0,3	0,5	145	173	22,27	10,01	10,3	7,6	18,7	17,5	10	8,5		
3	0,9	1,3	23,6	16,8	8	12	0,05	0,23	0,2	0,2	0,5	1,2	6	6		
4	104	124	6	5,1	6	17	678,5	564,3	16,9	14,9	73,7	65,5	25	24		
5	2,5	1,9	9,1	14,5	5	9,9	108,4	76,6	0,2	0,2	1	0,5	22	23		
6	18170	14621	1,5	0,8	19	40	808,3	711	54,3	49,6	92,1	95,1	128	147		
7	2	10	2	1,8	8	9,7	1	0,87	13,4	0,2	0,5	0,5	21	29		
8	26843	-	5	-	7	-	2946	-	77	-	156	-	477	-		
9	9	9	0,9	0,5	9	8,5	220,37	555,1	0,2	4,6	1,5	7,5	14	23		
10	3784	4048	0,6	0,5	166	324	46,16	29,03	10,5	3,8	164,8	232	14	19		
11	1445	1306	6,8	0,5	9	23	151,9	97,49	8,3	4	105,3	65,1	13	7		
12	18	12	3,1	2,3	8	18	0,4	0,51	8,6	23,7	0,5	0,5	18	34		
13	2	1	40,9	38,3	7,1	9,1	2,77	5,92	0,3	0,2	0,5	0,5	8	6		
14	1	1	66,7	87,3	15,2	10,6	222,4	190,41	4,3	3,5	8	0,5	9	11		
15	2	27	0,6	1,5	11,9	14	1194	1460	26,5	47,9	50,2	58,7	109	129		
16	67	45	0,5	0,5	16,1	17	19,3	16,92	5,2	2,7	15,3	9,3	5	5		
17	-	0,5	-	0,5	-	17,2	-	0,05	-	0,2	-	0,5	-	37		
18	16114	20175	0,5	0,5	2086	5206	883,1	942,6	7,3	16,6	44,7	62	38	95		
19	-	7836	-	1,5	-	161	-	693	-	8,5	-	130	-	94		
20	32473	24864	0,7	1	769	776	847	734,3	20,9	18,9	177,7	111,6	158	140		
21	7901	8079	58,3	92,9	126	269	613,8	578,2	6,6	6	106,3	106,9	77	86		
22	8121	8739	66,7	44,3	75	149	433,6	388,4	4,4	4,8	141,1	138,5	59	65		
23	30914	19503	10,1	34,2	74	32	951,3	683,8	29,8	9,9	148	75,3	215	249		

6 no'lu kaynakta Al, Mn ve Ni, 8 no'lu kaynakta Al ve Mn, 9 no'lu kaynakta Mn, 10 no'lu kaynakta Al ve Fe, 11 no'lu kaynakta Al ve Mn, 13 no'lu kaynakta As, 14 no'lu kaynakta As ve Mn, 15 no'lu kaynakta Mn ve Ni, 18 no'lu kaynakta Al, Fe ve Mn, 19 no'lu kaynakta Al ve Mn, 20 no'lu kaynakta Al, Fe, Mn ve Ni, 21, 22 ve 23 no'lu kaynaklarda Al, As, Mn, Fe konsantrasyonları limit değerlerinin üzerindedir. Kaynakların Zn değerleri limit değerlerin altında ölçülmüştür. S konsantrasyonu SO<sub>4</sub> ile orantılı olarak yüksektir. pH değeri düşük, altere zonlarla temas eden tüm kaynaklar yüksek konsantrasyonda elementler içermektedir. 7, 12, 16 ve 17 no'lu kaynaklardaki element değerleri limit değerlerin altındadır.

**4.4.2.2.2. Sondajlar****4.4.2.2.2.1. Gözlem kuyuları**

Baba (2010), Şubat 2010 tarihinde Muratlar köyüne içme suyu sağlamak için Teck Madencilik Şirketi tarafından 150 m derinliğinde açılan GK-1'de alınan ilk su numunesinde As değerinin 150 µg/l ölçüldüğü belirtmiştir. Bunun sebebi, yeterli süre boyunca kuyudan çekim yapılamaması nedeniyle uzun süren bekleyen suyun analize gitmesidir. GK-1 ve GK-2'de As değerleri limit değerinin biraz üzerinde olduğu saptanmıştır (Çizelge 81).

Çizelge 81. Gözlem kuyularının bazı element konsantrasyon değerleri

Örnek adı	Al		As		Fe		Mn		Ni		Zn		S	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	µg/l												mg/l	
GK-1	33	2	8,5	<b>10,2</b>	9	32	19,25	25,49	4,5	0,2	4,5	0,5	8	10
GK-2	16	6	<b>14</b>	<b>16,2</b>	8	17	1,7	0,41	0,5	0,4	6,1	0,5	9	9
GK-3	2	7	8,8	4,2	7	11	<b>52,41</b>	0,5	0,3	0,2	9,5	14,9	22	8

1: Temmuz 2011, 2: Mart 2012 dönemi

**4.4.2.2.2.2. İzleme kuyuları**

İzleme kuyularında SRK tarafından ölçülen Al, As, Fe, Mn değerlerinin limit değerlerin oldukça üstünde olduğu belirtilmiştir (Çizelge 82). Su noktalarında ölçülen en yüksek As değeri SRK-2'de ölçülen 387 mg/l'dir. Bu değer, limit değerden yaklaşık 39 kat fazladır.

Çizelge 82. İzleme kuyularının bazı element konsantrasyon değerleri (SRK, 2012)

Örnek adı	Al		As		Fe		Mn		Ni		Zn		S	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	µg/l												mg/l	
SRK-1	<b>333</b>	155	<b>19</b>	<b>10,6</b>	<b>716</b>	<b>226</b>	<b>1190</b>	<b>2610</b>	11,6	14	310	784	389	436
SRK-2	16,7	<b>210</b>	<b>387</b>	<b>81,6</b>	<b>682</b>	<b>568</b>	<b>299</b>	<b>688</b>	5,42	4,33	907	770	64	60,5
SRK-3	144	<b>745</b>	<b>10,7</b>	<b>21,6</b>	74,2	<b>1280</b>	<b>85,9</b>	<b>721</b>	3,86	5,54	2600	214	4,65	10,8

1: Temmuz 2011, 2: Mart 2012 dönemi

**4.4.2.2.2.3. Araştırma sondajları**

Araştırma sondajlarının tümünde Mn limit değerlerin üzerindedir (Çizelge 83). HD-50 no'lu araştırma sondajında ayrıca Al konsantrasyonunun limit değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 83. Araştırma sondajlarının bazı element konsantrasyon değerleri

Örnek adı	Al		As		Fe		Mn		Ni		Zn		S	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	µg/l												mg/l	
HD-39	6	1	0,5	0,5	8,3	10	523,7	96,06	5,9	1,5	8,3	2	7	5
HD-40	75	142	1,4	0,5	95	117	296,3	54,39	7,6	4,9	12,1	3,4	4	4
HD-44	-	6	-	0,5	-	10	-	95,31	-	1,5	-	3,4	-	5
HD-50	318	342	0,5	1,1	8,3	15	426	382,3	15,8	18,1	245,8	215,4	23	28
HD-57	2	3	0,5	4,5	65	10	1363	1228	2	8,9	36	27,2	507	236
HD-61	51	96	0,5	0,5	50	67	615,3	98,5	6,3	8,6	5,4	24,6	9	8

1: Temmuz 2011, 2: Mart 2012 dönemi

**4.4.2.2.3. Keson kuyular**

KK-1 no'lu keson kuyuda ölçülen tüm element değerleri limit değerlerin altındadır (Çizelge 84). KK-2 no'lu keson kuyuda, Al değeri 3 kat, Mn değeri 15-30 kat ve Ni değeri 2 kat limit değerlerin üzerinde olduğu saptanmıştır.

Çizelge 84. Keson kuyularının bazı element konsantrasyon değerleri

Örnek adı	Al		As		Fe		Mn		Ni		Zn		S	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	µg/l												mg/l	
KK-1	21	63	2,2	0,8	22	42	18,83	0,8	2	0,2	5	1,6	3	4
KK-2	530	747	0,7	0,5	2,7	10	1781	528,6	53,9	26,7	238,8	217,5	69	67

1: Temmuz 2011, 2: Mart 2012 dönemi

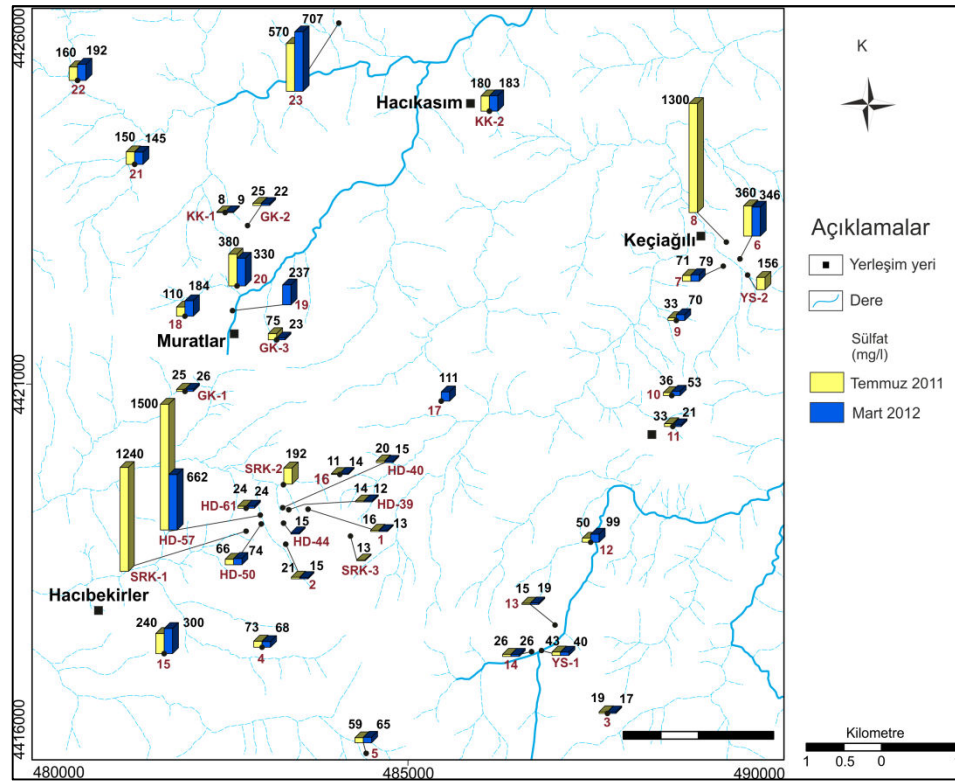
**4.4.2.2.3. Tüm su noktalarının kimyasal özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi**

Çalışma alanındaki su noktaları farklı hidrokimyasal fasiyelerde olduğu saptanmıştır. Asit maden gölleri, HD-50 ve 57 no'lu araştırma sondajları, 15 no'lu su kaynağı CaSO<sub>4</sub> su tipindedir. GK-1, SRK-3, 7, 9, 12, 13, 14 ve 17 no'lu kaynaklar Ca-

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

HCO<sub>3</sub> tipindedir. Diğer su noktaları karışım fasiyesinde olup, arjilik/ileri arjilik altere zonlarla temas eden su noktaları Na, SO<sub>4</sub> ve Cl iyonlarınca zenginleşmişlerdir. Su noktalarının SO<sub>4</sub> değerleri Şekil 167'de sunulmuştur. SO<sub>4</sub> konsantrasyonları limit değerlerin üzerinde olan su noktaları; 6, 8, 20, 23, HD-57 ve SRK-1'dir. Yalçın ve Sarp (2012), Biga Yarımadası'nda tüm sülfat tipi baskın sulardaki yüksek sülfat konsantrasyonunu kristalen kayalardaki sülfidin oksidasyonu ile tortul kökenli veya hapis sulara var olan sülfatın karışımı sonucu çıktığını belirtmiştir. Yılmaz (2003), Biga Yarımadası'nda sülfat tipi baskın suların asit sülfat hidrotermal alterasyonu sonucu oluşan piritlerden kaynaklandığını ifade etmiştir. S değerleri ile ilgili literatürde limit bir değer verilmemiştir. Su noktalarının S değerleri, SO<sub>4</sub> değerleri ile orantılı olarak yüksektir (Şekil 168).

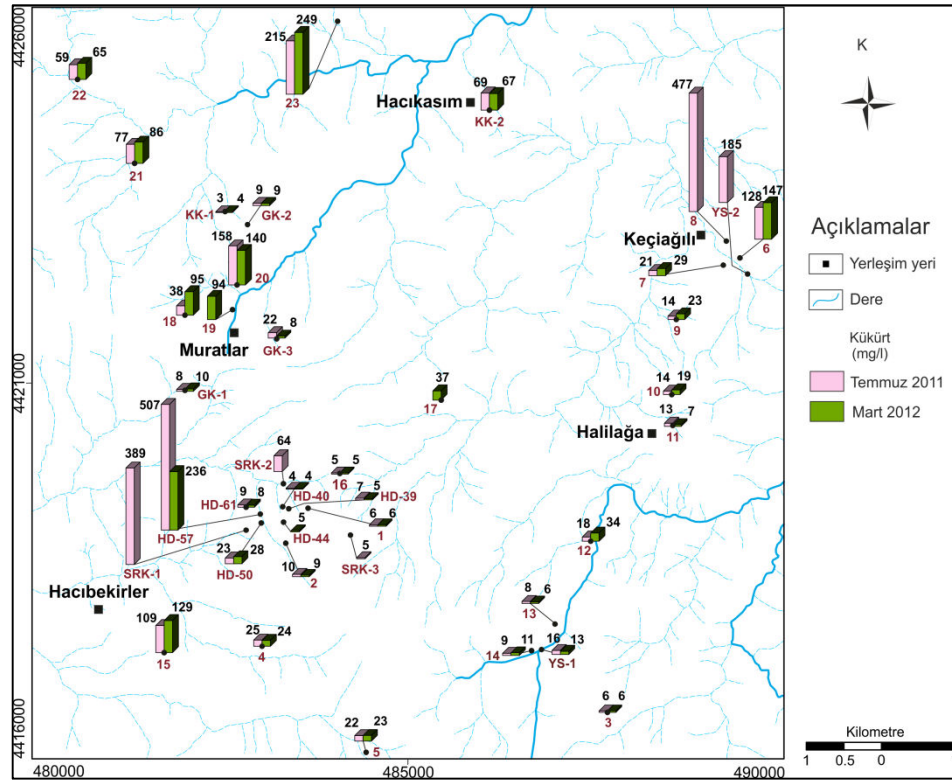


## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

alterasyonu sonucu oluşan Al'ca zengin kaolen, illit gibi kil minerallerini çözerek bünyesine almasıyla meydana gelmektedir.

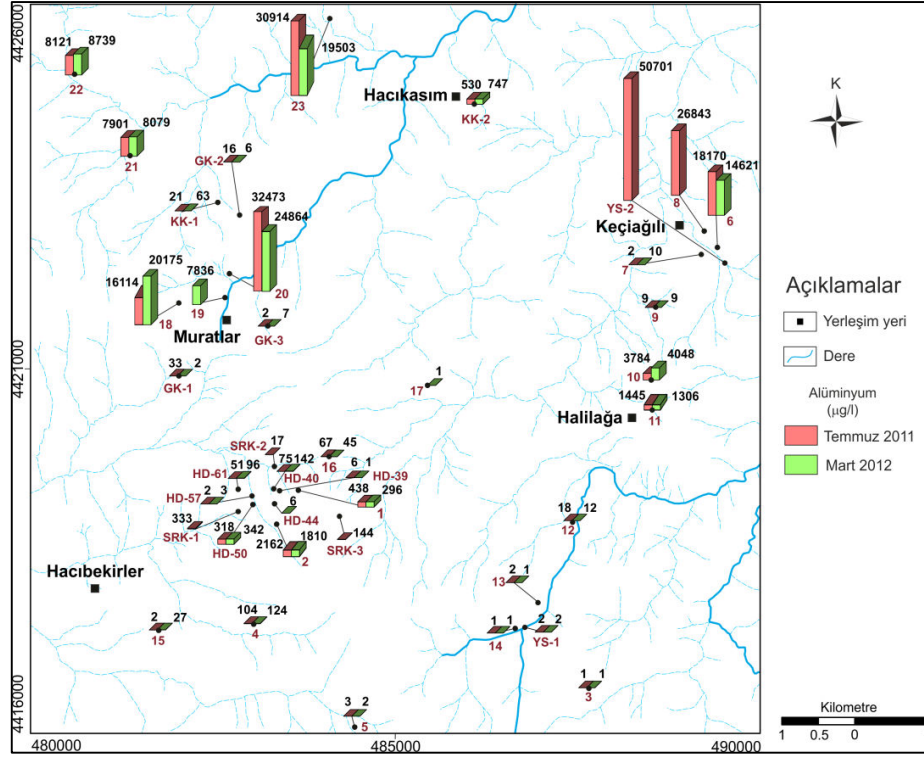
Baba (2010), Muratlar köyü ve çevresinde altere olmuş Çan volkanik kayalarında arsenopirit ve orpiment mineralleri varlığını belirtmiş, arsenopirit ve orpiment içeren kayaların bulunduğu kesimlerdeki kaynak sularında yüksek konsantrasyonlarda arsenik içerdiğini ifade etmiştir. Saha çalışmalarında da arsenopirit ve orpiment içeren kayalar tespit edilmiştir. Çalışma alanının kuzey kesimlerinde arjilik alterasyon zonundan alınan kayaç örneğinde ölçülen maksimum As konsantrasyonu 623,3 ppm 'dir. 3, 13, 14, 21, 23, 23, SRK-2, GK-2 ve YS-1 no'lu su noktalarının As değerleri içme suyu limit değerlerinin üzerindedir (Şekil 170).



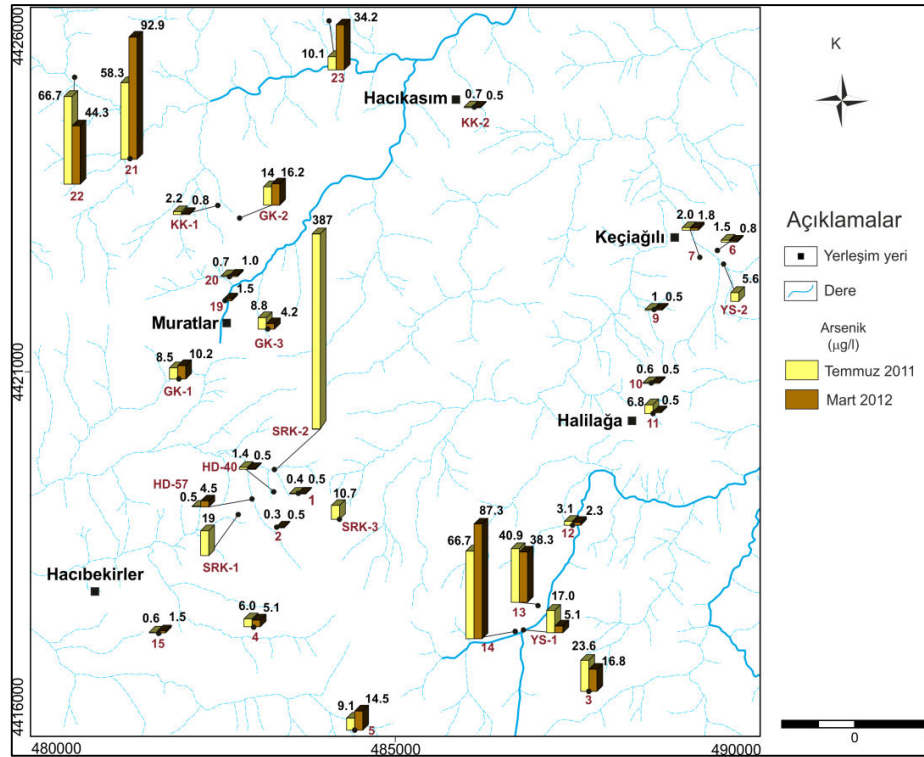
Şekil 168. Su noktalarının S konsantrasyonları.

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL



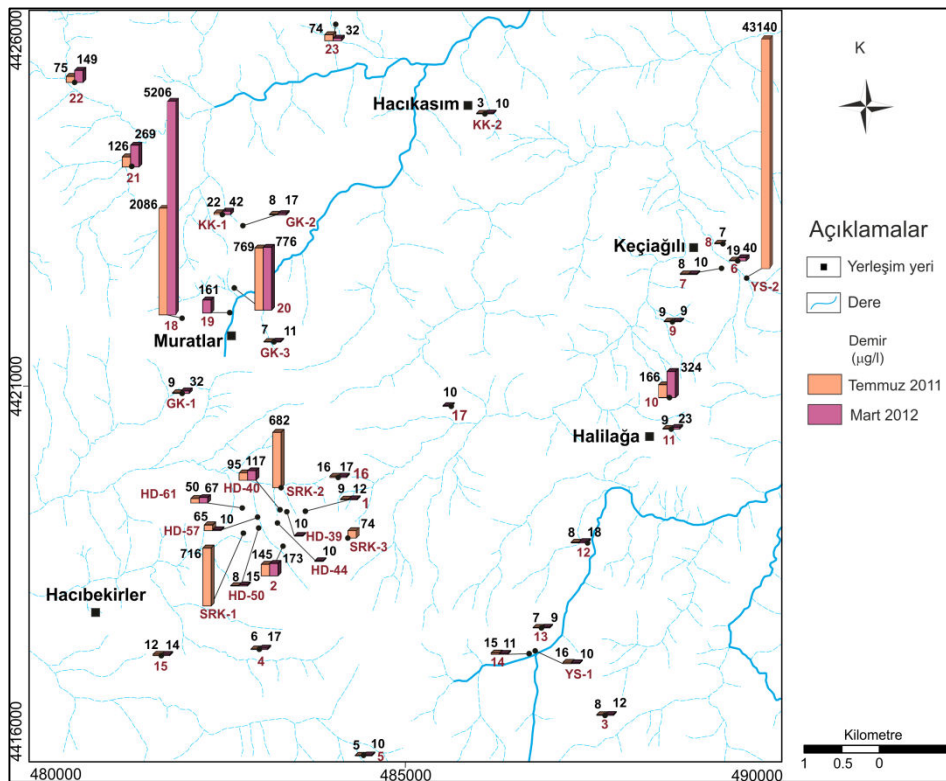
Şekil 169. Su noktalarının Al konsantrasyonları.



Şekil 170. Su noktalarının As konsantrasyonları.

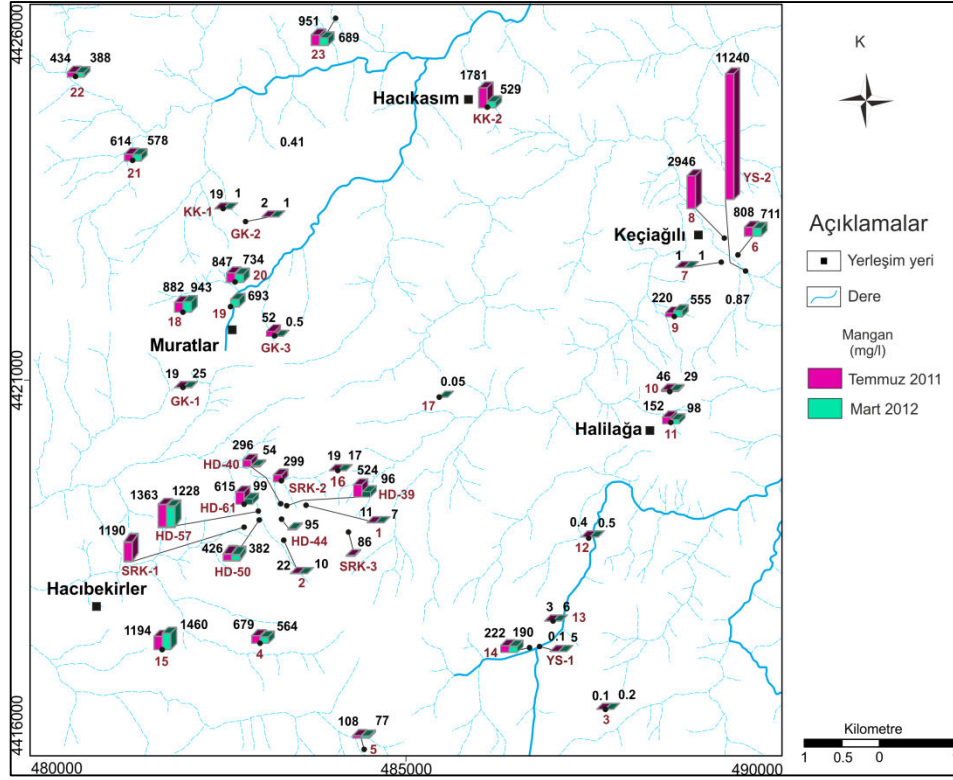
Çalışma alanında, farklı litolojilerde pirit, siderit, götit gibi Fe mineralleri saptanmıştır. Çan volkanitlerinde ileri arjilik alterasyona uğramış andezitik kayacıkta ölçülen maksimum  $Fe_2O_3$  oranı % 21,94'dir. Su kaynaklarındaki yüksek Fe içeriğinin nedeni altere zonlarda bol olarak bulunan pirit minerallerinin oksidasyonudur. 10, 18, 20, 21, YS-2, SRK-1 ve SRK-2'nin Fe değerlerinin içme suyu limit değerinin üzerinde olduğu saptanmıştır (Şekil 171).

Su noktalarındaki en yüksek Mn konsantrasyonu YS-2'de ölçülmüştür (Şekil 172). Ayrıca 5, 6, 8, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22, SRK-1, SRK-2, SRK-3, HD-40, HD-57, HD-61'de Mn konsantrasyonları içme suyu limit değerinin üzerindedir. Su noktalarından 6, 8 ve 15 no'lu kaynaklar ile YS-2 no'lu dere, GK-1 no'lu gözlem kuyusu ve KK-2 no'lu keson kuyuda ölçülen Ni değerleri içme suyu limit değerlerinin üzerindedir (Şekil 173). Su noktalarının yüksek Mn ve Ni konsantrasyonları, çalışma alanının sınırları dışında güney kesimlerde yüzlek veren Çetmi ofiyolitik melanji ile temasından kaynaklanabilir. En yüksek Zn konsantrasyonu SRK-3'te ölçülen 2600 mg/l olup, tüm Zn değerleri içme suyu limit değerlerinin altındadır (Şekil 174).

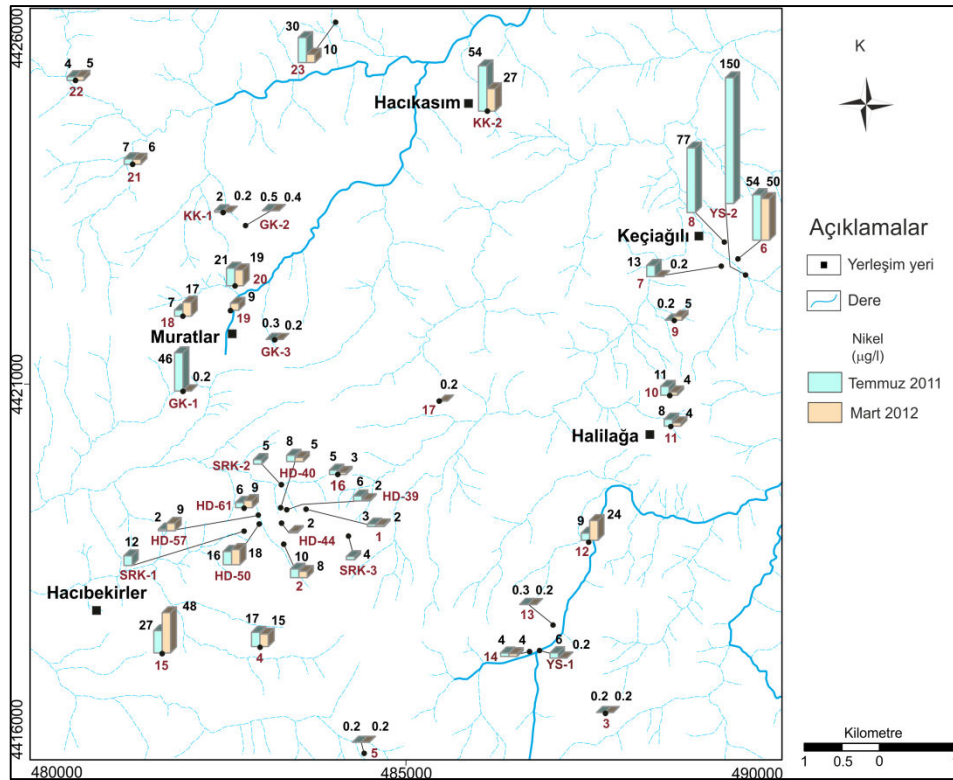


Şekil 171. Su noktalarının Fe konsantrasyonları.

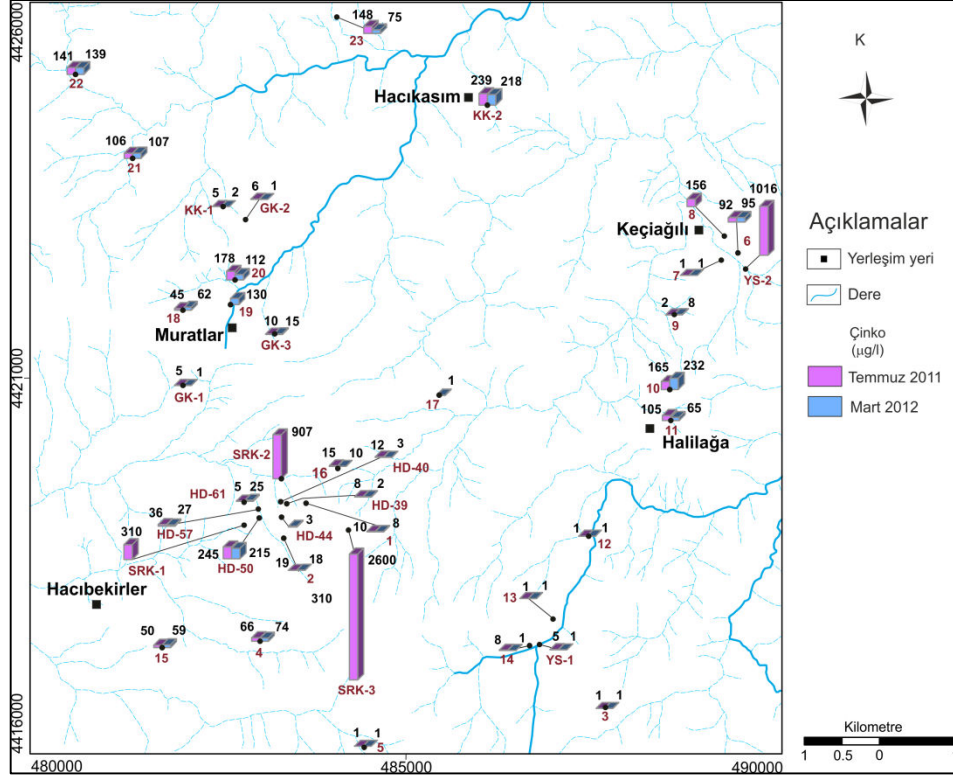




Şekil 172. Su noktalarının Mn konsantrasyonları.



Şekil 173. Su noktalarının Ni konsantrasyonları.



Şekil 174. Su noktalarının Zn konsantrasyonları.

AMG'leri pirit cevherleşmesine bağlı  $H_2S$ 'in  $SO_4$ 'a yükseltgenmesiyle, yüksek miktardaki  $SO_4$  ve  $H_2SO_4$  oluşumuna bağlı olarak artan yüksek EC ve düşük pH değerleri ile karakterize olan sulardır. Göllerde oluşan su kalitesi, bu göllerin çeşitli amaçlarla boşaltılmaları ve akış aşağılarındaki içme-kullanma ve sulama suyu temini yapılan diğer su kaynaklarını etkileme olasılıkları göz önüne alınarak hem içme suyu standartları hem de SKKY (2004) ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, çalışma alanındaki asidik göllerin çok ciddi kirlilik içeren ve hiçbir surette içme suyu olarak kullanımı mümkün olmayan sular olduğu görülmüştür. Bu göllerin boşaltılmaları durumunda öncelikle Etili köyü, daha sonra da Çan ilçe merkezinin su kaynaklarını etkilemesi olasılık dahilindedir. Bölgede içme suyunu sağlayan kaynaklar asit maden göllerinin mansap kesiminde yer almaktadır.

#### 4.4.3. Su noktalarının izotopik özellikleri

Bir elementin atom numarası aynı, fakat farklı kütle numarasına sahip atomlarına "izotop" denir. İzotopların kimyasal bileşimleri aynı olmasına karşın, kütlelerinde

farklılıklar vardır (Hoefs, 1997). İzotoplar genel olarak duraylı ve duraysız izotoplar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Duraylı izotoplar, değişik fizikokimyasal olayların (örn: buharlaşma ve yoğunlaşma) etkilerine rağmen, zaman içinde değişim göstermeyen, bozuşmayan izotoplardır. Duraysız izotoplar ise radyoaktif bozuşma yolu ile ( $\alpha$ -bozuşması,  $\beta$ -bozuşması, nükleer füzyon gibi) başka elemente dönüşen izotoplardır.

Hidrolojik döngü içerisindeki suda doğal olarak bulunan izotoplar 1950'li yılların başından beri yeraltı suyu ve yüzey suyu sistemleri üzerinde yapılan araştırmalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda T ve karbon ( $\delta^{14}\text{C}$ ) gibi radyoaktif izotoplar ile  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  gibi kararlı izotoplar kullanılmıştır. T ve  $\delta^{14}\text{C}$  yeraltı suyunun yaşını belirlemede kılavuz niteliğinde iken,  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  yeraltı suyunun kökeninin ve yüzey sularında buharlaşmayı belirlemede kullanılır (Freeze ve Cherry, 1979). Begemann ve Libby (1957) tarafından, Soğuk Savaş dönemindeki nükleer bomba testlerinden sonra T hidrolojide su yaşının tespitinde güvenli sonuçlar vereceği belirtilmiştir. Clark ve Fritz (1997), sudaki izotopların yeraltı suyu kalitesi, jeokimyasal evrim, beslenme prosesleri, su-kayaç ilişkisi, tuzluluk ve kirlilik proseslerinin kökeni hakkında bilgi verdiğini belirtmiştir. Azot 15 ( $\delta^{15}\text{N}$ ), karbon 13 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) ve sülfür 34 ( $\delta^{34}\text{S}$ ) izotopları biyokimyasal değişimler ve su kaynaklarının kirliliğini izlemekte kullanılmaktadır (Tezcan, 2002).

Bu çalışma kapsamında, 2 ayrı dönemde (Temmuz 2011 ve Mart 2012), 40 su noktasından ve yağış (yağmur ve kar) sularından  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  ve T analizleri yapılarak (Çizelge 85; 86), kökenleri, su-kayaç ilişkisi, bağlı yaşları belirlenmiştir.

Çizelge 85. Su noktalarının  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  ve T izotop analiz sonuçları

Örnek no	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)		$\delta^2\text{H}$ (‰)		T (TU)		EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		Cl (mg/l)	
	Tem.11	Mar.12	Tem.11	Mar.12	Tem.11	Mar.12	Tem.11	Mar.12	Tem.11	Mar.12
YS-1	-8,37	-8,73	-50,9	-51,7	7,36	5,71	506	367	20	14
AMG-1	-0,08	-1,65	-12,15	-21,49	10,38	6,23	4180	4320	63	46
AMG-2	-2,32	-4,14	-24,78	-33,13	7,76	6,04	5440	5820	143	97
AMG-3	-2,82	-3,91	-26,87	-33,32	9,21	7,03	2990	3380	69	67
AMG-4	-3,64	-4,74	-30,63	-35,81	8,04	6,53	3070	3240	106	100
AMG-5	-5,67	-7,73	-40,24	-47,23	9,92	5,71	2050	1040	72	54
1	-8,27	-8,75	-49,84	-52,47	2,21	5,21	84	87	13	12
2	-8,3	-8,67	-52,48	-52,12	3,75	5,8	120	114	13	11
3	-8,53	-8,71	-51,45	-51,4	6,72	7,76	450	462	18	12
4	-8,31	-7,37	-50,24	-43,69	3,04	3,88	212	216	12	11
5	-8,41	-8,49	-50,88	-50,91	0,33	-0,36	481	541	24	25
6	-7,41	-7,51	-45,86	-46,64	6,87	3,92	1537	1538	180	180
7	-7,46	-7,35	-46,41	-45,53	5,68	5,88	683	746	46	60

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

8	-7,08	-	-43,8	-	6,45	-	2660	-	170	-
9	-7,77	-7,98	-45,5	-49,2	5,63	7,01	481	336	56	29
10	-8,08	-8,24	-49,31	-51,6	8,47	6,79	199	265	15	15
11	-8,08	-8,25	-48,5	-49,92	4,06	5,83	135	118	14	14
12	-8,51	-8,67	-51,4	-51,05	6,11	4,44	718	838	19	20
13	-8,52	-8,25	-51,42	-49,03	1,17	1,46	442	448	20	21
14	-8,46	-8,51	-52,14	-50,7	0,98	0,04	440	491	18	19
15	-7,38	-8,81	-45,84	-55,79	4,71	5,71	823	985	36	36
16	-8,25	-8,4	-49,8	-49,88	3,24	3,16	105	128	20	23
17	-	-7,75	-	-47,55	-	6,11	-	815	-	43
18	-7,99	-7,84	-46,54	-45,79	2,62	3,42	450	521	61	63
19	-	-8,43	-	-51,07	-	4,02	-	815	-	72
20	-7,45	-8,05	-44,42	-52,26	3,73	5,82	1052	968	85	54
21	-8,11	-8,35	-49,45	-51,09	1,43	0,38	673	746	59	61
22	-8,15	-8,38	-49,07	-51,27	0,5	1,04	488	564	44	44
23	-8,01	-8,62	-49,96	-56,35	1,66	0,62	1425	1621	100	80
GK-1	-6,73	-7,56	-42,81	-45,02	7,01	5,14	675	633	18	12
GK-2	-6,72	-6,87	-41,35	-42,25	1,8	0,42	940	1008	180	190
GK-3	-7,19	-8,47	-44,62	-50,05	4,47	7,02	1440	1255	350	230
HD-39	-8,26	-8,41	-51,11	-50,77	9,78	7,05	137	110	22	14
HD-40	-7,99	-8,33	-49,22	-48,01	7,47	6,64	125	158	19	11
HD-44	-	-8,44	-	-51,02	-	6,25	-	131	-	18
HD-50	-7,86	-8,02	-45,38	-49,3	5,71	5,41	201	288	12	12
HD-57	-9,24	-10,7	-57,59	-69,65	1,05	6,43	2200	1262	22	20
HD-61	-7,52	-8,73	-45,5	-53,9	7,84	6,9	221	111	8,1	7,1
KK-1	-7,53	-8,32	-45,72	-53,23	7,93	6,53	188	77	5,6	6
KK-2	-7,42	-7,68	-46,17	-48,36	7,22	5,54	532	567	54	42

Çizelge 86. Kar ve yağmur örneklerinin  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  ve T izotop analiz sonuçları

Yağış türü	Örnekleme tarihi	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	T (TU)
Kar	06.03.2012	-9,84	-58,24	8,62
		-10,1	-55,91	8,12
Yağmur	19.05.2012	-5,91	-38,29	-
	01.12.2012	-4,96	-25,06	-

**4.4.3.1. Oksijen 18 ve döteryum**

Oksijen yer kabuğunda en fazla rastlanan elementtir ve genellikle kayaç rezervuarlarında daha yüksek miktarda bulunmaktadır (Clark ve Fritz, 1997).  $\delta^{18}\text{O}$ 'in tersine,  $\delta^2\text{H}$  genelde mineral ve kayaçlardan çok sularda bulunmaktadır. Su, zemin yüzeyinden aşağıya doğru hareket etmeye başladığında  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  konsantrasyonları artık yeraltı su kütlelerinin karakteristik özelliği olur. Sudaki  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  analizleri ile hidrolojik sistemlerin kaynak alanları ve karışma paternleri ortaya konabilir.

Yağmur, kar, göl ve nehir suları ile yeraltı suyu gibi yüzeysel kaynaklı olan ve tuzlu olmayan sular meteorik sular olarak adlandırılmaktadır. Bütün bu sular içerisindeki  $\delta^{18}\text{O}$

ve  $\delta^2\text{H}$  izotop değişimi son derece sistematik bir şekilde gelişir. Craig (1961), yükseklik ile  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  izotop derişiminin ters orantılı olduğunu belirtmiştir. Yükseklik arttıkça suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri sistematik olarak azalır. Bu sistematik değişim her iki izotop arasında da bir lineer ilişkinin gelişmesine yol açmıştır (Craig, 1961).

$\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  izotopları, SMOW (Standart Mean Ocean Water) standardına göre  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ve  $^2\text{H}/^1\text{H}$  orantılarının farkları olarak, binde (‰) ile ifade edilir ve değeri mutlak bir orantıyı göstermez; örnek ile standart arasındaki görelî bir sapmayı temsil eder (Craig, 1961).  $\delta^2\text{H} = +10$  değerinin anlamı, örnek  $\delta^2\text{H}$  bakımından SMOW'dan ‰ 10 zengin demektir. Negatif değerlerse, SMOW'a göre örnekteki izotopların görelî tükenişini gösterir. Günümüzdeki okyanus suyunun izotopik bileşimi, SMOW standardında sabittir (Craig, 1961).

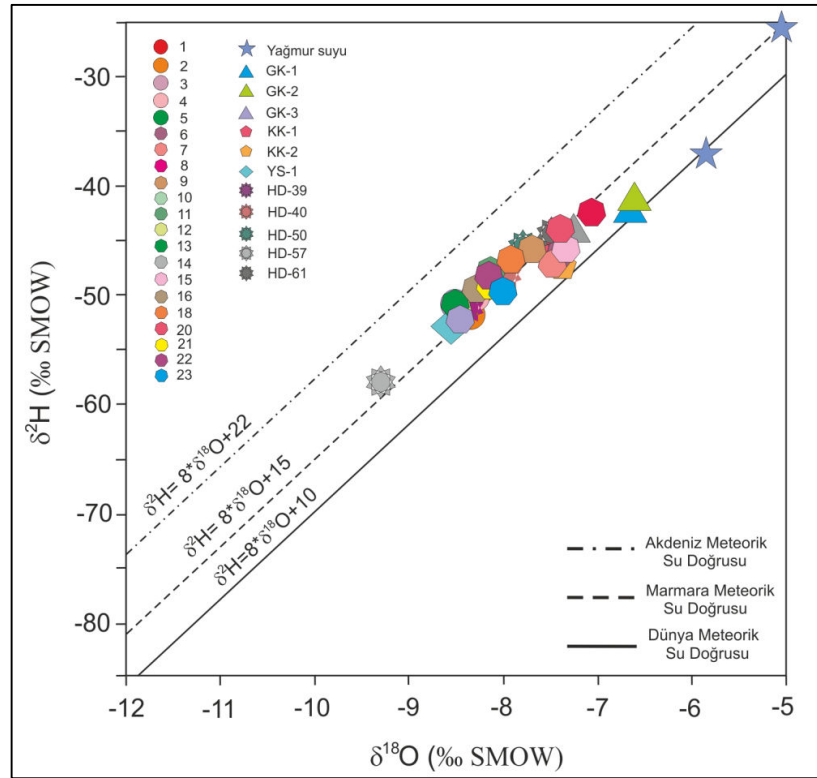
Meteorik suların izotopik değişimleri son derece sistematik olup, MWL (Meteoritic Water Line) olarak ifade edilen doğrusal bir hatla gösterilir [14] (Craig, 1961).

$$\delta(\text{‰})^2\text{H} = 8 * \delta(\text{‰})^{18}\text{O} + 10 \quad [14]$$

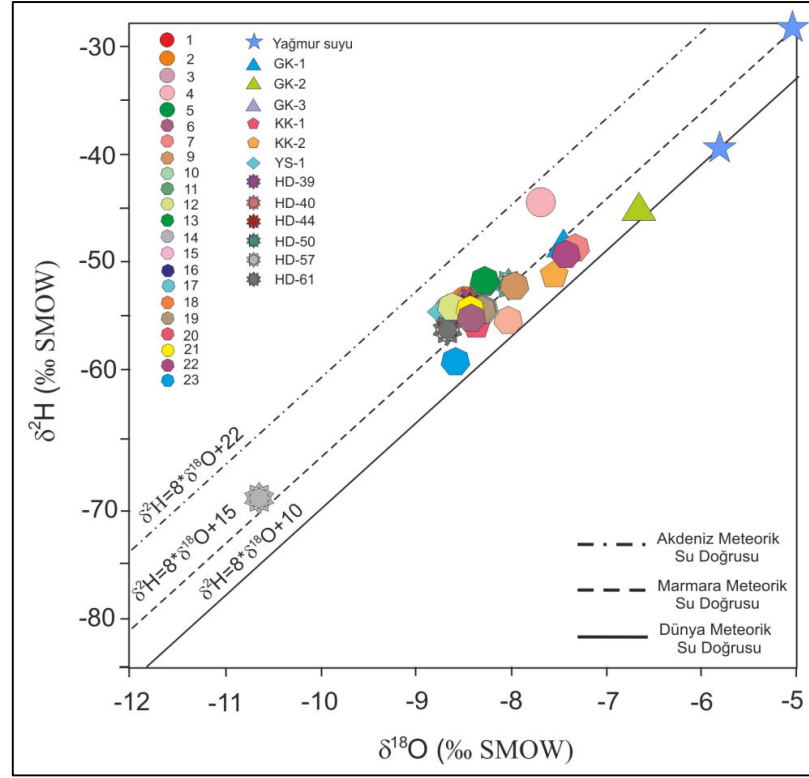
Bu çalışmada  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  izotopların birbirleriyle olan ilişkisini belirlemek amacıyla referans olarak Craig (1961)'in belirlediği  $\delta^2\text{H} \text{‰} = 8 * \delta^{18}\text{O} \text{‰} + 10$  Dünya meteorik su doğrusu, Eisenlohr (1997)un Armutlu Yarımadası çevresinde yaptığı çalışmada Marmara Bölgesi için belirlediği meteorik su doğrusu  $\delta^2\text{H} \text{‰} = 8 * \delta^{18}\text{O} \text{‰} + 15$ , Gat ve Garni (1970)'nin Akdeniz Bölgesi için belirlediği meteorik su doğrusu  $\delta^2\text{H} \text{‰} = 8 * \delta^{18}\text{O} \text{‰} + 22$  kullanılmıştır.

Meteorik su herhangi bir yaşta olabilen ve yağışlar sonucu ortaya çıkan sudur. Yağmur, kar, göl ve nehir ve çoğu yeraltı suyu meteorik sular grubuna girmektedir. Yıllık ortalama yağışın izotop kompozisyonu büyük ölçüde yerel hava sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklık ne kadar düşükse ağır izotop bileşimi de o kadar düşük olmaktadır ( $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  soğuk bölgelerde daha negatif değerler almaktadır). Yağmur suyunun  $\delta^{18}\text{O}$  değeri, Kanarya adalarında -3 ‰, Larderello jeotermal sahasında -6,5 ‰ ve Yellowstone doğal parkında ise -18,5 ‰'dir (Mutlu, 2005). Çalışma alanında farklı dönemlerde örnekleme yapılan yağmur sularının  $\delta^{18}\text{O}$  değeri -4,96 ile -5,91 ‰'dir.

Su noktalarındaki  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri sırasıyla -10,7 ile -0,08 ve -69,65 ile -12,25 ‰ arasında değişmektedir. Bu değerler, yağmur sularının  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerinden düşük olup, kar sularının  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ile uyumludur.  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  korelasyonunda, tüm su noktalarının Marmara meteorik su doğrusu ile Dünya meteorik su doğrusu arasında oldukları tespit edilmiştir (Şekil 175 ve 176). Çalışma alanında örnekleme yapılan tüm su noktaları meteorik kökenlidir. Mayıs 2012'de alınan yağmur örneği  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  izotop değerlerine göre Dünya Meteorik su doğrusu üzerinde, Aralık 2012'de alınan yağmur örneği  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  izotop değerlerine göre Marmara Meteorik su doğrusu üzerinde çıkmıştır. Temmuz 2011 ve Mart 2012 döneminde su noktalarının  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  korelasyonunda sırasıyla % 91 ve % 87'lik anlamlı değer saptanmıştır. Beslenme alanları aynı olan ya da aynı tür yağışlardan beslenen akifere ait örnekler  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  grafiği üzerinde birbirine uyumludur. Çalışma sahasının jeolojisi göz önüne alındığında su noktaları meteorik kökenli sularla beslenmesine karşın, hidrotermal suların etkisi göz ardı edilmemelidir.



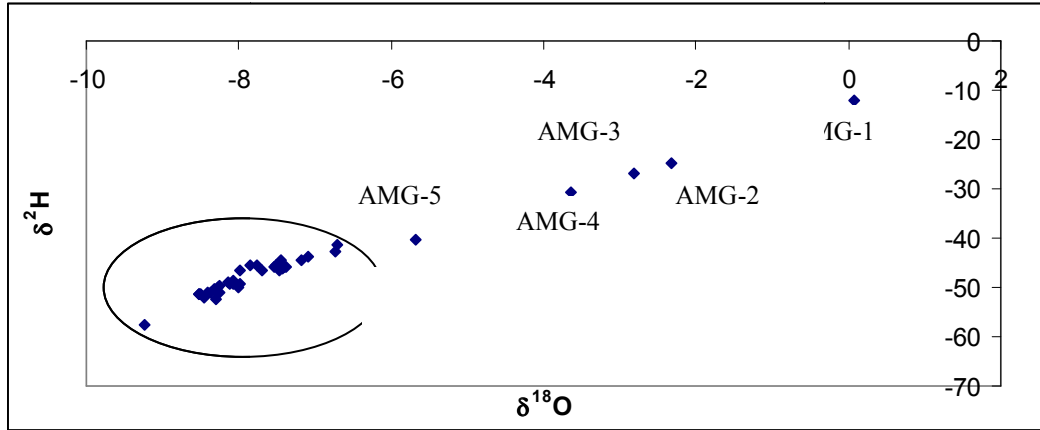
Şekil 175. Su noktalarının  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  korelasyonu (Temmuz 2011).



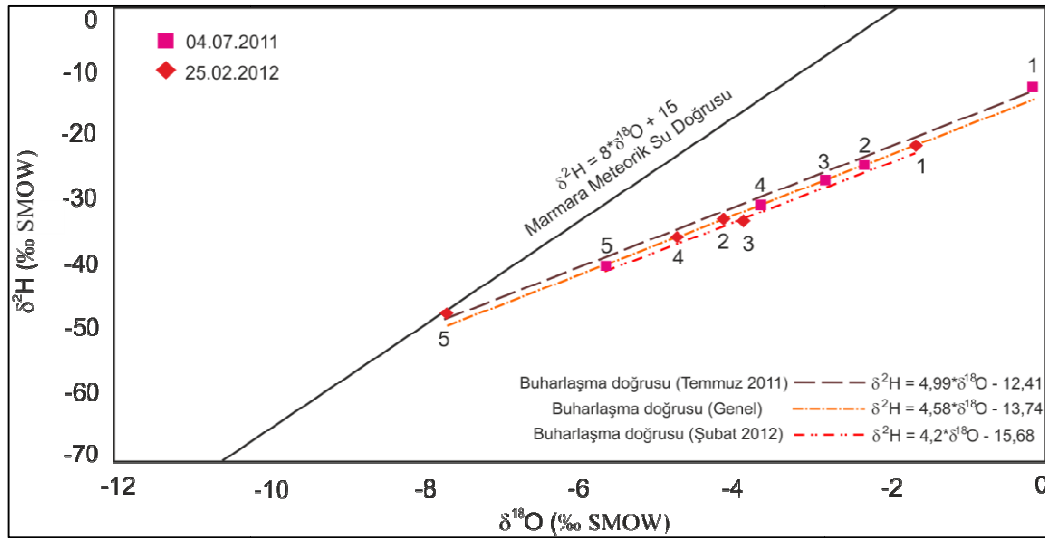
Şekil 176. Su noktalarının  $\delta^{18}O$ - $\delta^2H$  korelasyonu (Mart 2012).

Asit maden gölleri ile örnekleme yapılan diğer 38 su noktasının  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^2H$  değerleri arasında lineer bir ilişki söz konusudur. Atmosferik koşullarla sürekli temas halinde olan asit maden göllerinin  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^2H$  değerleri, diğer su noktalarına nazaran daha pozitiftir (Şekil 177).

Asit maden göllerinin  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^2H$  izotopları arasında Temmuz 2011 ile Mart 2012 dönemlerinde sırasıyla % 99 ve % 98'lik güçlü bir korelasyon saptanmıştır. Asit maden gölleri buharlaşma doğrusu üzerinde dizilmiştir (Şekil 178). Yaz döneminde artan buharlaşma ile birlikte asit maden göllerinin  $\delta^{18}O$  değerlerinde pozitif sapma gözlenmektedir. Buharlaşma etkisinin en fazla görüldüğü, Marmara meteorik su doğrusundan en uzakta olan su noktası AMG-1'dir. Bu göl 1989 yılından beri boşaltılmamıştır. AMG-1'de, buharlaşma, yağış katkısından çok daha büyük olup, su-kayaç etkileşimi de diğer göllere göre daha fazladır. Buharlaşmadan en az etkilenen göl ise AMG-5'tir. Dere yatağında bulunan AMG-5 yüzey suları ile sürekli etkileşim içindedir.



Şekil 177. Asit maden gölleri ile örnekleme yapılan diğer su noktalarının Temmuz 2011 dönemine ait  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  korelasyonu.



Şekil 178. Asit maden göllerinin  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  korelasyonu.

#### 4.4.3.2. Tritiyum

Hidrojeolojide en yaygın olarak kullanılan radyoaktif izotop T'dur. T'un yarılanma ömrü; 12,30 (Criss, 1999), 12,32 (Lucas ve Unterwegger, 2000), 12,34 (Moran ve Hudson, 2005), 12,4 (Motzer, 2003) ya da 12,41 yıldır (Michel, 2004) ve hidrojeolojide yeraltı sularının bağlı yaşının belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır. T atomları doğada  $1 \cdot 10^{-15}$  oranında bulunur. Su içerisindeki T konsantrasyonu; T birimi (tritium unit) "TU" olarak ifade edilir ve  $10^{18}$  hidrojen atomuna karşı bir tritium atomunun bulunması 1 TU



olarak tanımlanır (Özen ve Tarcan, 2009). T, atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşiminden doğal olarak oluşmaktadır.

T, doğal oluşumunun yanı sıra antropojenik kökenli olarak termonükleer denemeler ve reaktör kazaları sonucunda yağışlara girerek hidrolojik çevrime katılır. Özellikle 1952'den sonra başlayan nükleer testleri takiben artan T oranı, 1963'te bu testlerin durdurulmasından sonra giderek azalmaya başlamıştır. Kuzey yarım kürenin atmosfer tabakasına enjekte edilen yüksek miktardaki T'un aşamalı olarak troposfer tabakasına geçmesiyle 1953 yılından sonra yağışların T konsantrasyonlarında artış gözlenmiştir (Altay ve Çifter, 1996). 1960'lı yılların ortasında biten nükleer denemeler neticesinde antropojenik kökenli T'un miktarı 10000 TU değerlerine kadar ulaşmıştır (Butler, 2007). Motzer (2003), 1963 yılında nükleer bomba testleri sonucunda T konsantrasyonunun maksimum pik değerine ulaşarak yaklaşık  $1,13 \times 10^9$  TU kuzey yarım küreye eklendiğini belirtmiştir. Ankara, Antalya ve Adana yağış istasyonlarından 1963 yılında alınan numunelerin T konsantrasyonları sırasıyla 2585 TU, 710 TU ve 1150 TU'dur ve azalmaya devam etmektedir (Mook, 2002).

Doğal atmosferik üretilen T değeri 5-15 TU arasında ve enleme bağlı olarak değişim göstermektedir (Butler, 2007). Top (2008), coğrafi konumuna bağlı olarak sulardaki T konsantrasyonu 5-20 TU arasında olduğunu, Rose (2007) ise yeraltı sularındaki T miktarının 15-30 TU arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Yıldırım ve Güner (2002), doğal yoldan atmosfere yayılan T'un yağış suyundaki eş değerinin 10 TU olduğunu belirtmiştir. T yağışlara karışarak yer altına süzöldükten sonra uzun yıllar yeraltında bekler ve başka bir suyla karışmazsa konsantrasyonu zamanla azalır.

Clark ve Fritz (1997), sudaki T miktarının değerlendirilmesinin 50 yıldan daha genç suların yaş tayininde etkili bir yöntem olduğunu belirtmiştir. Bu düşünceden yola çıkarak yeraltı suyunun yaşının belirlenmesinde nitel bir formül hesaplamışlardır [15].

$$\text{Yeraltısuyunun yaşı} = -17,93 \times \ln \left( \frac{T_{\text{son}}}{T_{\text{ilk}}} \right) \quad [15]$$

Clark ve Fritz (1997) eşitliğine göre çalışma alanındaki su noktalarının göreceli yaşı hesaplanmıştır (Çizelge 87). Hesaplama yapılırken,  $T_{\text{ilk}}$  değeri; Yıldırım ve Güner (2002)'in tanımlaması ve su noktalarının analiz sonuçlarına göre 10 TU kabul edilmiştir. Çalışma

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

alanında bulunan su noktalarının göreceli yaşı Temmuz 2011 verilerine göre 0,14 ile 61,16 yıl, Mart 2012 verilerine göre 6,31 ile 98,99 yıl yaş aralığındadır.

Çalışma alanında yer alan su noktalarının T izotopu içerikleri 0,04 ile 10,38 TU arasında değişmektedir. Su noktalarının T değerinin azalması suyun akifer içerisinde geçirdiği sürenin ve derinliğin arttığını belirtmektedir. T- $\delta^{18}\text{O}$  ilişkisi, suların beslenme kotları ile akifer içindeki kalış süreleri arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. Şekil 179 ve 180'deki T- $\delta^{18}\text{O}$  grafiğinde 5, 13, 14, 21, 22, 23 no'lu kaynakların düşük T ve düşük  $\delta^{18}\text{O}$  içeriği sebebiyle, diğer su noktalarına oranla yeraltında daha uzun süre kaldığını ya da daha derin dolaşıma sahip olduğunu göstermektedir.

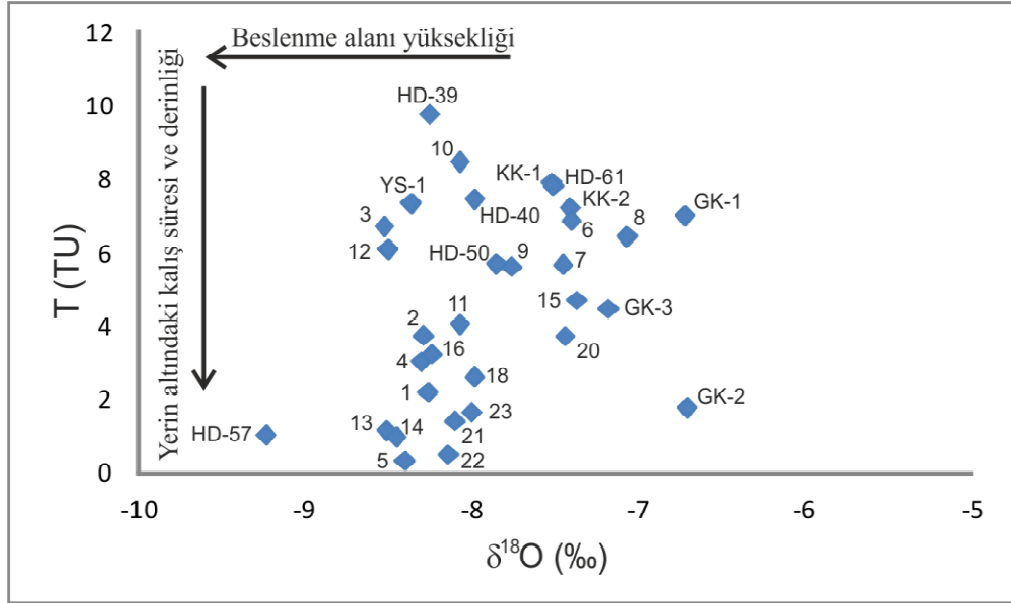
Çizelge 87. Su noktalarının T (TU) değerlerine göre göreceli (bağıl) yaşları

Su noktası	Temmuz-2011	Clark ve Fritz, 1997		Mart-2012	Clark ve Fritz, 1997	
		Göreceli yaş	Yıl		Göreceli yaş	Yıl
YS-1	7,36	5,49	2006,2	5,71	10,04	2002,25
AMG-1	10,38	-	2012,36	6,23	8,48	2003,81
AMG-2	7,76	4,54	2007,15	6,04	9,03	2003,26
AMG-3	9,21	1,47	2010,22	7,03	6,31	2005,98
AMG-4	8,04	3,91	2007,78	6,53	7,64	2004,65
AMG-5	9,92	0,14	2011,55	5,71	10,04	2002,25
1	2,21	27,06	1984,63	5,21	11,69	2000,6
2	3,75	17,58	1994,11	5,8	9,76	2002,53
3	6,72	7,12	2004,57	7,76	4,54	2007,75
4	3,04	21,34	1990,35	3,88	16,97	1995,32
5	0,33	61,16	1950,53	-	-	-
6	6,87	6,73	2004,96	3,92	16,79	1995,5
7	5,68	10,14	2001,55	5,88	9,52	2002,77
8	6,45	7,86	2003,83	-	-	-
9	5,63	10,3	2001,39	7,01	6,36	2005,93
10	8,47	2,97	2008,72	6,79	6,94	2005,35
11	4,06	16,16	1995,53	5,83	9,67	2002,62
12	6,11	8,83	2002,86	4,44	14,55	1997,74
13	1,17	38,47	1973,22	1,46	34,49	1977,8
14	0,98	41,64	1970,05	0,04	98,99	1913,3
15	4,71	13,49	1998,2	5,71	10,04	2002,25
16	3,24	20,2	1991,49	3,16	20,65	1991,64
17	-	-	-	6,11	8,83	2003,46
18	2,62	24,01	1987,68	3,42	19,23	1993,06
19	-	-	-	4,02	16,33	1995,96
20	3,73	17,68	1994,01	5,82	9,7	2002,59
21	1,43	34,87	1976,82	0,38	58,63	1953,66
22	0,5	53,71	1957,98	1,04	40,58	1971,71
23	1,66	32,19	1979,5	0,62	49,85	1962,44
GK-1	7,01	6,36	2005,33	5,14	11,93	2000,36
GK-2	1,8	30,74	1980,95	0,42	56,83	1955,46
GK-3	4,47	14,43	1997,26	7,02	6,34	2005,95
HD-39	9,78	0,39	2011,3	7,05	6,26	2006,03

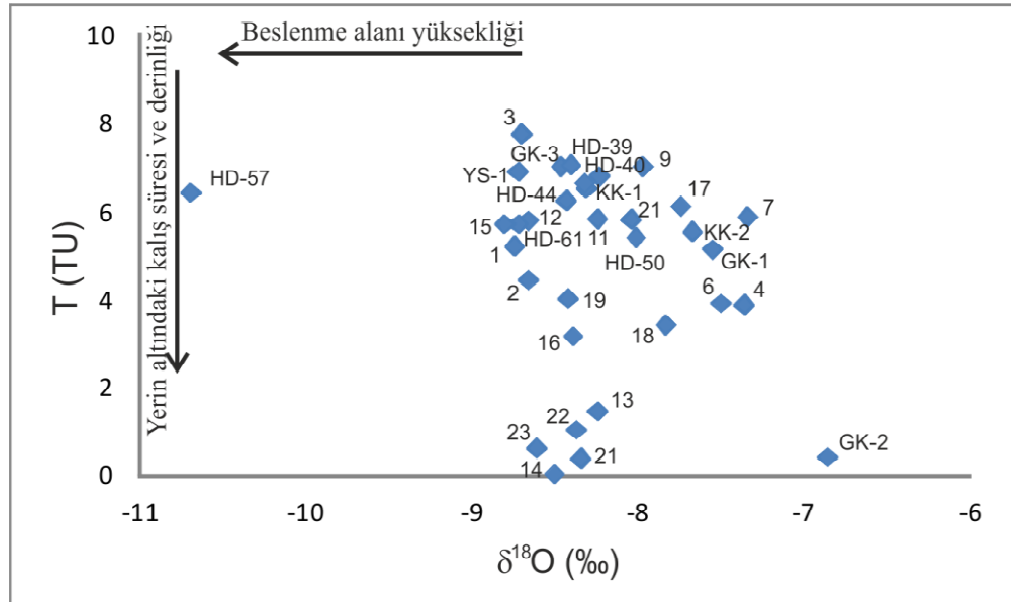
## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

HD-40	7,47	5,23	2006,47	6,64	7,34	2004,95
HD-44	-	-	-	6,25	8,42	2003,87
HD-50	5,71	10,04	2001,65	5,41	11,01	2001,28
HD-57	1,05	40,41	1971,28	6,43	7,91	2004,38
HD-61	7,84	4,36	2007,33	6,9	6,65	2005,64
KK-1	7,93	4,15	2007,54	6,53	7,64	2004,65
KK-2	7,22	5,84	2005,85	5,54	10,58	2001,71



Şekil 179.  $\delta^{18}\text{O}$ -T korelasyonu (Temmuz 2011).

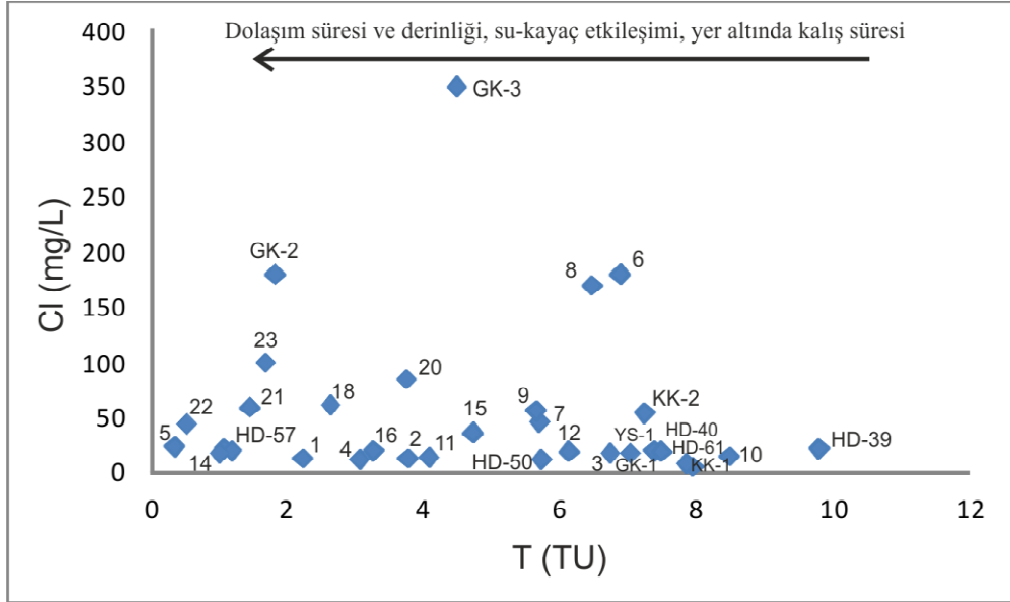


Şekil 180.  $\delta^{18}\text{O}$ -T korelasyonu (Mart 2012).

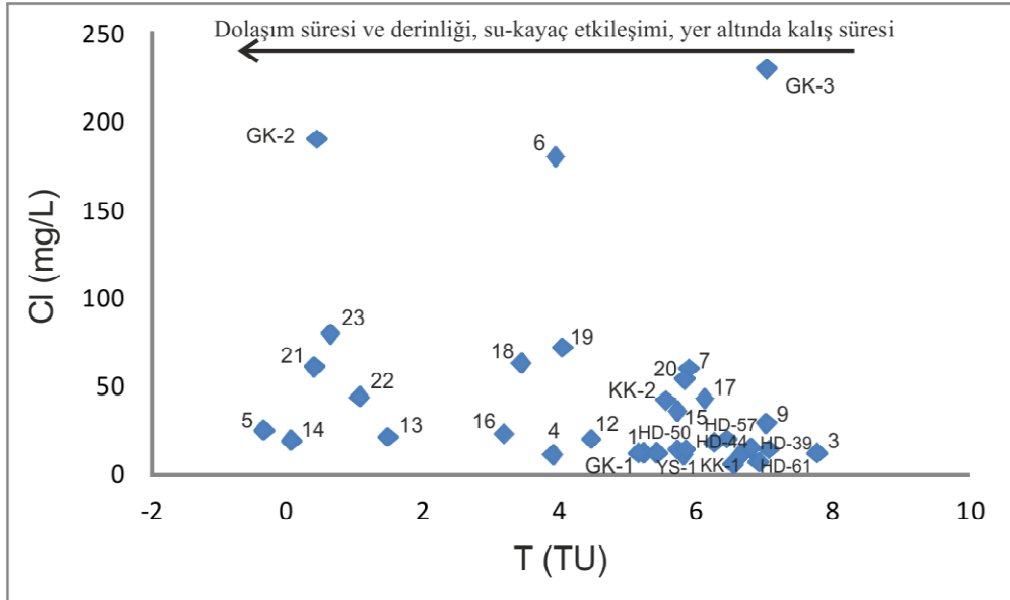
## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Çalışma alanındaki HD-39, HD-40, HD-61 no'lu araştırma sondajları, KK-1 no'lu keson kuyu, GK-1 no'lu gözlem kuyusu, YS-1 no'lu yüzey suyu ve 3, 7, 10, 12 no'lu kaynaklar yüksek T ve düşük Cl içeriğine sahip olup, güncel yağışların karıştığı sulardır (Şekil 181; 182).

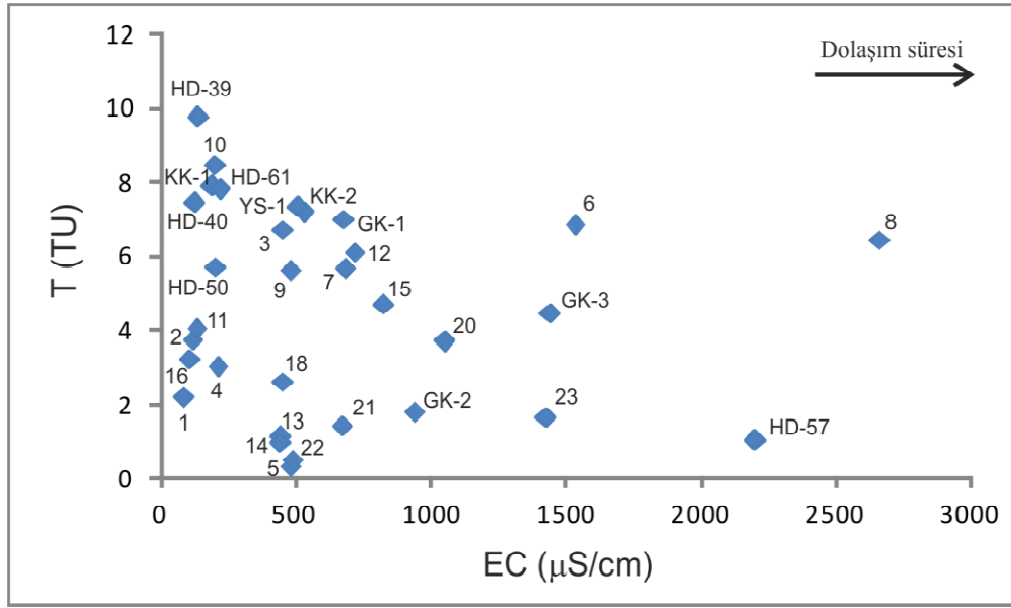


Şekil 181. T-Cl korelasyonu (Temmuz 2011).

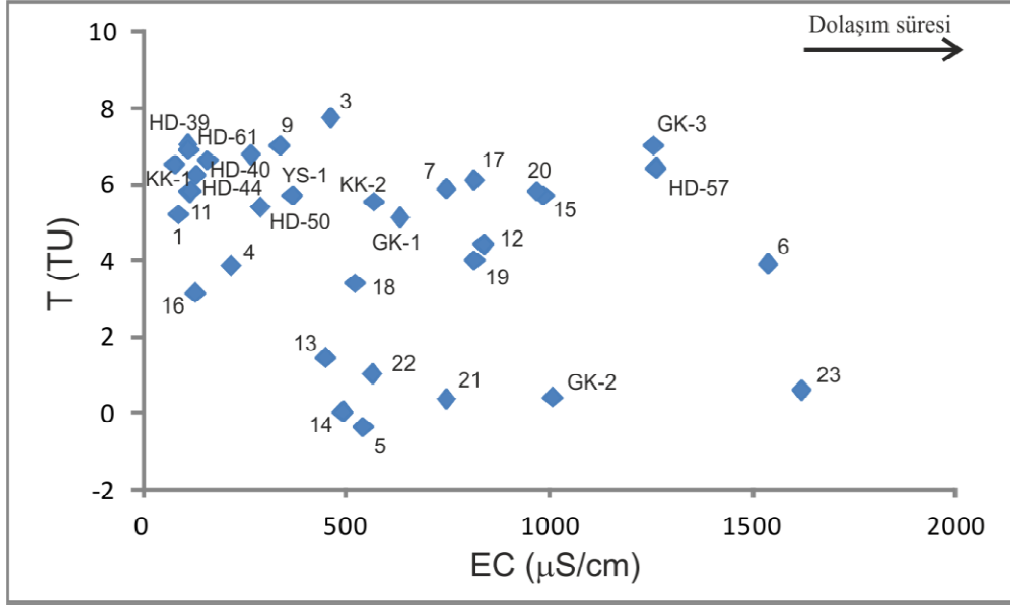


Şekil 182. T-Cl korelasyonu (Mart 2012).

Suların yerin altında dolaşım derinliği elektriksel iletkenlik değerleri ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Su-kayaç etkileşimine uzun süre maruz kalan sular yüksek EC değerine sahiptir. Suyun yeraltında kalış süresinin uzunluğu ise T değerini azaltmaktadır. T- $\delta^{18}\text{O}$  grafiğine göre yerin altında dolaşım süresi fazla olarak belirlenen 5, 13, 14, 21, 22, 23 no'lu su kaynaklarının, T-EC korelasyonuna göre en yaşlıdan gence göre sıralaması 23, 21, 5, 22, 14, 13 şeklindedir (Şekil 183; 184). Diğer su noktalarının dolaşım süresi daha kısadır.

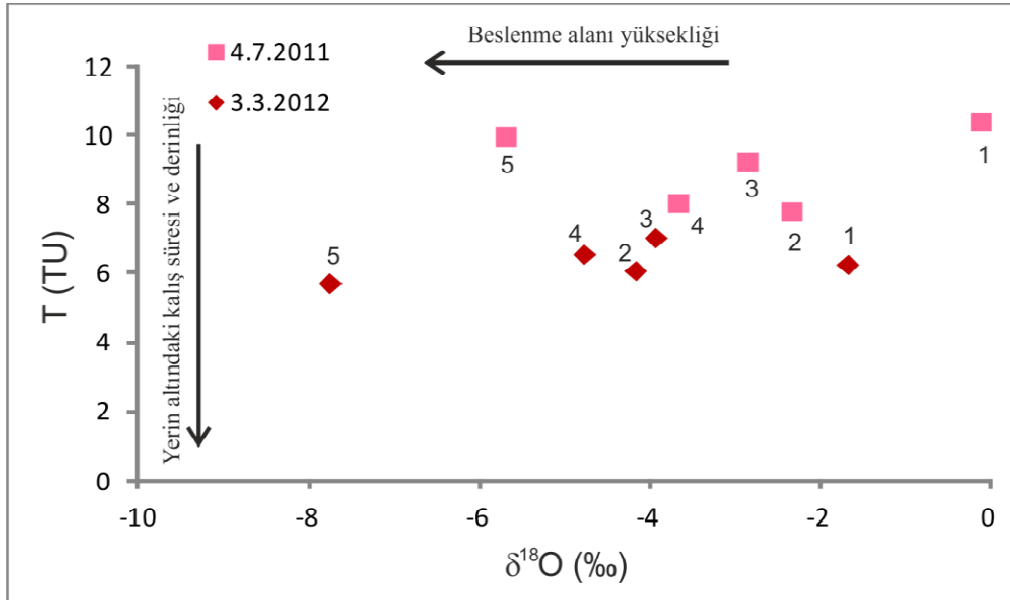


Şekil 183. T-EC korelasyonu (Temmuz 2011).



Şekil 184. T-EC korelasyonu (Mart 2012).

Asit maden göllerinin en önemli su kaynağı güncel yağışlardır. T değerleri Temmuz 2011'de 8,04 ile 10,38 TU, Mart 2012'de 5,71 ile 7,03 TU aralığında ölçülmüştür (Şekil 185). Asit maden göllerinin atmosferle temas halinde olması ve atmosferik koşullardan diğer su noktalarına oranla daha fazla etkilenmesi nedeniyle T değerleri yüksektir.

Şekil 185. Asit maden göllerinin  $\delta^{18}\text{O}$ -T korelasyonu.

**4.4.3.3. Sülfatta  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^{34}\text{S}$  izotopları**

Sülfür ve oksijen izotopları oksidasyon işlemlerinin direkt tanıklarındır (Balcı ve ark., 2006). Magmatik kayalar ve Prekambriyen yaşlı kayalar içindeki kükürdün izotopsal bileşiminin standart olarak kullanılan Canyon Diablo Troilit Meteoriti içinde belirlenen kozmik kükürdün izotopsal bileşimine çok yakın olması nedeniyle yerkabuğundaki kükürdün ilksel izotopik bileşiminin  $\delta^{34}\text{S}$  CDT 0 ‰'a çok yakın olduğu ve jeolojik devirler boyunca değişik süreçlerle bu kükürdün deniz suyu içindeki  $\text{SO}_4^{2-}$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  ile değişik sülfatlı ve sülfütlü mineraller arasında paylaşılması sonucu bugün gözlenen farklılıkların geliştiği bilinmektedir (Rye ve Ohmoto, 1974; Ohmoto ve Rye, 1979; Fuare 1986; Hoefs, 1987). Bu paylaşılma sırasında kükürdün ağır ve hafif izotoplarının jeokimyasal ve fizikokimyasal süreçler boyunca farklı davranmaları nedeni ile oluşan değişik kükürt içeren bileşikler farklı izotop değerleri sergilemektedir. Örneğin, deniz suyu içindeki  $\text{SO}_4$ 'ın ve sülfatlı minerallerin yapısında  $^{34}\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  ve sülfütlü minerallerin yapısında ise  $^{32}\text{S}$ 'ün zenginleşmesi ortaya çıkmaktadır. Deniz suyu içindeki  $\text{SO}_4^{2-}$  yapısındaki kükürdün izotopsal bileşimine göre bu  $\text{SO}_4^{2-}$ 'tan üretilen  $\text{H}_2\text{S}$  in yapısındaki kükürdün izotopsal bileşimi 50 kadar daha hafif olabilmektedir ( $^{32}\text{S}$  zengin). Düşük sıcaklık koşullarında bu farklılaşmada bakteriyel süreçlerin etkili olduğu, yüksek sıcaklık koşullarında ise  $\text{SO}_4^{2-}$   $\text{Fe}^{2+}$  ve değişik sülfatlı ve sülfürlü mineraller arasında gelişen inorganik reaksiyonların etkili olabileceği düşünülmektedir (Rye ve Ohmoto, 1979, Hoefs, 1987).

Bakteriyel faaliyetlerin eşlik ettiği/katalizör görevi üstlendiği jeokimyasal reaksiyonlarda kükürt izotopları arasında önemli farklılaşmalar olmaktadır. Mikroorganizmalar, hafif kükürt izotopunu içeren moleküllerin kolaylıkla parçalanması nedeni ile bu molekülleri tercih ederek, oluşan ürün ile reaktif arasında kinetik izotopik ayırılma olarak adlandırılan bir ayırılma meydana gelmesine neden olur. Mikrobiyal faaliyetlerin aksine, inorganik reaksiyonlarla gelişen farklılaşımında ise  $^{32}\text{S}$ -O arasındaki bağın  $^{34}\text{S}$ -O arasındaki bağa göre daha kolay parçalanmasının ve  $^{34}\text{S}$ 'ün yüksek oksidasyon dereceli bileşiklerin yapısına girme eğiliminin etkili olduğu kabul edilmektedir (Hoefs, 1987).

Yerkabuğundaki  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$  oranı 22,21 ‰, günümüz deniz suyu  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$  oranı ise 21,76 ‰ değerindedir (Özgüner, 2005).  $\delta^{34}\text{S}$  değerleri; magmatik kayalarda 0 ‰'a yakın, deniz suyu içindeki sülfatta +18 ile + 20 ‰ arasında, sülfatlı minerallerde +5 ile +25 ‰ arasında,

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

bakteriyel/biyolojik kökenli ise -10 ‰'dan az, sedimanter ve metamorfik kayalarda ise çok daha geniş aralıklarda gözlenmektedir (Hoefs, 1987). Ohmoto ve Rye (1979),  $\delta^{34}\text{S}$  ‰ değerlerinin meteoritlerde sıfır ve sıfıra yakın, magmatik kökenli sülfidlerde -10 ile 10 arasında, sedimanter sülfidlerde ise -40 ile 20 arasında geniş bir aralıkta bulunurken çoğunlukla negatif değerde ortaya çıktığını belirtmiştir.

Arazide tespit edilen jips oluşumları üzerinde gerçekleştirilen kükürt izotop sonuçları bölgede genel olarak asit göllerine kaynak olan pirit ve kükürt izotop değerlerine oldukça yakındır (Çizelge 88). Piritin oksitlenerek sülfatı oluşturması sırasında kükürt izotop değerleri arasında önemli bir farklılaşma gerçekleşmediği için, sülfatın  $\delta^{34}\text{S}$  değerleri kendine kaynak olan sülfür minerallerinin  $\delta^{34}\text{S}$  izotop değerlerini yansıtmaktadır. Bu nedenle, arazide yaygın olarak tespit edilen ikincil olarak oluşan jips minerallerindeki sülfatın kaynağının pirit olduğunu önermektedir.

Çizelge 88. Farklı litolojilere ait  $\delta^{34}\text{S}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri

Örnek adı	Litoloji	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)
Pirit	Çan formasyonu, kömür	-	-13,4
Sülfür	Çan formasyonu, jarosit	-	-15,9
Jips	Çan formasyonu	-1,8	-10,4
Sülfür	Çan formasyonu, jarosit	-	-15,9
Pirit	Çan volkanitleri, andezit	-	0,8

Çizelge 89'de asit maden göllerinden toplanan sülfat iyonu üzerinde gerçekleştirilen S ve O izotop değerlerini göstermektedir. Genelde, AMG-3 no'lu göl hariç, tüm asit göllerinin S izotop değerleri birbirine yakın değerler sergilemektedir.

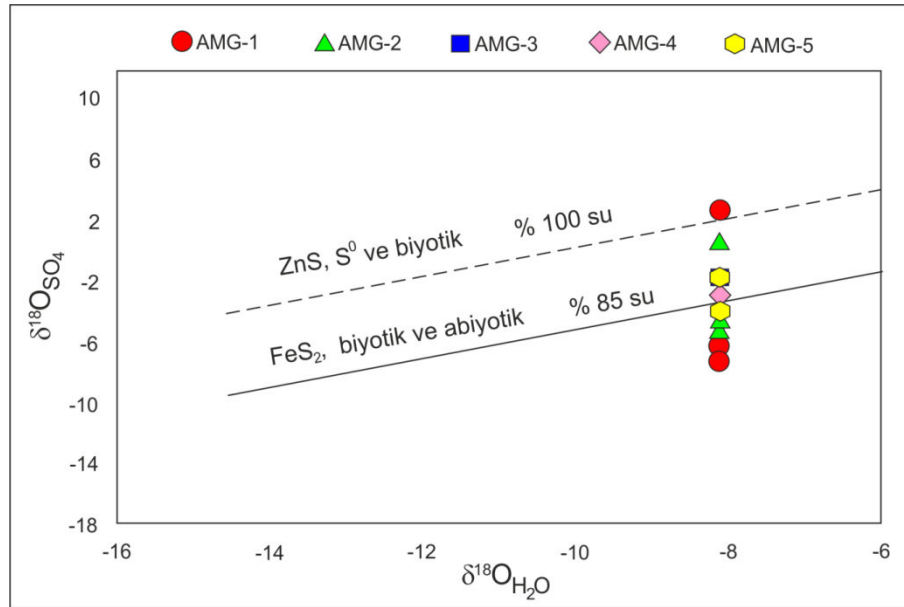
Çizelge 89. Asit maden göllerindeki  $\text{SO}_4$ 'ın  $\delta^{34}\text{S}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri

Örnekleme tarihi	$\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ (‰)					$\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ (‰)				
	AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5	AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5
07.11.2009	-12,7	-12,6	-	-	-	2,5	0,6	-	-	-
27.11.2010	-12,9	-12,8	-	-	-	18	20,6	-	-	-
23.08.2011	-12,3	-12,3	-20,3	-	-13,8	-5,9	-5	-1,7	-2,7	-1,8
26.11.2011	-12,4	-12,2	-20,1	-14	-13,7	-7,3	-4,2	-1,7	-3,2	-4



AMG-3 boşaltıldığı için farklı sülfür döngüsü ile  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$  ‰ değerleri ekstrem değer çıkmıştır. Dinamik ve dengeye ulaşmamış bir sistem olması nedeniyle AMG-3 için kükürt izotop değerleri kullanılarak kökensel yorum yapmak doğru sonuçlar vermeyebilir. Ancak diğer göllerin S izotop değerleri pirit ve kükürt izotop değerleri ile benzerlik sergilemekte ve sülfatın asıl kaynağının pirit olduğunu göstermektedir. Piritin oksitlenmesi ile kükürt ve sülfat oluşmaktadır. Bu saptama, daha önce yapılan çalışmalarla uyumludur (Balcı ve ark., 2007; 2012).

Ayrıca arazide toplanan sülfat örneklerinin S ve O izotop değerleri kullanılarak asit oluşumuna neden olan temel reaksiyonlar belirlenmiştir. Bu amaçla Şekil 186'daki diyagramın çiziminde, çalışma alanındaki tüm su noktalarının ortalama  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  değeri olan -8,13 ‰ tercih edilerek Balcı ve ark. (2012) tarafından, deneysel olarak üretilen diyagram kullanılmıştır. Arazide elde edilen veriler piritin biyolojik oksidasyonu sonucu oluşan çizgi üzerine düşmüştür. Bu sonuçlar, asit maden göllerinin oluşumunda ana etkenin pirit oksidasyonu olduğunu göstermekte olup, S izotop değerleri ile de uyumludur. Diyagrama göre piritin oksidasyonu sonucu kükürt oluşmaktadır, yani kükürdün kaynağı pirittir.



Şekil 186. Pirit, sfalerit ve kükürdün oksidasyonu sonucunda elde edilen  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$  ve  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  doğruları (Balcı ve ark., 2012'den).

**4.5. Asit Kaya/Maden Drenajı Niteliğinin ve Potansiyelinin Kestirimi**

Çok sayıda faktörün karşılıklı etkileşimiyle karmaşık süreçlerde oluşan asit kaya/maden drenajının kestirimi için sürece katkısı olan tüm parametreler ayrı ayrı irdelenmelidir. Maden alanı ve çevresinin jeolojisine, mineralojisine, hidrolojisine, topografyasına ve iklimine ait verilerin bütünüyle değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kestirim için kullanılmakta olan yöntemler arasında ağırlıklı olarak azami asit üretme ve nötrleştirme potansiyelinin hesaplanmasına dayalı, kısa sürede sonuç veren jeokimyasal statik; doğada gerçekleşen süreçlerin laboratuvar ortamında benzeştirilmesiyle (simülasyon) sonuç alınan, ama uzun süren jeokimyasal dinamik (kinetik) testler vardır. Son yıllarda üzerindeki çalışmalar giderek yoğunlaşan jeokimyasal modellemeler, liç (özütleme) testleri, jeostatistiksel modellemeler (3D modelleme) de diğer yöntemler olarak sayılabilir (Karadeniz, 2008).

**4.5.1. Jeokimyasal statik testler**

Statik testler, sülfidik atıkların üretebileceği asit potansiyelinin, atıkların jeokimyasal analizleri kullanılarak tahmin edilme yöntemidir (Sobek ve ark., 1978; Smith ve ark., 1992; Morin ve Hutt, 1997; White ve ark., 1999; Mitchell, 2000; Jambor, 2003; Lottermoser, 2010). Karadeniz (2008) statik testleri, sahayı temsil ettiği kabul edilen numunelerin azami asit üretme ve azami asidi nötrleştirme potansiyellerini kısmen hesaplama, kısmen de test ederek belirlemeyi sonuçta da bulunan değerleri kıyaslayarak asit oluşma ihtimalini tayin etmeyi hedefleyen bir öngörü yöntemi olarak tanımlamıştır.

Lottermoser (2010), asit-baz hesaplama yönteminin 3 bileşenden oluştuğunu belirtmiş ve bunları asit üretme potansiyeli (AÜP), nötrleşme potansiyeli (NP) ve net asit üretimi (NAÜ) ya da tüketiminin hesaplanması olarak tanımlamıştır. Numunenin asit üretme potansiyeli, toplam S içeriği analiz yapılarak hesaplanır (Lottermoser, 2010). Asit üretme potansiyeli hesaplanırken; her bir mol  $\text{CaCO}_3$ 'ün bir mol asit tüketeceği prensibinden yola çıkılmıştır. Kükürdün 1 molü 32 g,  $\text{CaCO}_3$ 'ün 1 molü 100 g'dır, kükürdün  $\text{CaCO}_3$ 'a ağırlıkça oranı  $100/32 = 3,125$ 'tir. Yüzde değeri 10 ile çarpılarak binde değere dönüştürülür. Analizle bulunan kükürdün üreteceği asit miktarını kg  $\text{CaCO}_3$ /ton eşdeğeri olarak ifade etmek için 31,25 katsayısı kullanılmak suretiyle sonuca ulaşılır [16] (Karadeniz, 2008). Nötrleştirme potansiyeli (NP), numunede bulunan asidi nötrleştirme

yeteneğine sahip olan karbonatlı minerallerin ölçüsüdür. NP değeri numunenin asit titrasyonu ile elde edilir. Yöntemde S'in oksitlenmesi sırasında üretilen  $H_2SO_4$ 'den kaynaklanan asit üretme potansiyeli ile toplam nötrleştiriciler (alkalin karbonatlar, bozuşabilen silikatlar ve fosfatlar) denkleştirilir (Karadeniz, 2011). AÜP ve NP için bulunan değerlerin birimleri aynıdır. Net nötrleştirme potansiyeli (NNP) AÜP değerinin NP değerinden çıkarılması ya da oranlanması ile bulunur [17] (Karadeniz, 2008).

$$AÜP \text{ (kg CaCO}_3\text{/ton)} = 31,25 * \% \Sigma S \quad [16]$$

$$NNP = NP - AÜP \text{ veya } NNP = NP/AÜP \quad [17]$$

Statik testlerde tane boyutu, kullanılan asidin miktarı ve türü, bekleme süresi, sıcaklık, nihai pH en önemli değişkenlerdir. Her testin kendine özgü bir yöntemi vardır. Bu doktora tezi kapsamında ABD ve Kanada'da yaygın olarak tercih edilen standart ABH ve pH6 testi ile Avustralya'da tercih edilen NAÜ testi yapılmıştır. Ayrıca minerallerin suyla ilk teması ile gösterecekleri davranışı temel alan çamur pH'ı testi de yapılmış ve elde edilen sonuçlar detaylı olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 90).

Çizelge 90. Çalışma kapsamında uygulanan jeokimyasal statik test metotları

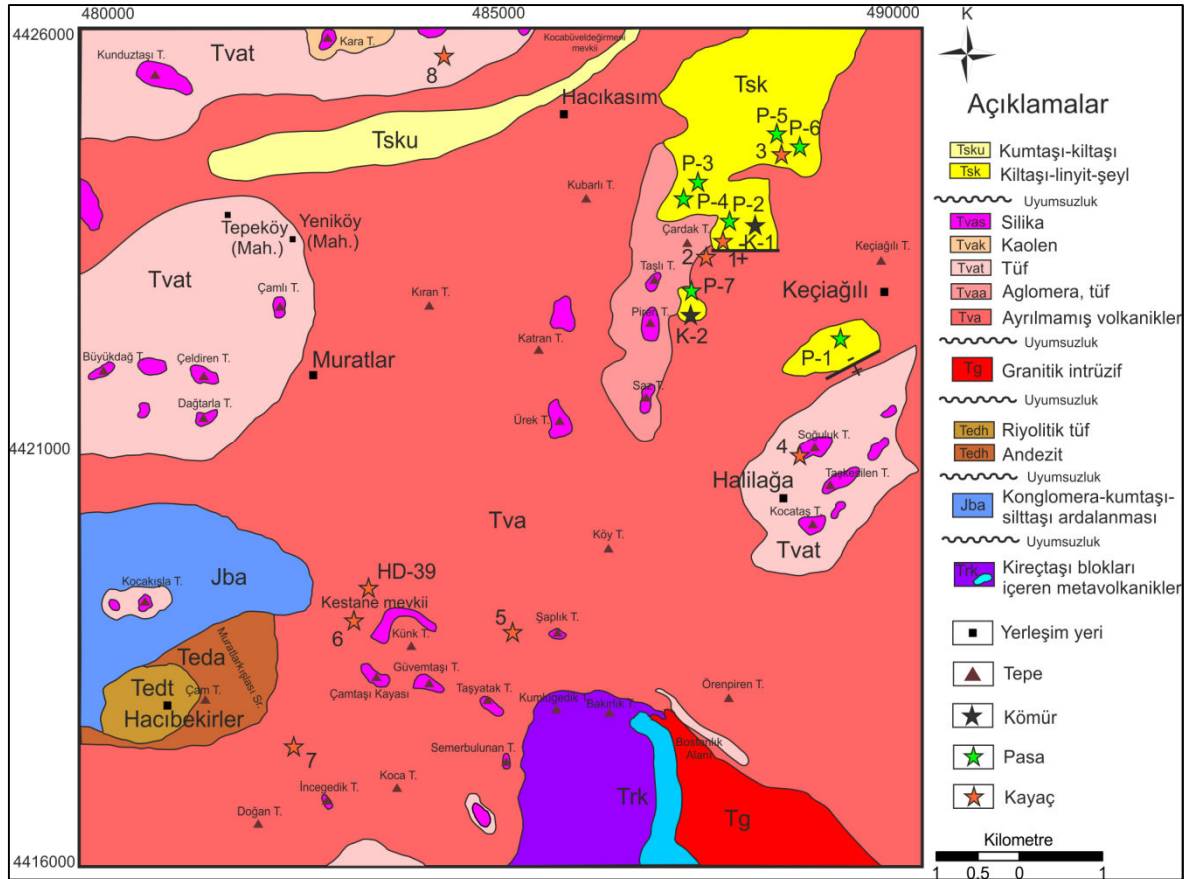
Asit baz hesaplama metodu	Tane boyutu (mm)	Örnek ağırlığı (g)	Ultra saf su (ml)	Asit üretme potansiyeli	Nötrleştirme potansiyeli tayini- asit özütlemesi			
					Asit (M)	pH	Süre (saat)	T (°C)
Çamur pH'ı	< 1000	20	20	-	-	-	504	25
Standart Asit Baz Hesaplama (ABH)	250	0,5-2	125	Toplam S	HCl ve NaOH,	7	2+	85
					%25, 0,1-0,5			
Nötrleştirme Potansiyeli (pH6)	45-106	10	100	Toplam S	$H_2SO_4$ , 1	6	4-120	25
Net Asit Üretme (NAÜ)	75	2,5	-	-	% 15'lik $H_2O_2$ , NaOH 0,1-0,5	7	2+	70

**4.5.1.1. Örnek yeri seçimi**

Statik test uygulanan örnekler, çalışma alanında asidik su noktalarının yoğun olduğu alanlardan seçilmiştir. Örnekler, Çan volkanitlerine ait farklı alterasyon zonlarındaki kayalardan, Çan formasyonuna ait sedimanter kayalardan ve kömürlerden ve terk edilmiş kömür ocakları çevresindeki pasa yığınlarından alınmıştır. Ayrıca Teck Madencilik Şirketi'nin altın-bakır madeni olarak işletmeyi planladığı sahanın sınırları içerisinde yer alan HD-39 no'lu araştırma sondajının farklı derinliklerinden de karot örnekleri alınmıştır. Örnekleme yapılan noktaların konum bilgileri, toplam sülfür içerikleri ve uygulanan statik test yöntemleri Çizelge 91'de sunulmuştur. Şekil 187'de örnekleme noktalarının konumu bulunmaktadır.

Çizelge 91. Statik test uygulanan örnekler

Örnek adı	Derinlik (m)	Lokasyon		Litoloji	Alterasyon	ΣS (%)	Uygulanan statik test yöntemi			
		X	Y				Çamur pH'ı	ABH	pH6	NAÜ
HD-39	7,85	483348	4419354	Bazaltik andezit	-	0,07		✓		✓
	17,2			Hornfels	-	0,05		✓	✓	✓
	19,5			Andezit	-	2,14		✓	✓	✓
	36,2			Andezit	-	2,7		✓	✓	✓
	46,2			Andezit	Arjilik	4,27		✓	✓	✓
	88,4			Andezit	Arjilik	3,56		✓	✓	✓
	126,4			Andezit	Propilitik	4,02		✓	✓	✓
1	Yüzey	487732	4423416	Kiltaşı	-	2,03	✓	✓	✓	
2		487476	4423249	Andezit	Arjilik	1,7	✓	✓	✓	
3		488341	4424510	Kiltaşı	-	0,42		✓	✓	
4		488498	4420847	Andezit	Silisik	0,05	✓	✓	✓	
5		485090	4418899	Tüf	Propilitik	1,16	✓	✓	✓	
6		483156	4419201	Andezit	Arjilik	0,11	✓	✓	✓	
7		482500	4417531	Andezit	Propilitik	0,01	✓	✓	✓	
8		484136	4425794	Tüf	Arjilik	0,17	✓	✓	✓	
K-1		488035	4423708	Kömür	-	5,02	✓	✓		
K-2	40	487265	4422548	Kömür	-	6,8	✓	✓		
P-1	Yüzey	489068	4421758	Pasa	-	0,71		✓	✓	
P-2		488038	4423694	Pasa	-	0,65	✓	✓	✓	
P-3		487363	4423806	Pasa	-	5,61		✓	✓	
P-4		487225	4423850	Pasa	-	1,38		✓	✓	
P-5		488386	4424286	Pasa	-	0,67		✓	✓	
P-6		488381	4424145	Pasa	-	1,69		✓	✓	
P-7		487318	4422426	Pasa	-	1,29		✓	✓	



Şekil 187. Statik testlerin uygulandığı örnek lokasyonları.

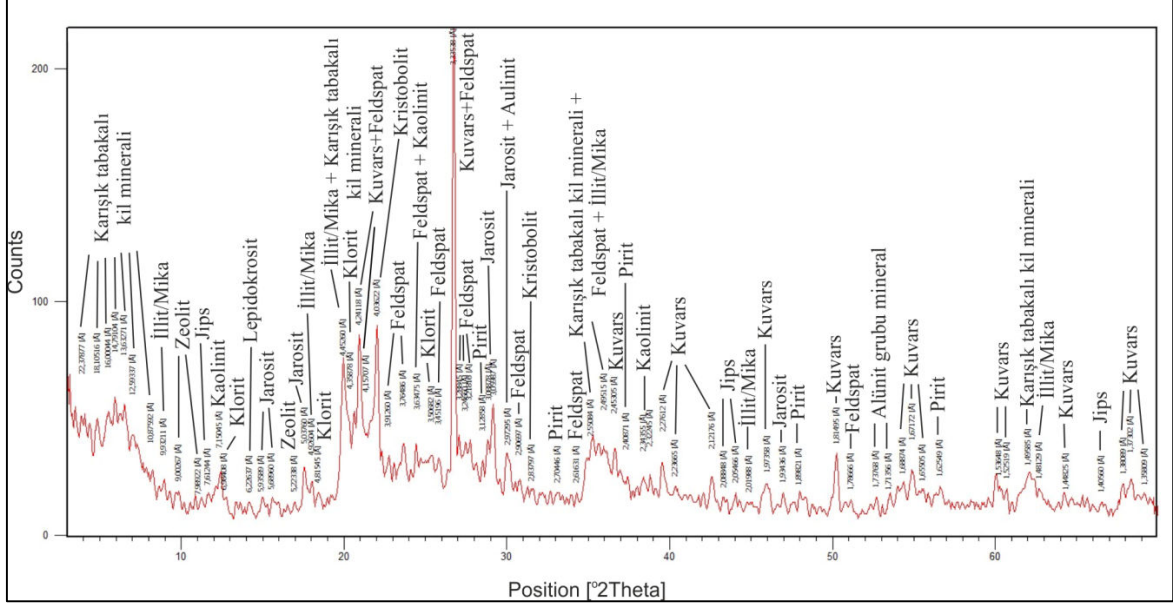
#### 4.5.1.2. Örneklerin mineralojisi

Statik testler uygulanan örneklerin mineralojik bileşimlerinin belirlenmesi (sülfürlü cevher mineralleri, karbonatlı ve silikathlı mineraller) amacıyla XRD analizleri yaptırılmıştır. XRD grafiklerinde tespit edilen mineraller, çizelgelerde en fazla bulunan mineralden en aza doğru sıralanarak oluşturulmuştur.

Jeokimya bölümünde K-1, K-2, 1, 3, 4 ve 6 no'lu örneklerin XRD sonuçları sunulmuştur. Bu bölümde ise bazı pasa örnekleri ile ve HD-39 no'lu Teck Madencilik Şirketi tarafından açılan araştırma sondajının farklı derinliklerdeki kayaçların XRD sonuçları değerlendirilmiştir.

P-1, P-2 ve P-7 no'lu pasa örneklerinin XRD sonuçları Şekil 188; 189 ve 190'da sunulmuştur. Örnekler, eser miktarda pirit içermekte fakat kalsit gibi hızlı çözünmeyi sağlayan nötrleştiriciler içermemektedir (Çizelge 92; 93; 94). Feldspat gibi güçlkle

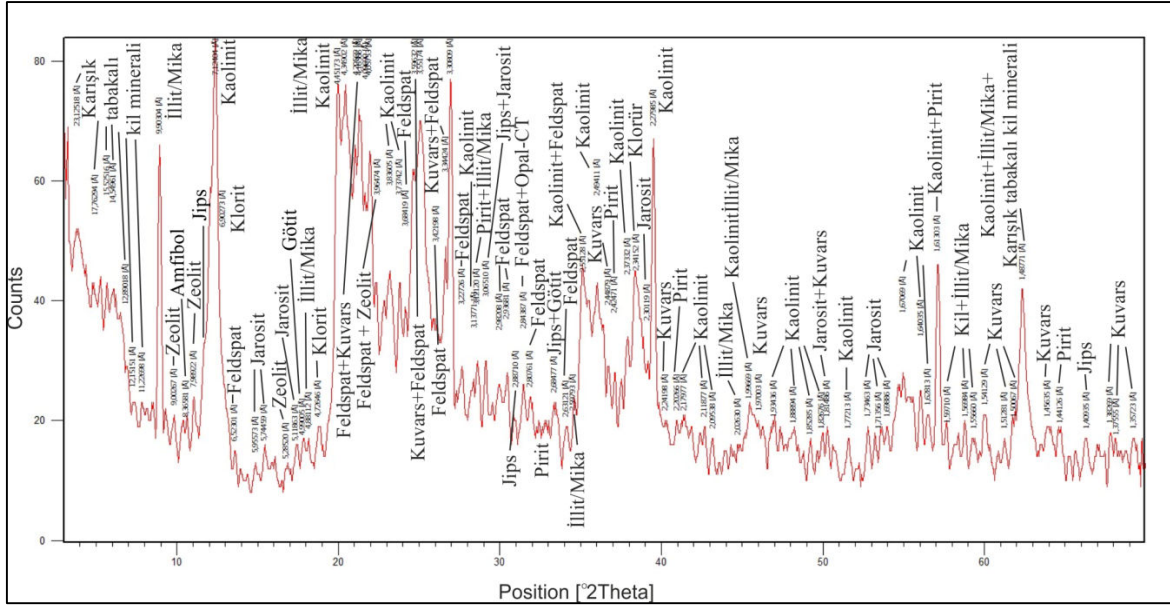
çözünen yine de tampon etkisi yaratabilecek silikat mineralleri bulunmaktadır. Ayrıca P-1 ve P-2 no'lu örneklerde asit üreten jarosit minerali bulunmaktadır.



Şekil 188. P-1 no'lu örneğin XRD sonuçları.

Çizelge 92. P-1 no'lu örneğin mineral içeriği

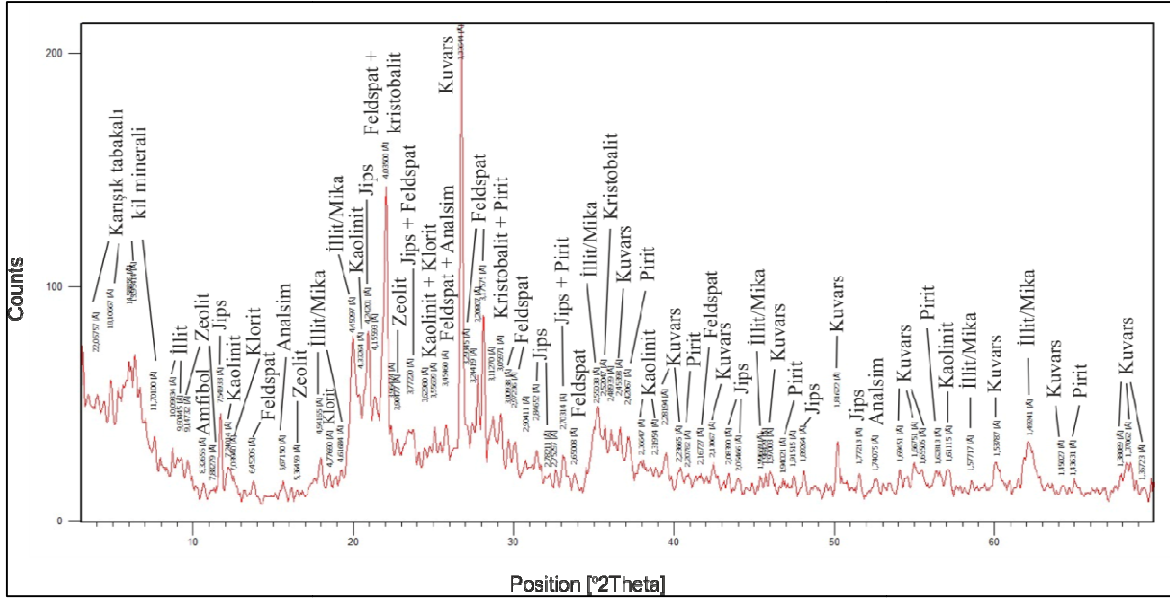
Mineral	Miktar
Kuvars	Majör
Kristobalit	Majör
Karışık tabakalı kil minerali	Majör
Amorf malzeme	Majör
Jarosit	Majör
Kaolinit	Az
Feldspat grubu mineral	Az
Zeolit (Höylendit-Klinoptilolit)	Az
İllit/Mika grubu mineral	Az
Klorit grubu mineral	Eser
Jips	Eser
Pirit	Eser
Lepidokrosit	Eser



Şekil 189. P-2 no'lu örneğin XRD sonuçları.

Çizelge 93. P-2 no'lu örneğin mineral içeriği

Mineral	Miktar
Kaolinit	Majör
İllit/Mika grubu mineral	Majör
Opal-CT	Majör
Karışık tabakalı kil minerali	Majör
Jips	Majör
Klorit grubu mineral	Majör
Feldspat grubu mineral	Majör
Amorf malzeme	Majör
Zeolit (Höyländit-Klinoptilolit)	Az
Jarosit	Az
Pirit	Az
Götüt	Eser
Kuvars	Eser
Amfibol grubu mineral	Eser



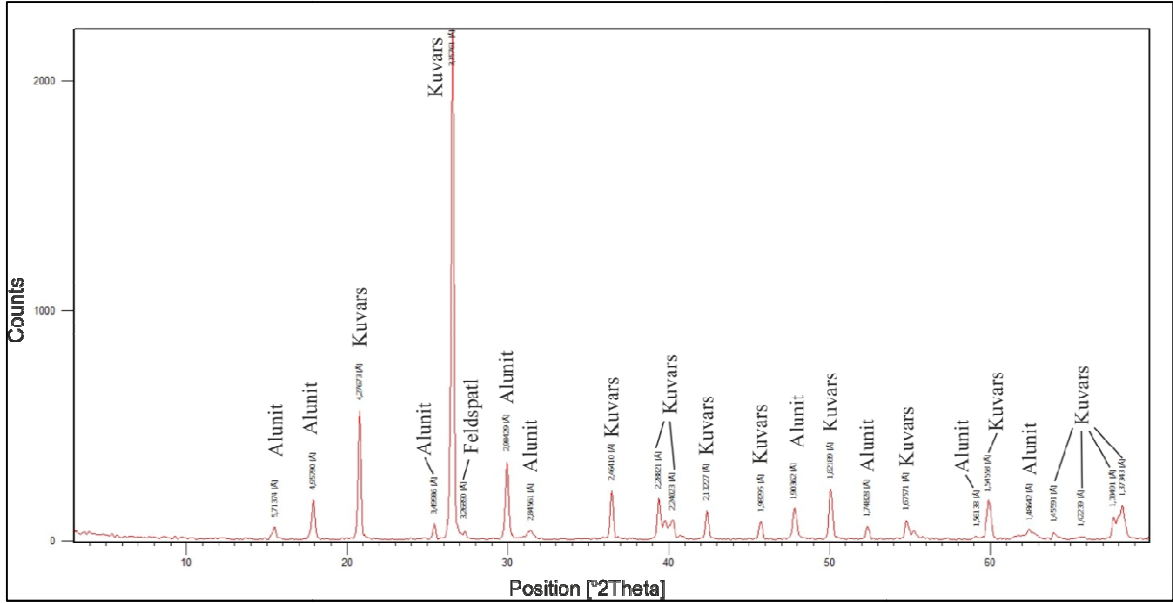
Şekil 190. P-7 no'lu örneğin XRD sonuçları.

Çizelge 94. P-7 no'lu örneğin mineral içeriği

Mineral	Miktar
Kuvars	Majör
Kristobalit	Majör
Karışık tabakalı kil minerali	Majör
Feldspat grubu mineral	Majör
Amorf malzeme	Majör
Jips	Az
İllit/Mika grubu mineral	Eser
Zeolit (Analsim, Höyländit-Klinoptilolit)	Eser
Kaolinit	Eser
Klorit	Eser
Pirit	Eser
Amfibol	Eser

HD-39 no'lu araştırma sondajının farklı derinliklerine ait XRD sonuçları Şekil 191; 192; 193; 194; 195; 196 ve 197'de, mineral içeriği ise Çizelge 95; 96; 97; 98; 99; 100 ve 101'de sunulmuştur. Sondajda asit üreten minerallerden pirit, jarosit ve alunit mineralleri bulunmaktadır. Nötrleştirici mineraller olarak hızlı çözünen kalsit ve yavaş çözünen feldspat, klorit mineralleri bulunmaktadır.

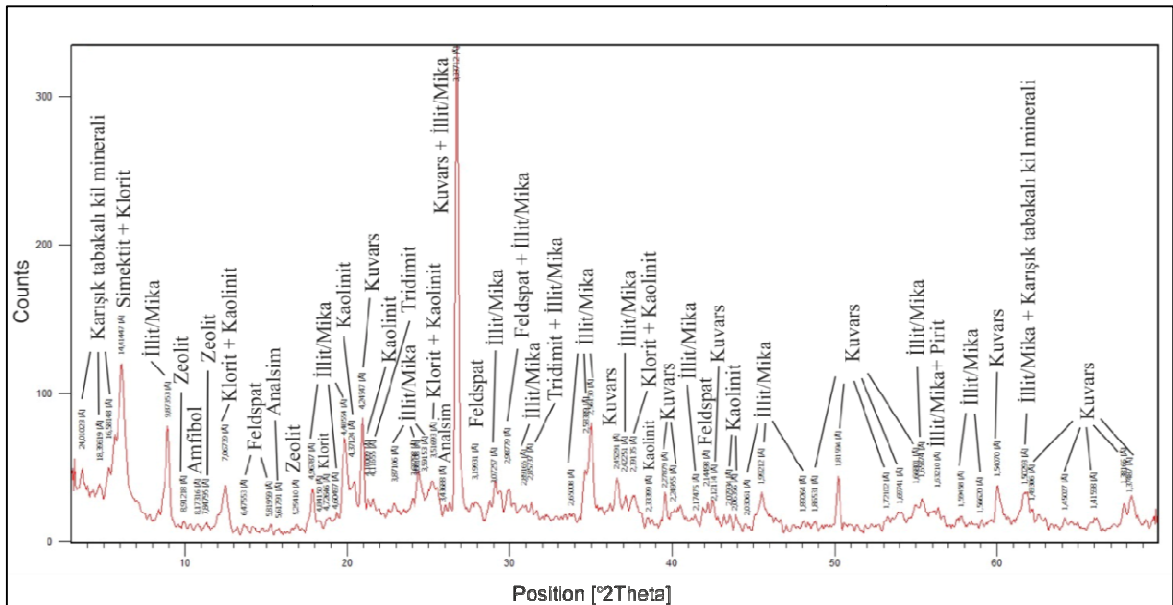




Şekil 191. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 7,5 m).

Çizelge 95. HD-39 no'lu sondajın 7,5 m derinliğindeki mineral içeriği

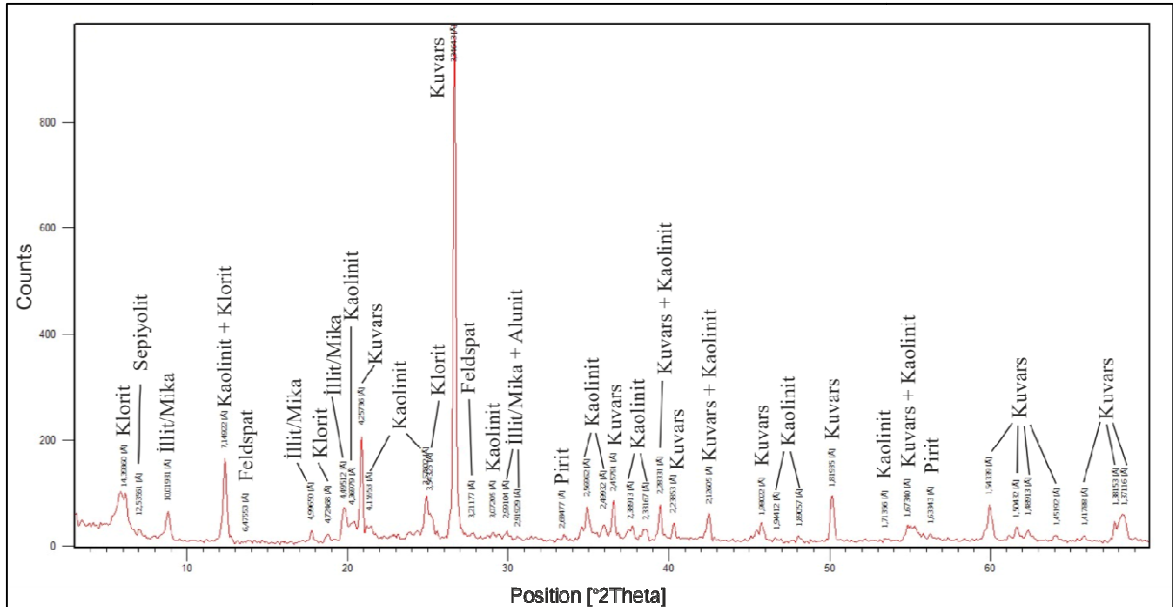
Mineral	Miktar
Kuars	Majör
Alunit	Az
Feldspat grubu mineral	Eser



Şekil 192. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 17,2 m).

Çizelge 96. HD-39 no'lu sondajın 17,2 m derinliğindeki mineral içeriği

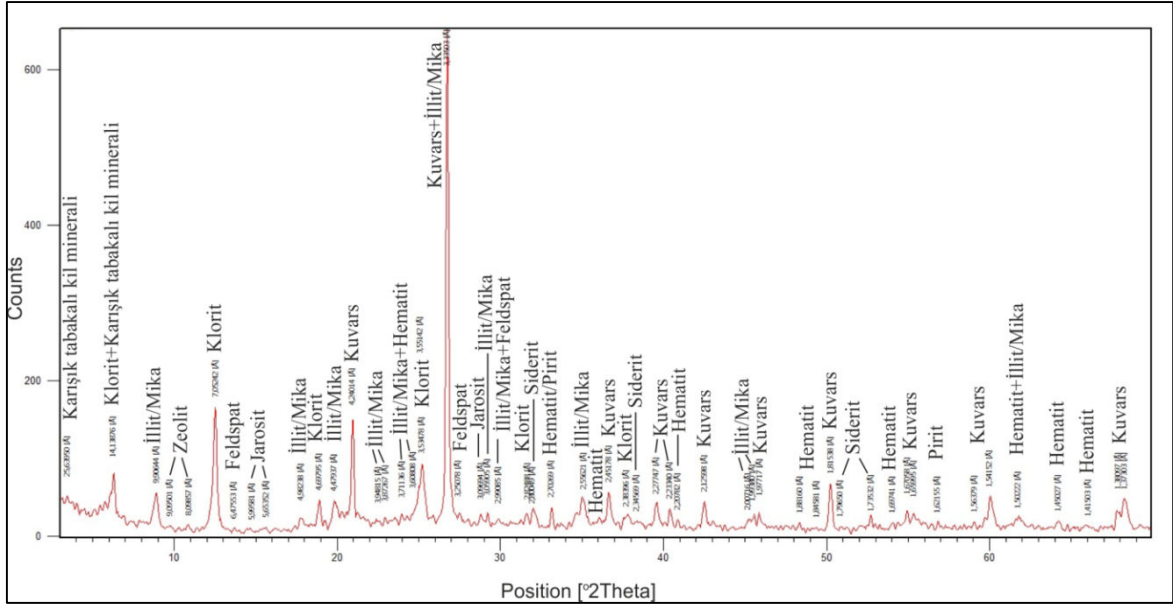
Mineral	Miktar
Kuvars	Majör
Smektit grubu kil minerali	Majör
İllit/Mika	Majör
Amorf malzeme	Az
Kaolinit	Az
Karışık tabakalı kil minerali	Eser
Feldspat	Eser
Klorit	Eser
Zeolit	Eser
Tridimit	Eser
Amfibol	Eser
Pirit	Eser



Şekil 193. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 19,5 m).

Çizelge 97. HD-39 no'lu sondajın 19,5 m derinliğindeki mineral içeriği

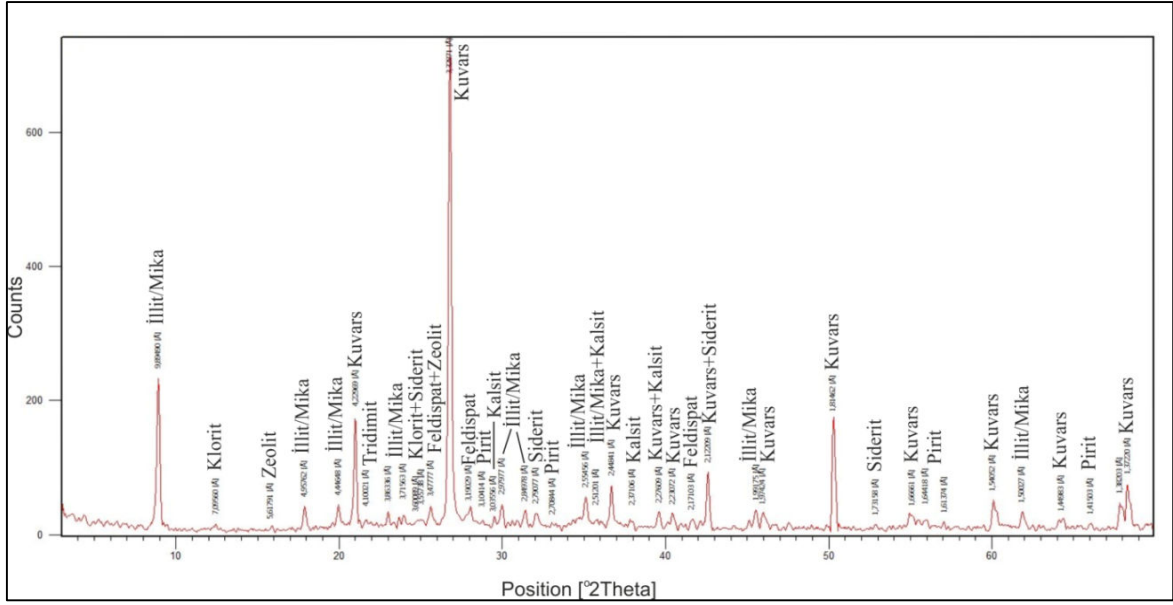
Mineral	Miktar
Kuvars	Majör
Kaolinit	Az
Klorit grubu mineral	Az
Smektit grubu kil	Az
İllit/Mika	Eser
Pirit	Eser
Sepiyolit	Eser
Feldspat grubu mineral	Eser
Alunit	Eser



Şekil 194. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 36,2 m).

Çizelge 98. HD-39 no'lu sondajın 36,2 m derinliğindeki mineral içeriği

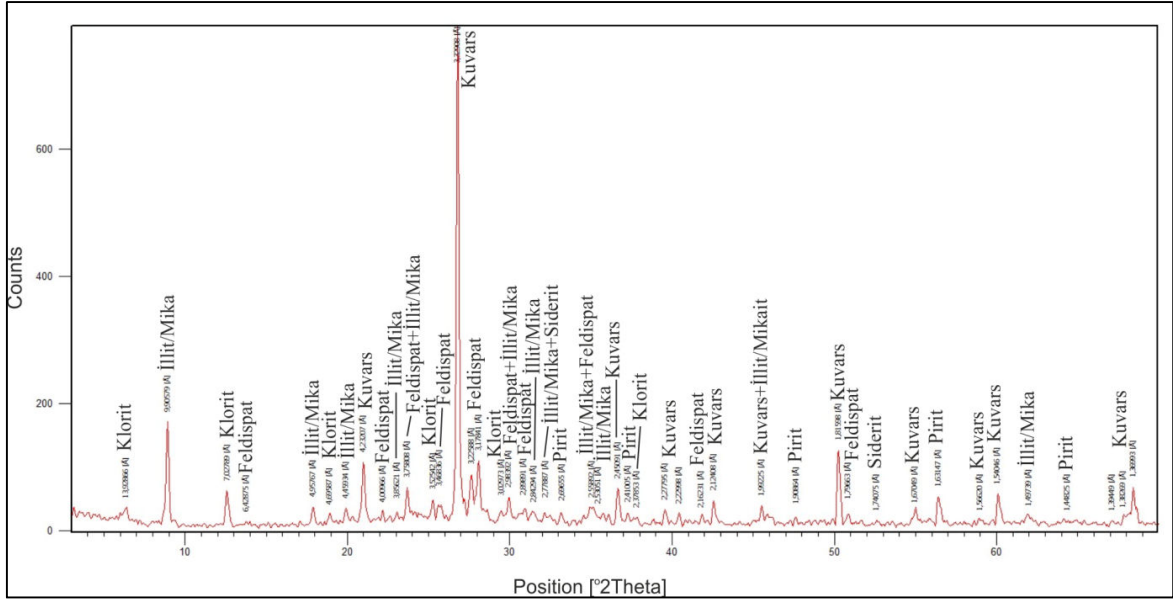
Mineral	Miktar
Kuvars	Majör
Klorit grubu mineral	Majör
İllit/Mika grubu mineral	Az
Karışık tabakalı kil minerali	Eser
Amorf malzeme	Eser
Siderit	Eser
Jarosit	Eser
Feldspat grubu mineral	Eser
Zeolit grubu mineral (Höylandit-Klinoptilolit)	Eser
Hematit	Eser
Pirit	Eser



Şekil 195. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 46,2 m).

Çizelge 99. HD-39 no'lu sondajın 46,2 m derinliğindeki mineral içeriği

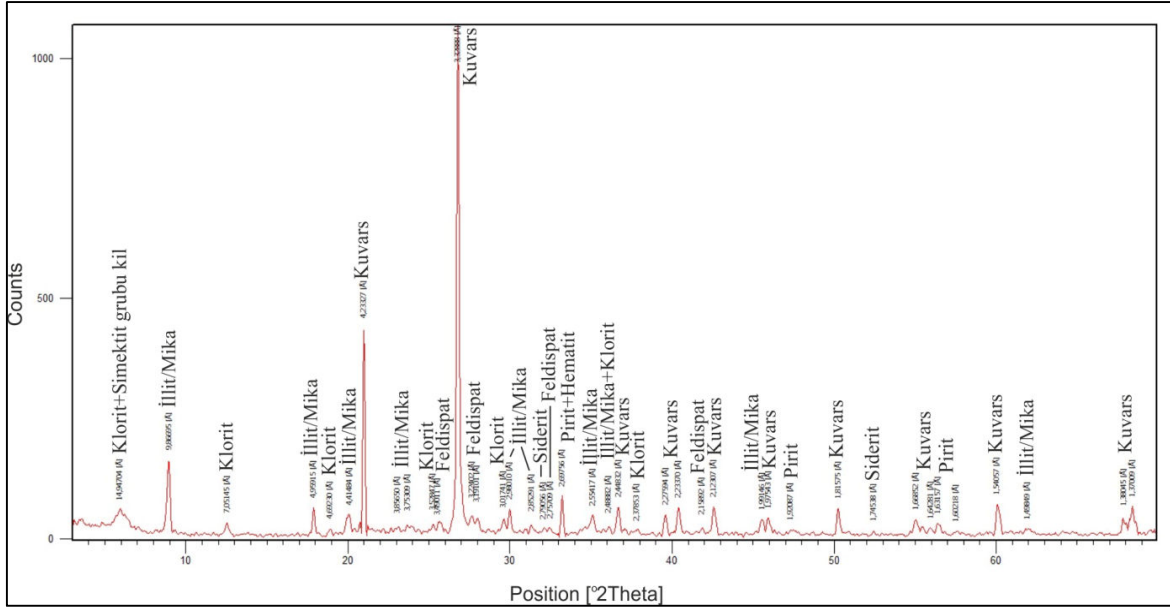
Mineral	Miktar
Kuars	Majör
İllit/Mika grubu mineral	Majör
Amorf malzeme	Az
Siderit	Az
Feldspat grubu mineral	Az
Kalsit	Eser
Klorit	Eser
Zeolit grubu mineral (Analsim)	Eser
Pirit	Eser



Şekil 196. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 88,4 m).

Çizelge 100. HD-39 no'lu sondajın 88,4 m derinliğindeki mineral içeriği

Mineral	Miktar
Kuars	Çok
İllit/Mika grubu mineral	Çok
Feldspat grubu mineral	Az
Klorit grubu mineral	Az
Amorf malzeme	Eser
Pirit	Eser
Kalsit	Eser
Siderit	Eser



Şekil 197. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 126,4 m).

Çizelge 101. HD-39 no'lu sondajın 126,4 m derinliğindeki mineral içeriği

Mineral	Miktar
Kuars	Majör
İllit/Mika grubu mineral	Az
Klorit grubu mineral	Eser
Feldspat grubu mineral	Eser
Smektit grubu kil	Eser
Hematit	Eser
Kalsit	Eser
Amorf malzeme	Eser
Pirit	Eser
Siderit	Eser

#### 4.5.1.3. Çamur pH testi

Çamur pH'ı Sobek ve ark. (1978) tarafından ilk kez tanımlanmış, Page ve ark. (1982) tarafından modifiye edilmiştir. Noll ve ark. (1988), çamur pH'ı yöntemini asit baz hesaplama testi içerisinde tanımlanmıştır. Weber ve ark. (2006)na göre, çamur pH'ı bir numunenin asiditesini ve alkalinitesini tayin etmekte kullanılan görece hızlı, basit bir yöntemdir.

Çamur pH yönteminde tane boyutu; boyutlandırılmamıştan (Weber ve ark., 2006) < 1 mm'ye (Environment Australia, 1997) değişirken ve katı-damıtık su karıştırma oranı

1:1 (Mills, 2007) ya da 1:2 (Weber ve ark., 2006) şeklinde önerilirken, herhangi bir orandan bahsedilmeyen (Kania, 1998) çeşitli işlem süreçlerinden söz edilmektedir. Bekleme süresi için ise 10 dk (Price, 1997; Mills, 2007), 1 saat (Kania, 1998) 12 saatten kısa (Weber ve ark., 2006) ve 12-24 saat (Environment Australia, 1997; Morin ve Hutt, 1997) gibi oldukça farklı öneriler bulunmaktadır (Karadeniz, 2011).

Uygulamalarda ultra saf su ve numune miktarı, katı-sıvı oranı, tane boyutu ve bekleme süresi değişken olan test, temelinde saf su ile temsili numunenin karıştırılıp, belli bir süre beklendikten sonra pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin ölçümü şeklinde gerçekleştirilir. Elde edilen sonuca göre numunenin asit üretkenliğine ve bünyedeki bileşenlerin çözünürlüğüne ilişkin yorum yapılır.

#### **4.5.1.3.1. Çamur pH'ı testinin uygulandığı örnekler**

Bu yöntem, çalışma alanına ait 10 farklı örnekte kontrol amaçlı olarak 2 kez tekrarlanmak suretiyle toplam 20 kez uygulanmıştır. Tüm deneylerde kullanılan saf su "ultra saf su"dur. Çizilen grafiklerde zamana bağlı değişimleri standart olarak karşılaştırabilmek amacıyla "saat" zaman birimi kullanılmıştır.

Çamur pH'ı testinde seçilen ilk örnek AMG-2 kıyısından alınan pasa (P-2)dır. Pasanın 3 hafta boyunca çamur pH'ı yöntemi ile ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri Çizelge 102'de sunulmuştur. Örneğin pH değeri 10. dakikada 2,5 ölçülmüş, 1. haftanın sonunda 2,66'ya ulaşmış ve sonrasındaki haftalarda değişmemiştir. Deneysel süreci kontrol amacıyla 12.08.2012 tarihinde arazi çalışmaları sırasında yağın yağmurdan örnek alınmıştır. Yağmur suyunun pH değeri 5,9 ölçülmüştür. Yağmur suyu, pasa ile muamele edilmiş, 10. dakikada pH değeri 2,5 ölçülmüş ve bu değer üç haftanın sonunda 2,72'ye ulaşmıştır (Çizelge 103). Saf su ve yağmur suyu ile yapılan pH ölçümleri birbiriyle uyumludur (Şekil 198).

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

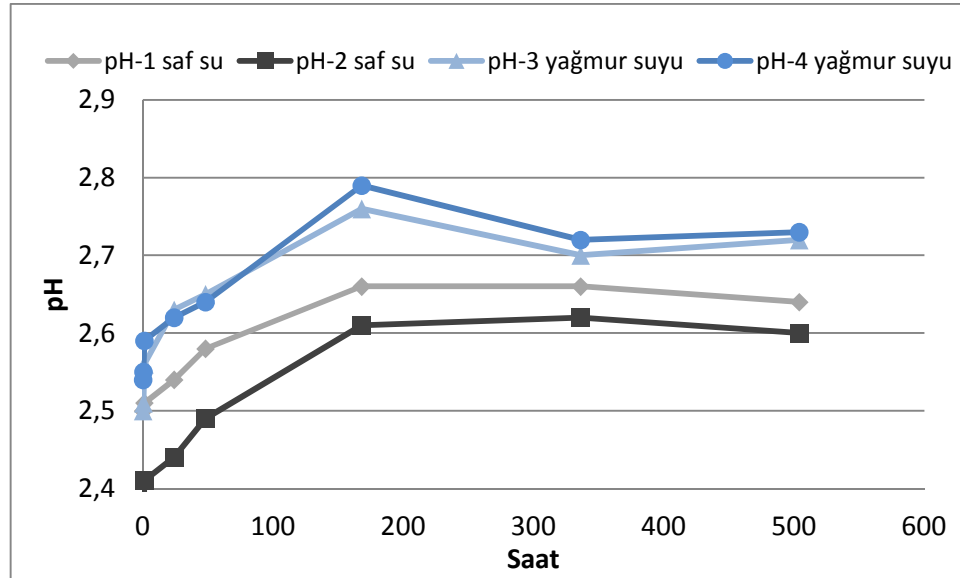
Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Çizelge 102. Çamur pH'ı yöntemi ile 2 no'lu örneğin fizikokimyasal parametre değerlerinin zamana karşı değişimi (ultra saf su)

Örnek adı	Saat	pH		Eh (mV)		T (°C)		EC (µS/cm)		Sal (%)	
		1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm
P-2	0,16	2,5	2,36	253	261	21,9	21,8	4140	4260	2	2,3
	0,33	2,5	2,36	253	261	21,8	21,6	4440	4350	2,3	2,1
	1	2,51	2,41	257	261	21,3	21,1	4750	4400	2,6	2,3
	24	2,54	2,44	255	260	21,9	21,7	4770	4440	2,5	2,3
	48	2,58	2,49	251	256	21,9	21,8	4620	4350	2,3	2,3
	168	2,66	2,61	245	245	21,3	21,2	4450	4360	2,3	2,3
	336	2,66	2,62	245	247	22,8	22,7	4450	4360	2,3	2,3
	504	2,64	2,6	246	246	23,1	23	4440	4350	2,3	2,3

Çizelge 103. Çamur pH'ı yöntemi ile 2 no'lu örneğin fizikokimyasal parametre değerlerinin zamana karşı değişimi (yağmur suyu)

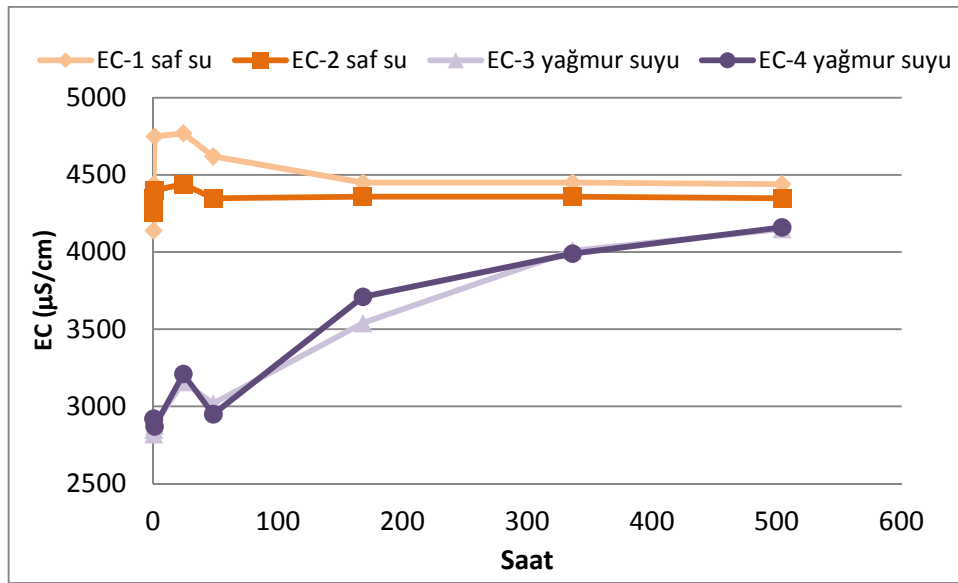
Örnek adı	Saat	pH		Eh (mV)		T (°C)		EC (µS/cm)		Sal (%)	
		3. ölçüm	4. ölçüm	3. ölçüm	4. ölçüm	3. ölçüm	4. ölçüm	3. ölçüm	4. ölçüm	3. ölçüm	4. ölçüm
P-2	0,16	2,5	2,54	244	242	30,9	30,9	2820	2920	1,4	1,4
	0,33	2,51	2,55	242	241	30,6	30,7	2850	2920	1,4	1,4
	1	2,56	2,59	239	238	29,9	30,1	2880	2870	1,4	1,4
	24	2,63	2,62	236	236	30,1	30,4	3160	3210	1,6	1,6
	48	2,65	2,64	235	236	30,7	30,3	3020	2950	1,5	1,4
	168	2,76	2,79	227	226	29,5	29,5	3540	3710	1,8	1,9
	336	2,7	2,72	227	227	29,8	29,6	4010	3990	2	2
	504	2,72	2,73	228	227	26,5	26,9	4150	4160	2,1	2,1



Şekil 198. Çamur pH'ı yöntemi ile P-2 no'lu pasa örneğinin zamana karşı pH değişimi.



Saf su ile yapılan çamur pH'ı testinde örneğin elektriksel iletkenlik değerleri, 10. dakikanın sonunda 1. örnekte 4140, 2. örnekte ise 4260  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olarak ölçülmüştür. Bu değer, 24 saat sonunda sırasıyla 4440 ve 4770  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ölçülmüş ve maksimum değerine ulaşmıştır. Yağmur suyu ile yapılan ölçümlerde ise elektriksel iletkenlik değeri 3. haftanın sonunda maksimum değer olan 4160  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerine ulaşmıştır. 3. haftanın sonunda ultra saf su ile yağmur suyunun EC değerleri birbirleriyle uyumludur (Şekil 199). Yağmur suyu kullanılan örneklerin EC değerinin artış göstermemesinin nedeni her iki suyun başlangıç pH'ı, ölçüm sıcaklığı farkı ile numunelerin % 100 aynı olmamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 199. Çamur pH'ı yöntemi ile P-2 no'lu pasa örneğinin zamana karşı EC değişimi.

Çamur pH'ı testinde 2. ve 3. örnekler 2 no'lu AMG'nin çevresinde yüzlek veren Çan formasyonuna ait sedimanter seviyeler (örnek no:1) ile Çan volkanitlerine ait arjilik alterasyona uğramış andezitlerden (örnek no: 2) alınan örnekler üzerinde yapılmıştır. Ölçümler 9 hafta boyunca sürdürülmüştür. Değerler 7. haftanın sonunda sabitlenmiş ve izleme 9. haftanın sonunda bitirilmiştir. Çizelge 104'da elde edilen ölçümlerin sonuçları sunulmuştur.

İlk 10 dakika içerisinde saf suyun pH değeri sedimanter kayada 3,99, volkanik kayada ise 3,11 olarak ölçülmüştür (Şekil 200). pH değerleri 9 hafta boyunca belirgin bir

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

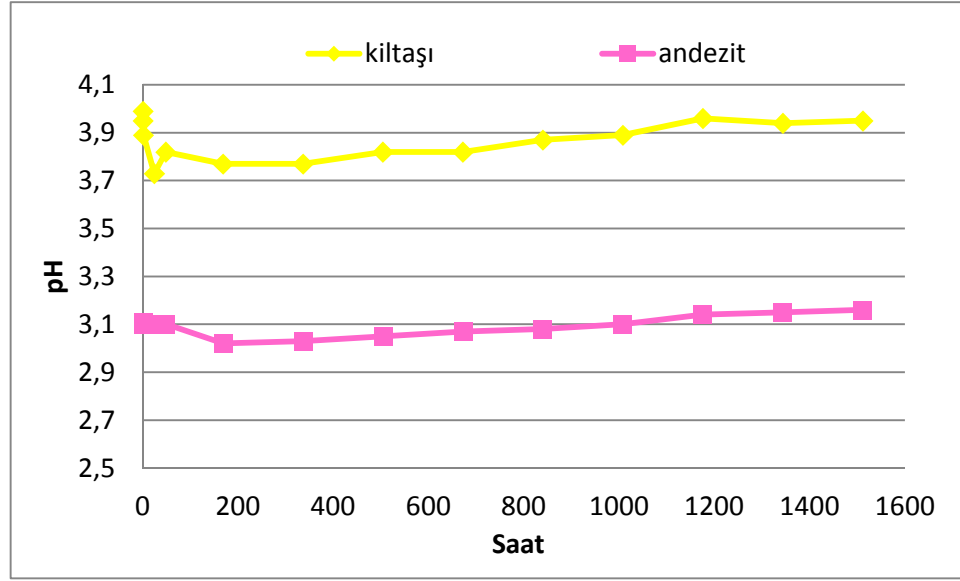
oranda değişim göstermemiştir. pH'ın belirlenmesi bakımından, ilk 10 dk sonundaki ölçümün yeterli olduğu açıktır. Sedimanter kayaçta ilk 10 dakika sonunda elektriksel iletkenlik değeri 1070  $\mu\text{S/cm}$  olarak ölçülmüş, bu değer 7. haftada maksimum 1954  $\mu\text{S/cm}$  değerine ulaşmış ve daha sonrasında artış saptanmamıştır (Şekil 201). Volkanik kayaçta 10. dakika sonunda ölçülen elektriksel iletkenlik değeri 1084  $\mu\text{S/cm}$ 'dir. Bu değer 7. haftada ölçülen maksimum değer olan 3180  $\mu\text{S/cm}$ 'e ulaşmış ve değerler ilerleyen haftalarda artış saptanmamıştır. Muhtemelen Eh ve pH'ı etkilemeyen, ancak EC'nin artmasına neden olan bazı iyonları veren minerallerin çözünmesi sürmüştür. EC ile paralel olarak tuzluluk da artış göstermiştir.

Çamur pH'ı deneyinde ölçülen pH ve elektriksel iletkenlik değerleri asit maden göllerinin oluşumundaki yüksek asidik sürecin hem sedimanter, hem de volkanik kayaç kökenli olduğunu göstermektedir. Volkanik kayaçta 9 hafta sonunda elde edilen yüksek elektriksel iletkenlik değeri, sedimanter kayaca oranla volkanik kayaçtan suya iyon geçişinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

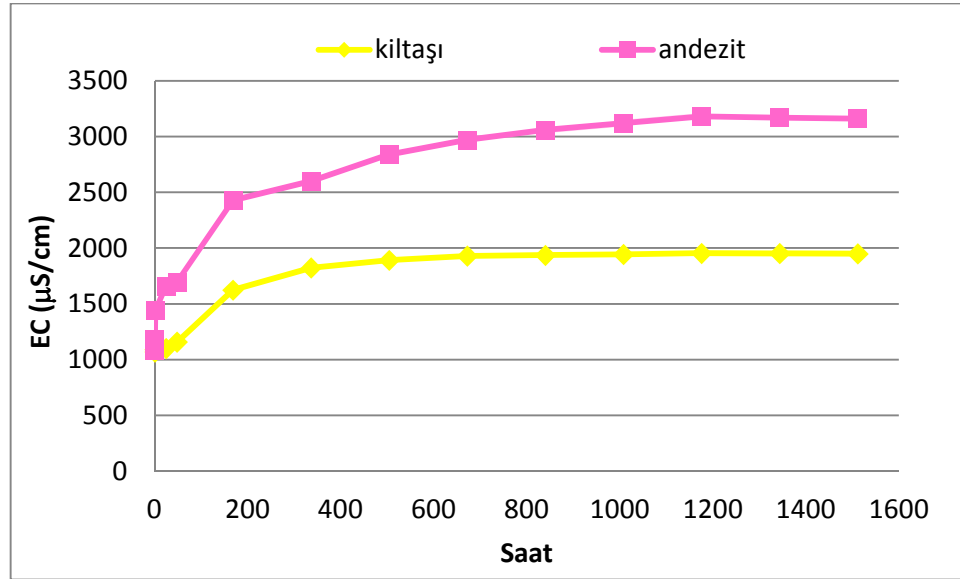
Çizelge 104. AMG-2 kıyısındaki sedimanter ve volkanik kayaçların çamur pH'ı testi fizikokimyasal parametre sonuçları

Saat	pH		Eh (mV)		T (°C)		EC ( $\mu\text{S/cm}$ )		Sal (%)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0,16	3,99	3,11	152	201	26,4	26,4	1070	1084	0,3	0,3
0,33	3,95	3,11	154	203	27,7	27,5	1090	1185	0,3	0,4
1	3,89	3,1	156	204	27,4	27,4	1095	1440	0,3	0,5
24	3,73	3,1	168	205	26,8	27,6	1102	1659	0,3	0,7
48	3,82	3,1	163	205	26,5	27,7	1159	1696	0,4	0,7
168	3,77	3,02	165	209	26,1	26	1625	2430	0,6	1,1
336	3,77	3,03	165	209	25,9	26,7	1824	2600	0,8	1,2
504	3,82	3,05	162	207	27	25,4	1892	2840	0,8	1,4
672	3,82	3,07	162	206	25,9	26	1930	2970	0,8	1,4
840	3,87	3,08	157	204	23,1	23,5	1937	3060	0,8	1,5
1008	3,89	3,1	157	203	24	24	1944	3120	0,8	1,5
1176	3,96	3,14	151	198	19,6	19,7	1954	3180	0,8	1,5
1344	3,94	3,15	152	198	20,2	20,3	1953	3170	0,8	1,5
1512	3,95	3,16	151	197	20,2	20,6	1950	3160	0,8	1,5

1 = sedimanter kayaç, 2 = volkanik kayaç



Şekil 200. Çamur pH'ı yöntemi ile AMG-2 kıyısındaki sedimanter ve volkanik kayaların zamana bağlı pH değişimi.



Şekil 201. Çamur pH'ı yöntemi ile AMG-2 kıyısındaki sedimanter ve volkanik kayaların zamana bağlı EC değişimi.

Çamur pH'ı testinde 4. ve 5. örnekler Çan formasyonuna ait kömürlerden seçilmiştir. Örneklerden birincisi 2 no'lu AMG'nin kıyısındaki sedimanter seviyelerden (K-1), ikincisi ise İkizler Madencilik Şirketi'ne ait kapalı kömür işletmesindeki 40 m derinlikten (K-2)

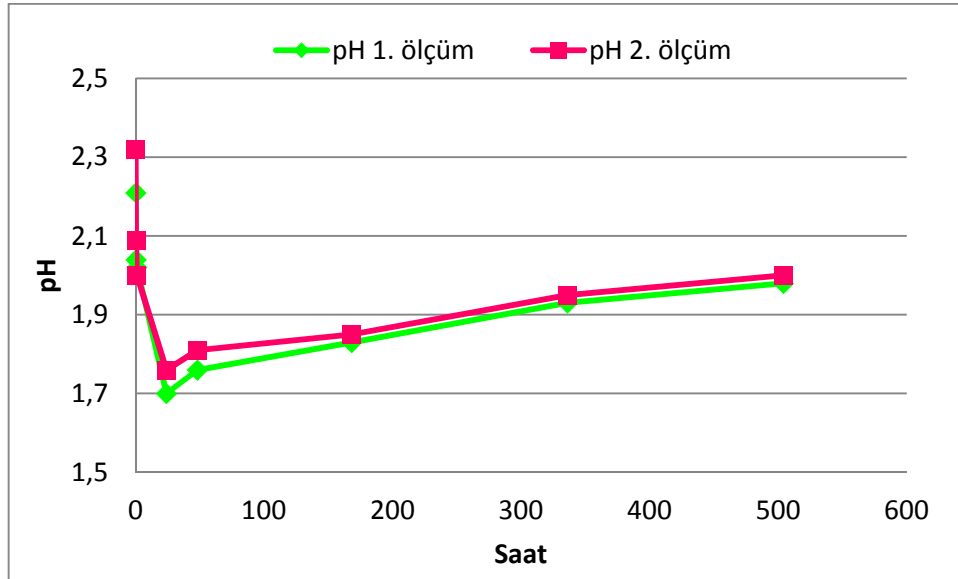
## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

alınmıştır. K-1 no'lu kömür örneğinin ilk pH değeri 2,21 olup bu değer 24 saat boyunca azalmış ve en düşük değer 1,7 ölçülmüştür (Çizelge 105; Şekil 202). 24 saatin sonunda artış gösteren pH, 3. haftanın sonunda 2 olarak ölçülmüştür. Elektriksel iletkenlik değeri zamana bağlı artış göstermiş ve maksimum değer 3. haftanın sonunda 6070  $\mu\text{S/cm}$  ölçülmüştür.

Çizelge 105. K-1 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri

Örnek adı	Saat	pH		Eh (mV)		Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )		EC ( $\mu\text{S/cm}$ )		Sal ( $\%$ )	
		1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm
K-1	0,16	2,21	2,32	267	258	23	22,9	55	49	0	0
	0,33	2,04	2,09	276	270	22,6	22,5	146	135	0	0
	1	2,02	2	277	275	22	22	237	206	0	0
	24	1,7	1,76	295	290	21,6	21,6	2150	1990	0,9	0,8
	48	1,76	1,81	291	293	21	20,9	3800	3710	1,9	1,8
	168	1,83	1,85	287	285	21,1	21,3	5120	5050	2,7	2,7
	336	1,93	1,95	291	290	24,7	24,6	6010	5980	3,8	3,7
504	1,98	2	288	287	24,5	24,5	6070	6020	3,9	3,8	



Şekil 202. Çamur pH'ı testinde K-1 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi.

K-2 örneğinin pH değeri ilk 1 saat içerisinde minimum değer olan 0,99 pH değerine ulaşmıştır, bu değer çalışma kapsamında ölçülen en düşük pH değeridir. İlk 10 dk sonunda örneğin asit üretir olduğu anlaşılmıştır. Örneğin pH değeri 1. saatin sonunda zamana karşı

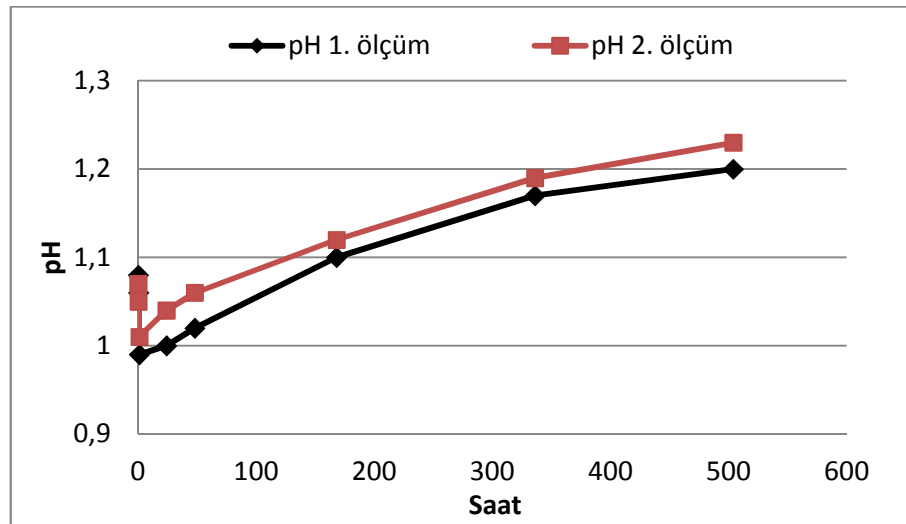
## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

artan bir eğilim sergilemiş, 3. haftanın sonunda en yüksek pH değeri 1,2 ölçülmüştür (Çizelge 106; Şekil 203). Sonrasında pH ve Eh değerleri dengeye gelmiştir. Buna karşın EC, çok hızlı bir artış göstererek tuzluluğu da yükseltmiştir. 48 saatin sonunda ölçülen azami EC değeri 66400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir, bu değer çalışma kapsamında ölçülen en yüksek EC değeridir. 1. haftadan itibaren yüksek elektriksel iletkenlik değeri nedeniyle EC probu ile ölçüm yapılamamıştır. Kömürün mineralojik analizinde, piritin yüksek oranda varlığı görülmektedir. Ayrıca sizomolnokit ve alunit gibi asit üretimine yardımcı olan minerallerde bulunmaktadır. Hızlı çözünen nötrleştiriciler bulunmamakta, sadece yavaş çözünen ve tampon etkisi gösterebilen klorit, feldspat mineralleri bulunmaktadır.

Çizelge 106. K-2 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri

Örnek adı	Saat	pH		Eh (mV)		Sıcaklık (°C)		EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		Sal (%)	
		1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm
K-2	0,16	1,08	1,07	337	333	24,3	24,1	17800	16500	10,1	9,8
	0,33	1,06	1,05	334	334	22,9	22,7	20100	19800	12,3	12,1
	1	0,99	1,01	337	332	22,3	22,2	27500	28000	21	21,3
	24	1	1,04	336	334	21,7	21,7	50100	50300	32,1	32,7
	48	1,02	1,06	334	335	21,6	21,5	62500	66400	38,9	44,9
	168	1,1	1,12	330	328	21,2	21,1	-	-	-	-
	336	1,17	1,19	337	335	25,1	24,8	-	-	-	-
	504	1,2	1,23	334	332	24,2	24,5	-	-	-	-



Şekil 203. Çamur pH'ı yöntemi ile K-2 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi.

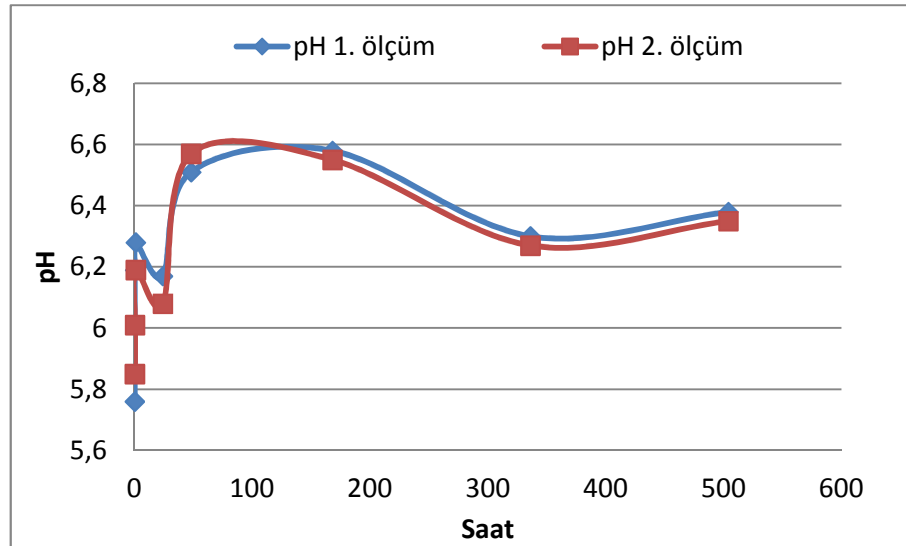
## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Çamur pH testi uygulanan 6. örnek (örnek no: 4) Halılağa köyünün kuzeyinde Soğuluk tepenin güneybatı yamacından alınmıştır. Ana kayacı andezit olan örnek, silisik alterasyona uğramıştır. Örneğin 10. dakikanın sonunda ölçülen pH değeri 5,76 olup, hafif asidiktir (Çizelge 107; Şekil 204). Bu değer, zaman ile artış göstermiş ve 3. haftanın sonunda 6,38 değerine ulaşmıştır. Örneğin asit üretir olup olmadığı konusunda net cevap vermek için, diğer test yöntemlerinde elde edilecek sonuçlarla kıyaslamak gerekmektedir. EC değeri ise minimum 128  $\mu\text{S/cm}$  ölçülmüş, zamanla artış göstererek, 3. haftanın sonunda maksimum 273  $\mu\text{S/cm}$  değeri ölçülmüştür. EC'deki az miktardaki artış, tuzluluğu etkilememiştir.

Çizelge 107. 4 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri

Örnek adı	Saat	pH		Eh (mV)		T (°C)		EC ( $\mu\text{S/cm}$ )		Sal (%)	
		1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm
4	0,16	5,76	5,85	71	65	22,2	22	135	128	0	0
	0,33	6,19	6,01	45	56	22,2	22	185	183	0	0
	1	6,28	6,19	40	45	21,9	22	199	217	0	0
	24	6,17	6,08	47	53	21,8	22,1	242	252	0	0
	48	6,51	6,57	27	23	21,5	21,3	262	282	0	0
	168	6,58	6,55	22	24	20,2	20,1	254	271	0	0
	336	6,3	6,27	25	27	20,5	20,5	260	273	0	0
504	6,38	6,35	26	27	21,4	21,6	256	273	0	0	

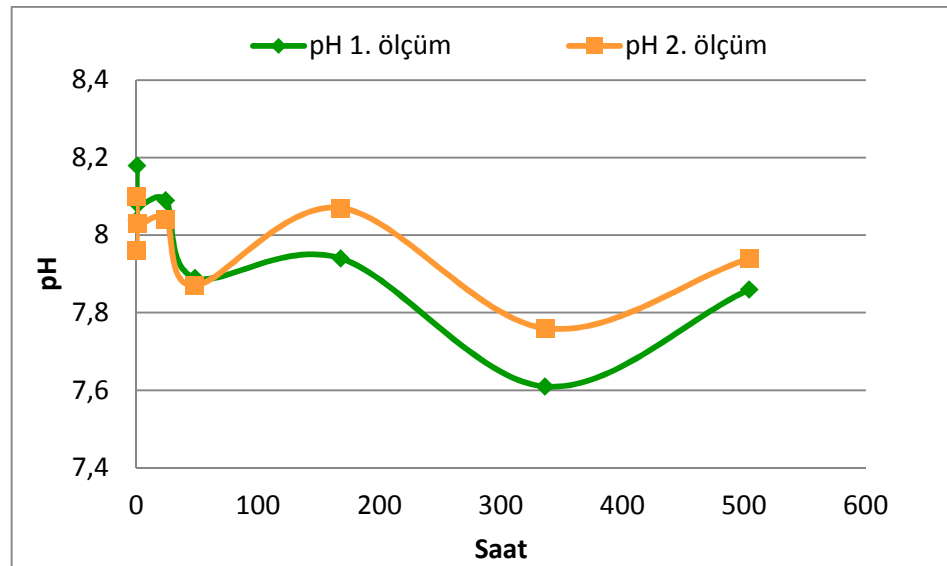


Şekil 204. Çamur pH'ı yöntemi ile 4 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi.

Çamur pH testi uygulanan 7. örnek (örnek no: 5) çalışma alanının güney kesiminde bulunan Şaplık tepenin batısından alınmıştır. Ana kayacı tüf olan örnek propilitik alterasyona uğramıştır. Örneğin 10. dakikadaki pH değeri 7,96, 3. haftanın sonunda ise 7,94 olarak ölçülmüştür (Çizelge 108; Şekil 205). Bu durum hafif asidik saf su ile muameleden sonra ortam pH'ını yükselttiğini göstermiştir. Buna göre, örneğin asit üretmez olduğu söylenebilir. Eh'da zamana bağlı değişim gözlenmezken, EC'nin kararlı biçimde artıp, değerler yaklaşık 2 katına çıkmıştır. Suda çözünen mineralin hafif alkaline ortamda bile, yavaş da olsa çözüldüğü, buna karşın, çözeltiye geçen iyonların diğer parametreleri etkilemediği görülmektedir.

Çizelge 108. 5 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri

Örnek adı	Saat	pH		Eh (mV)		T (°C)		EC (µS/cm)		Sal (%)	
		1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm
5	0,16	8,04	7,96	-80	-75	21,3	21,4	225	297	0	0
	0,33	8,18	8,1	-89	-83	22	21,7	264	306	0	0
	1	8,08	8,03	-82	-80	22,1	22,1	304	314	0	0
	24	8,09	8,04	-67	-64	22	21,7	341	335	0	0
	48	7,89	7,87	-56	-55	22	22,4	437	396	0	0
	168	7,94	8,07	-58	-66	20,3	20,2	405	361	0	0
	336	7,61	7,76	-55	-63	20,4	20,4	468	424	0	0
504	7,86	7,94	-61	-65	21,6	21,5	503	458	0	0	



Şekil 205. Çamur pH'ı yöntemi ile 5 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi.

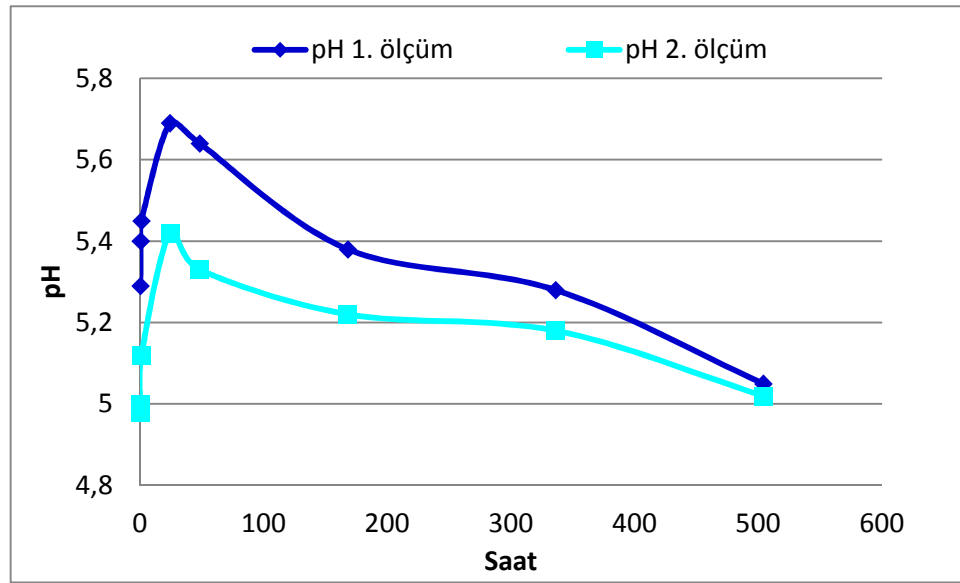
## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Çamur pH'ı testi uygulanan 8. örnek (örnek no: 6) çalışma alanının güneyinde, Çamtaşı kayasının kuzeyinden alınmıştır. Ana kayacı andezit olan örnek, arjilik alterasyona uğramıştır. Örneğin 10. dakikada ölçülen pH değeri 4,98, maksimum pH değeri ise 1. saatte ölçülen 5,69'dur (Çizelge 109; Şekil 206). Zamanla bu değer azalmış ve 3. haftanın sonunda pH değeri 5,02 ölçülmüştür. Örneğin elektriksel iletkenlik değeri ise zaman içerisinde artmış, maksimum değer 3. haftanın sonunda 289  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ölçülmüştür. Örneğin bünyesinde barındırdığı minerallerin çözünürlüklerinin yavaş olduğu söylenebilir.

Çizelge 109. 6 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri

Örnek adı	Saat	pH		Eh (mV)		T (°C)		EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		Sal (%)	
		1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm
6	0,16	5,29	4,98	86	105	20,7	20,7	89	99	0	0
	0,33	5,4	5	80	104	21	20,9	101	120	0	0
	1	5,45	5,12	77	97	21,2	21,6	112	155	0	0
	24	5,69	5,42	66	82	20,5	20,6	155	178	0	0
	48	5,64	5,33	70	87	20,8	20,9	168	197	0	0
	168	5,38	5,22	85	95	20,8	20,9	231	254	0	0
	336	5,28	5,18	91	96	21,7	21,7	247	273	0	0
	504	5,05	5,02	105	107	23,4	23,5	257	289	0	0



Şekil 206. Çamur pH'ı yöntemi ile 6 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi.



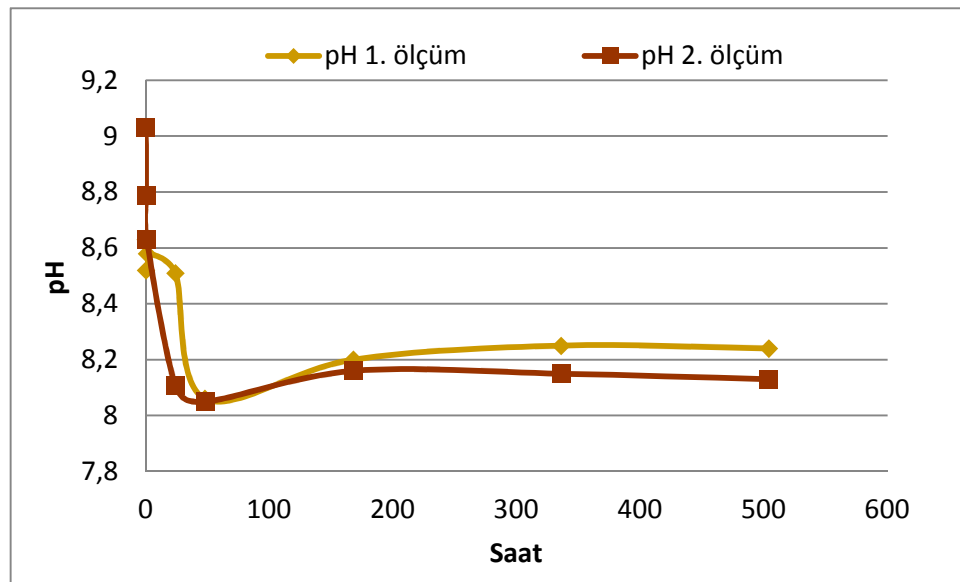
## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Çamur pH'ı testi uygulanan 9. örnek (örnek no: 7) Hacıbekirler köyünün güneydoğusunda yer almaktadır. Örneğin ana kayacı andezit olup, propilitik alterasyona uğramıştır. Örneğin maksimum pH değeri 10. dakikada ölçülen 9,03'tür (Çizelge 110; Şekil 207). 48 saat süresince pH değeri azalmış sonrasında az miktarda artarak 1. haftanın sonrasında 8,2'de sabitlenmiştir. Bu durum, çözeltilinin hızlı biçimde dengeye geldiği ifade etmektedir. EC değeri ise zaman içerisinde artmış, maksimum değer 3. haftanın sonunda 329  $\mu\text{S/cm}$  ölçülmüştür.

Çizelge 110. 7 no'lu andezit örneğinin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri

Örnek adı	Saat	pH		Eh (mV)		T (°C)		EC ( $\mu\text{S/cm}$ )		Sal (‰)	
		1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm
7	0,16	8,63	9,03	-104	-128	21,3	21,4	116	102	0	0
	0,33	8,52	8,79	-98	-113	21,5	21,5	128	144	0	0
	1	8,58	8,63	-102	-104	21,3	21,2	137	180	0	0
	24	8,51	8,11	-97	-74	20,9	21,6	165	235	0	0
	48	8,06	8,05	-71	-69	21,6	21,5	186	262	0	0
	168	8,2	8,16	-81	-78	21,8	21,8	218	278	0	0
	336	8,25	8,15	-83	-78	23,3	23,5	231	321	0	0
	504	8,24	8,13	-82	-77	23,3	23,6	235	329	0	0

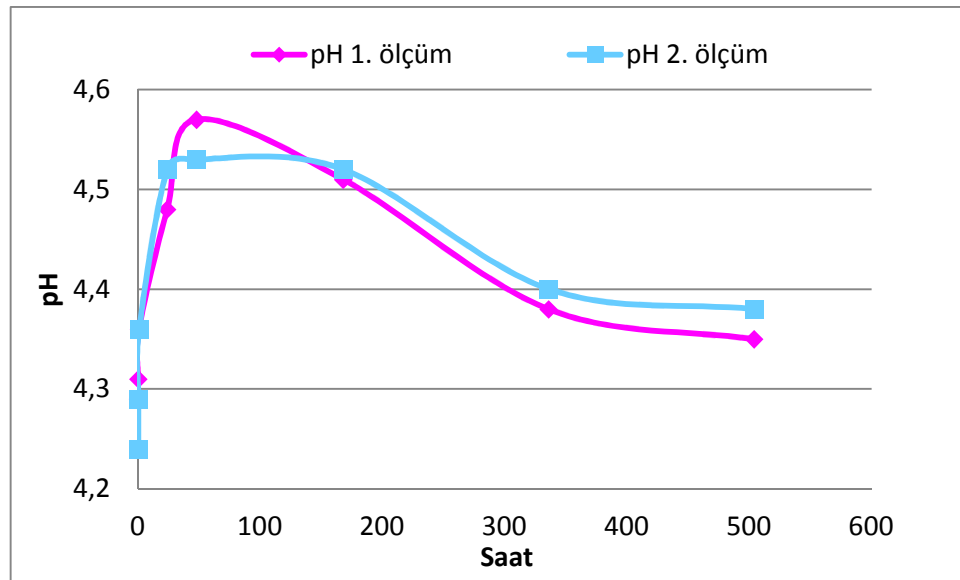


Şekil 207. Çamur pH'ı yöntemi ile 7 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi.

Çamur pH'ı testi uygulanan 10. örnek (örnek no: 8) çalışma alanın kuzey kesiminde yer alan Hacıkasım köyünün kuzey batısından alınmıştır. Örneğin ana kayacı tuf olup, arjilik alterasyona uğramıştır. Örneğin minimum pH değeri 10. dakikada ölçülen 4,24'tür (Çizelge 111; Şekil 208). Bu değer 48 saat boyunca artarak ölçülen maksimum pH değeri olan 4,57'ye ulaşmıştır. 48 saatten sonra pH değeri azalarak 3. haftanın sonunda 4,35 olarak ölçülmüştür. Örneğin asit üretir sonuçlar vermesine karşın, diğer testlerle desteklenmesi gerekmektedir. Elektriksel iletkenlik değeri ise zaman içerisinde artış göstermiş, 3. haftanın sonunda 1495  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ölçülmüştür. Artan EC değeri, pH ve Eh üzerinde etki yaratmamıştır.

Çizelge 111. 8 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri

Örnek adı	Saat	pH		Eh (mV)		T (°C)		EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		Sal (%)	
		1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm	1. ölçüm	2. ölçüm
8	0,16	4,29	4,24	149	152	20,9	20,9	552	545	0	0
	0,33	4,31	4,29	148	149	21,2	21,5	953	895	0,2	0,2
	1	4,36	4,36	145	145	21,3	21,3	1452	1406	0,5	0,5
	24	4,48	4,52	138	136	21	20,8	1487	1457	0,5	0,5
	48	4,57	4,53	136	135	21,7	21,6	1463	1468	0,5	0,5
	168	4,51	4,52	135	133	21,8	21,7	1448	1451	0,5	0,5
	336	4,38	4,4	144	142	23,5	23,4	1488	1479	0,5	0,5
	504	4,35	4,38	146	144	23,4	23,4	1495	1487	0,5	0,5



Şekil 208. Çamur pH'ı yöntemi ile 8 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi.

**4.5.1.3.2. Çamur pH'ı testinin değerlendirilmesi**

Bu çalışmada, çamur pH'ı testinde saf su ile muamele edilen her örneğin fizikokimyasal parametre değerleri ölçülmüştür. Çözeltilerin zamana karşı pH değişimi araştırılmıştır. Çamur pH'ı testi ile bir örneğin AMD üretme olasılığı belirlenirken, bekleme süresi araştırmacıya bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu çalışmada, çözelti pH'ının ne kadar zamanda dengeye geldiğini saptamak için 8 örnekte 3 hafta, 2 örnekte ise 9 hafta boyunca ölçümler sürdürülmüştür. Ölçülen pH değerleri kayda değer çözünmenin ilk 10 dakika içerisinde gerçekleştiğini ifade etmektedir. Zamana bağlı büyük değişimler gösteren değer, çözeltinin elektriksel iletkenlik değeridir.

Miller ve Murray (1988), çamur pH'ı 4'ün altında olan kayaçların asit toksik kabul edilebileceğini ve % 0,5'ten fazla sülfür içeren kayaçların kayda değer asit üretebileceğini belirtmiştir. Environmental Australia (1997), çamur pH'ı testinde elde edilen pH değerinin 4'ten küçük, elektriksel iletkenlik değerinin 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den büyük olduğu ölçüldüğünde numunenin asit üreteceğini vurgulamıştır. Morin ve Hutt (1997), pH 6'yı temel alıp ölçülen bu değer altında olduğunda numunenin asit üretken olacağını belirtmiştir. Lottermoser (2010), çamur pH'ı yönteminde pH değerinin 4'ün altında ölçüldüğünde asit üretir anlamında olduğunu ve eğer elektriksel iletkenlik değeri 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den büyük ise atıktan suya toplam çözünmüş katı madde özütlemesi (liçi) olduğunu ifade etmiştir.

Çözeltinin pH'ı kullanılan saf suyun pH'ından küçük ise numune asit üretebilir ayrıtısından yola çıkarak testlerde kullanılan saf suyun pH değeri 6,1-6,3 aralığında ölçülmüştür. Çamur pH'ı testine göre P-2, 1, 2, K-1, K-2, 6 ve 8 no'lu örneklerde 3. haftanın sonunda bu pH değerinin altında ( $\leq 5$ ) olan değerler ölçülmüştür. Ayrıca P-2, 1, 2, K-1 ve K-2 örneklerinin, EC değerleri de kritik eşik değer olan 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'in oldukça üzerindedir. Bu örneklerin uygun koşullar altında AKD/AMD üretme potansiyellerinin yüksek olduğu ifade edilebilir.

**4.5.1.4. Standart asit baz hesaplama (ABH) testi**

Grube ve ark. (1973) ile Smith ve ark. (1974) tarafından, kömür yataklarında karşılaşılan AMD sorunu temel alınarak geliştirilen yöntem, üzerinde Sobek ve ark. (1978)'nin bazı değişiklikler yapmasıyla, bilinen işlem sürecine kavuşmuştur. Metotta ilk adım AÜP değerinin hesaplanmasıdır. Yukarıda da belirtildiği gibi, AÜP değerinin

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

tespitinde herhangi bir deneysel işlem söz konusu değildir. İkinci adım ise NP değerinin hesaplanmasıdır. Nötrleştirme potansiyeli bulunurken miktarı ve şiddeti fişirdama testine (Sobek ve ark., 1996) göre tespit edilen asitle nötrleştirme potansiyeli belirlenecek numune muamele edilip, tüketilen asidi belirlemek için geriye titrasyon veya numunenin doğrudan asit titrasyonu yapılır. Bulunan değer kg CaCO<sub>3</sub>/ton eşdeğeri olarak ifade edilir.

#### 4.5.1.4.1. ABH testinin uygulandığı örnekler

Bu test, 24 farklı örneğe 2 kez tekrarlanarak toplam 48 ölçüm yapılmıştır. Yorumlama kıstasında kullanılacak değer ise NP ve AÜP değerleri birbirleri ile oranlanarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 112; 113; 114'de sunulmuştur.

Çizelge 112. HD-39 no'lu sondajın Standart ABH testi sonuçları

Örnek adı	Derinlik (m)	Sarfiyat-HCl		Sarfiyat-NaOH		NP	Ortalama NP	AÜP	NAÜP
		Miktar (ml)	Molarite (M)	Miktar (ml)	Molarite (M)				
HD-39	7,85	20	0,1	19,36	0,1	1,6	2,02	2,18	0,92
		20	0,1	19,02	0,1	2,45			
	17,2	20	0,1	19,04	0,1	2,4	1,37	1,56	0,88
		20	0,1	19,86	0,1	0,35			
	19,6	20	0,1	19,42	0,1	1,45	1,76	66,87	0,02
		20	0,1	19,17	0,1	2,075			
	36,2	20	0,1	18,95	0,1	2,625	1,88	84,37	0,02
		20	0,1	19,54	0,1	1,15			
	46,2	20	0,1	18,92	0,1	2,7	2,86	133,43	0,02
		20	0,1	18,79	0,1	3,02			
	88,4	20	0,1	14,76	0,1	13,1	12,47	111,25	0,11
		20	0,1	15,26	0,1	11,85			
	126,4	80	0,5	63,74	0,5	203,25	233,75	125,62	1,86
		80	0,5	58,86	0,5	264,25			

Çizelge 113. Pasa örneklerinin Standart ABH testi sonuçları

Örnek adı	Sarfiyat-HCl		Sarfiyat-NaOH		NP	Ortalama NP	AÜP	NAÜP
	Miktar (ml)	Molarite (M)	Miktar (ml)	Molarite (M)				
P-1	20	0,1	32,83	0,1	-32,07	-30,65	22,18	-1,38
	20	0,1	31,69	0,1	-29,22			
P-2	20	0,1	32,33	0,1	-30,82	-31,46	20,31	-1,54
	20	0,1	32,84	0,1	-32,1			
P-3	20	0,1	39,8	0,1	-49,5	-48,58	175,31	-0,27
	20	0,1	39,07	0,1	-47,67			

**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

P-4	20	0,1	27,79	0,1	-19,47	-18,43	43,12	<b>-0,42</b>
	20	0,1	26,96	0,1	-17,4			
P-5	20	0,1	31,26	0,1	-28,15	-30,58	20,93	<b>-1,46</b>
	20	0,1	33,21	0,1	-33,02			
P-6	20	0,1	36,94	0,1	-42,35	-42,51	52,81	<b>-0,80</b>
	20	0,1	37,07	0,1	-42,67			
P-7	20	0,1	34,62	0,1	-36,55	-36,83	40,31	<b>-0,91</b>
	20	0,1	34,85	0,1	-37,12			

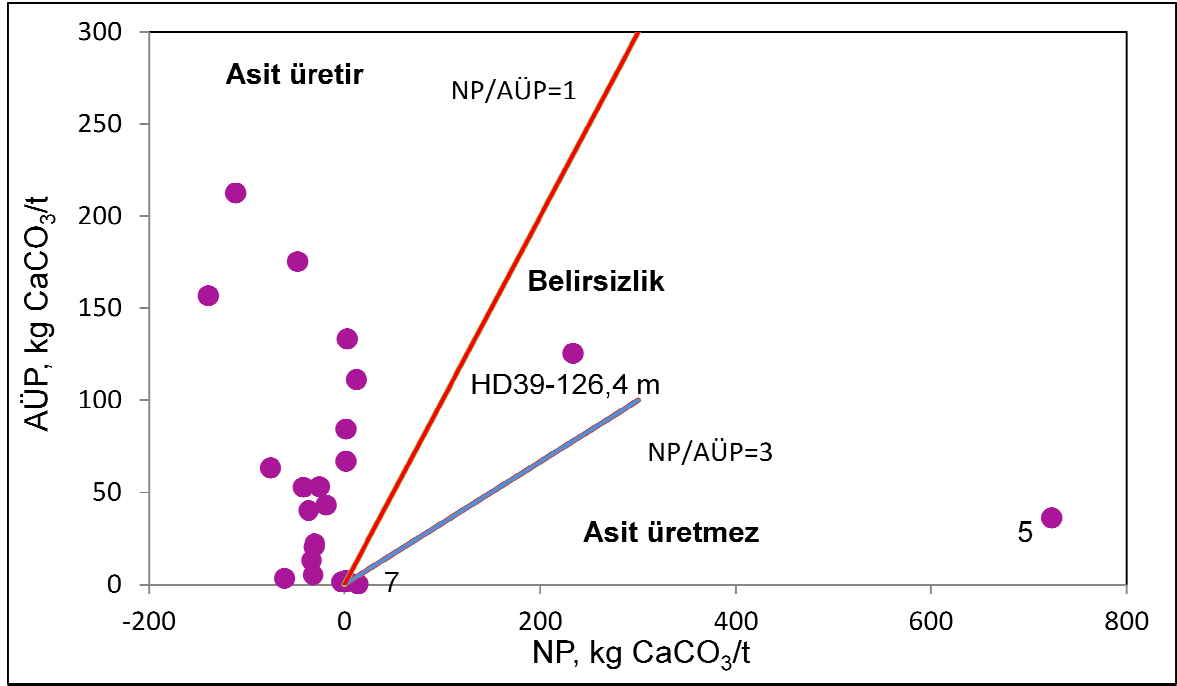
Çizelge 114. Kayaç örneklerinin Standart ABH testi sonuçları

Örnek adı	Sarfiyat-HCl		Sarfiyat-NaOH		NP	Ortalama NP	AÜP	NAÜP
	Miktar (ml)	Molarite (M)	Miktar (ml)	Molarite (M)				
1	20	0,1	35,23	0,1	-76,15	-76,35	63,43	<b>-1,20</b>
	20	0,1	35,31	0,1	-76,55			
2	20	0,1	24,54	0,1	-22,7	-25,4	53,12	<b>-0,47</b>
	20	0,1	25,62	0,1	-28,1			
3	20	0,1	27,41	0,1	-37,05	-33,82	13,12	<b>-2,57</b>
	20	0,1	26,12	0,1	-30,6			
4	20	0,1	20,58	0,1	-2,9	-2,37	1,56	<b>-1,52</b>
	20	0,1	20,37	0,1	-1,85			
5	80	0,5	51,65	0,5	708,75	723,12	36,25	<b>19,94</b>
	80	0,5	50,5	0,5	737,5			
6	20	0,1	31,26	0,1	-56,3	-61,9	3,43	<b>-18,00</b>
	20	0,1	33,5	0,1	-67,5			
7	40	0,1	37,97	0,1	10,15	14	0,31	<b>44,8</b>
	40	0,1	36,43	0,1	17,85			
8	20	0,1	25,78	0,1	-28,9	-32,2	5,31	<b>-6,06</b>
	20	0,1	27,1	0,1	-35,5			
K-1	20	0,1	49,81	0,1	-149,05	-139,35	156,87	<b>-0,88</b>
	20	0,1	45,93	0,1	-129,65			
K-2	20	0,1	42,81	0,1	-114,05	-111,85	212,5	<b>-0,52</b>
	20	0,1	41,93	0,1	-109,65			

**4.5.1.4.2. ABH testinin değerlendirilmesi**

ABH sonuçları, Brodie ve ark. (1991) tarafından geliştirilen ve NP/AÜP değerinin kaldığı aralığa bakılarak 3 kategoriye ayrılmıştır (Çizelge 115). NP/AÜP > 3 iken numune asit üretmez,  $1 < NP/AÜP < 3$  aralığında ise belirsizlik söz konusu olup jeokimyasal kinetik testler gerekir ve  $NP/AÜP < 1$  ise numune asit üretir şeklinde yorumlanmaktadır. Morin ve Hutt (1994), NP/AÜP değerinin belirsizlik aralığının  $1 < NP/AAÜP < 1,3-4$  olduğunu belirtmiştir. NP'nin % 3'den fazla olması halinde sahanın bazik drenaj üreteceği, NP'nin % 1 veya daha küçük olması durumunda da drenajın asidik olacağı öngörülmüştür (DiPretoro ve Rauch, 1988; Karadeniz, 2011).

Bu çalışma kapsamında Brodie ve ark. (1991)'nin yorumlaması kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre pasa örneklerinin tümü asit üretir sınıfındadır (Şekil 209). HD-39 no'lu sondajda 126,4 m derinlikten alınan örnek belirsizlik aralığında yer alır, diğer tüm örnekler asit üretir sınıfındadır. 5 ve 7 no'lu kayaç örnekleri asit üretmez sınıfında yer almakta olup, diğer tüm kayaç ve kömür örnekleri asit üretir sınıfındadır.



Şekil 209. ABH testinde tüm örneklerin asit üretme potansiyellerinin değerlendirilmesi.

#### 4.5.1.5. Nötrleştirme potansiyeli (pH6) testi

pH6 testi, Duncan ve Walden (1975) tarafından geliştirilen British Columbia Araştırma Başlangıç (BCAB) testinin, Lapakko (1994) tarafından modifiye edilmesi suretiyle geliştirilmiştir. Yöntem Lapakko testi adıyla da bilinmektedir (Wang, 1998). pH6 testinde, numunenin nötrleşme potansiyeli, sülfürik asit titrasyonu ile tüketilmemiş asit miktarının belirlenmesi ile elde edilmektedir. Süreç en az 6 saat sürmektedir.

##### 4.5.1.5.1. pH6 testinin uygulandığı örnekler

pH 6 testi tüm örneklere uygulanmasına karşın, 4, 5 ve 7 no'lu volkanik kayaç örnekleri ile Teck Maden Şirketi'ne ait sondajlardan (HD-39) alınan karot örneklerinde

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

gerçekleştirilebilmiştir. 9 ayrı örnek üzerinde uygulanabilen testte 2 paralel deney ile toplam 18 ölçüm yapılmıştır (Çizelge 115; 116).

Çizelge 115. Bazı kayaç örneklerinin pH6 testi sonuçları

Örnek adı	pH <sub>ilk</sub>	T (°C)	1 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)			kg CaCO <sub>3</sub> / t		
			Sarfiyat-1	Sarfiyat-2	Ortalama	NP	AÜP	NAÜP (NP/AÜP)
1	4,01	20,7	Ölçülen ilk değer pH< 6 olduğundan, deney gerçekleşmedi					
2	3,21	20,9	Ölçülen ilk değer pH< 6 olduğundan, deney gerçekleşmedi					
3	3,58	21,3	Ölçülen ilk değer pH< 6 olduğundan, deney gerçekleşmedi					
4	6,4	20,8	0,41	0,39	0,4	1,96	1,56	1,25
5	7,95	20,6	7,83	7,34	7,6	37,24	36,25	1,02
6	5,68	21,9	Ölçülen ilk değer pH< 6 olduğundan, deney gerçekleşmedi					
7	8,51	22,1	0,49	0,54	0,51	2,52	0,31	8,07
8	4,58	21,5	Ölçülen ilk değer pH< 6 olduğundan, deney gerçekleşmedi					

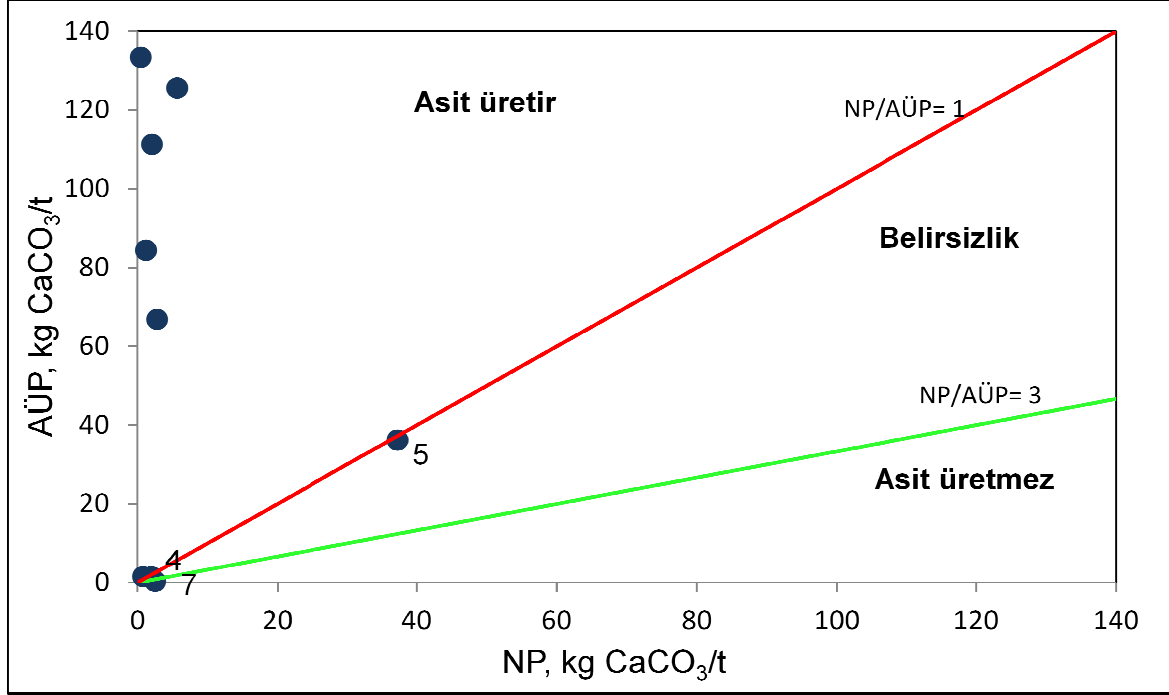
Çizelge 116. HD-39 no'lu sondajın farklı derinliklerine ait örneklerin pH6 testi sonuçları

Örnek adı	Derinlik m	pH <sub>ilk</sub>	T °C	1 N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ml)			kg CaCO <sub>3</sub> / t		
				Sarfiyat-1	Sarfiyat-2	Ortalama	NP	AÜP	NAÜP (NP/AÜP)
HD-39	7,85	5,99	21,2	Ölçülen ilk değer pH< 6 olduğundan, deney gerçekleşmedi					
	17,2	7,03	21,4	0,16	0,17	0,16	0,78	1,56	0,50
	19,5	8,08	20,9	0,55	0,59	0,57	2,79	66,87	0,04
	36,2	7,42	20,8	0,26	0,25	0,25	1,22	84,37	0,01
	46,2	6,33	21,7	0,07	0,12	0,09	0,44	133,44	0,003
	88,4	7,56	22,1	0,41	0,43	0,42	2,05	111,25	0,01
	126,4	8,08	21,3	1,13	1,18	1,15	5,63	125,63	0,04

#### 4.5.1.5.2. pH6 testinin değerlendirilmesi

pH 6 testinde 15 dakikalık karıştırma sonrasında 1, 2, 3, 6 ve 8 no'lu kayaç örneklerin ölçülen pH değerlerinin 6'nın altında olması nedeniyle deney sürdürülemedi. Bu durum, bu örneklerin asit üretken olabileceğini göstermektedir. Pasa örneklerinde ise pH değerinin 4'ten küçük ölçülmesi nedeniyle deneyi sürdürmek mümkün olmamıştır.

pH6 testi uygulanarak elde edilen sonuçlar, ABH testinde olduğu gibi Brodie ve ark. (1991) tarafından geliştirilen ve NAÜP değerinin kaldığı aralığa bakılarak yorumlanmıştır. Bu sonuçlara göre 4 ve 5 no'lu örnekler belirsizlik aralığında kalmış olup, 7 no'lu örnek ise asit üretmez sınıfındadır (Şekil 210). HD-39 no'lu sondaja ait tüm örneklerin asit üretir nitelik taşımaktadır.



Şekil 210. pH6 testinde tüm örneklerin asit üretme potansiyellerinin değerlendirilmesi.

#### 4.5.1.6. Net asit üretme (NAÜ) testi

Coastech Research Inc.'da (1989) geliştirilen, Miller ve ark. (1990) tarafından sunulan bu yöntem, NAÜ potansiyelinin doğrudan saptanmasının hedeflendiği, tepkimelerin hızla meydana gelmesi için kuvvetli bir oksitleyici olan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin tercih edildiği bir testtir. Sobek ve ark. (1978), bu yöntemi, sülfür minerallerinin oksidasyonunu hidrojen peroksit ilavesi ile hızlandırarak topraktaki asit potansiyelini belirlemek için uygulamıştır. Tran ve ark. (2003), NAÜ testini, asit üreten ve asit nötrleştirilen tepkimelerin birlikte meydana gelmesini olanaklı kılarak, numunenin jeokimyasal tabiatını ölçen bir laboratuvar prosedürü olarak tanımlamıştır.

Bu testin amacı AMD'ni laboratuvar koşullarında hızlandırılmış olarak gerçekleştirmektir. Bu amaçla, örnek içinde mevcut olan kükürt, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilerek oksitlemek suretiyle tamamen çözündürülmeye çalışılır. Bu dönüşüm sırasında örnek içerisinde bulunan nötrleştirici diğer mineraller de çözünerek nötralizasyon işlemini gerçekleştirirler. NAÜ testinin S analizi gerektirmeyen, asit üreten minerallerin çözünmesiyle ortaya çıkacak pH'ı doğrudan kestirmeye dönük yaklaşımı, bu testi diğer testlerden ayırmaktadır.



**4.5.1.6.1. NAÜ testinin uygulandığı örnekler**

NAÜ testi kömür örnekleri haricinde, tüm örnekler üzerine uygulanmıştır. 22 ayrı örnek üzerinde uygulanan test 2 paralel deney ile toplam 44 ölçüm yapılmıştır (Çizelge 117; 118; 119).

Çizelge 117. HD-39 no'lu sondajın farklı derinliklerine ait örneklerin NAÜ testi sonuçları

Örnek adı	Derinlik m	NAÜ <sub>pH</sub>	T °C	NAÜ <sub>pH<sub>4,5</sub></sub>		NAÜ <sub>pH<sub>7</sub></sub>	
				NaOH (ml)	kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /t	NaOH (ml)	kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /t
HD-39	7,85	3,55	21,1	1,44	2,82	12,54	24,57
		3,48	21,4	1,67	3,27	8,99	17,62
	17,2	3,95	20,9	1,18	2,31	8,19	16,05
		3,94	20,1	1,16	2,27	8,31	16,28
	19,5	3,89	21,8	0,85	1,66	6,33	12,40
		3,77	21,3	1,22	2,39	6,92	13,56
	36,2	2,89	21,9	3,29	6,44	7,38	14,46
		2,91	22,6	3,32	6,50	7,44	14,58
	46,2	2,4	22,1	3,84	37,63	5,79	56,74
		2,43	22,9	3,56	34,88	5,74	56,25
	88,4	2,24	22,1	4,95	48,51	6,42	62,91
		2,25	22,4	4,84	47,43	6,3	61,74
	126,4	2,57	20,8	9,24	18,11	13,59	26,63
		2,56	21,3	10,03	19,65	14,32	28,06

Çizelge 118. Pasa örneklerinin NAÜ testi sonuçları

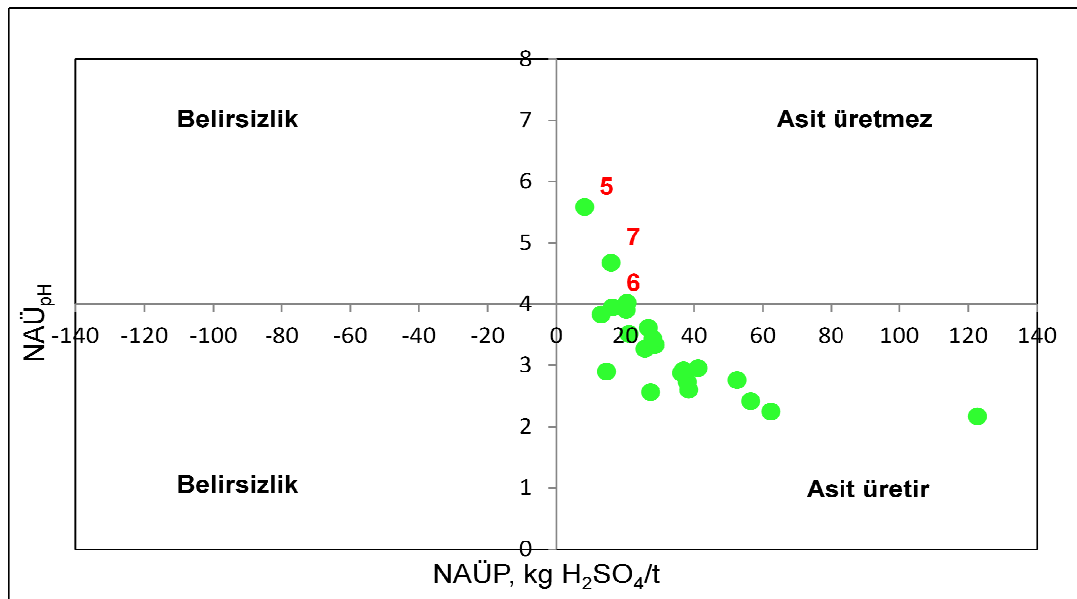
Örnek adı	NAÜ <sub>pH</sub>	T °C	NAÜ <sub>pH<sub>4,5</sub></sub>		NAÜ <sub>pH<sub>7</sub></sub>	
			NaOH (ml)	kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /t	NaOH (ml)	kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /t
P-1	2,92	22,1	6,83	13,38	22,03	43,17
	2,99	22,3	6,56	12,85	19,98	39,16
P-2	3,27	22,4	3,8	7,44	13,45	26,36
	3,27	21,9	3,73	7,31	12,76	25
P-3	2,17	21,8	8,09	79,28	12,64	123,87
	2,17	21,5	7,77	76,14	12,39	121,42
P-4	3,33	22,2	4,48	8,78	15,4	30,18
	3,34	20,9	2,87	5,62	13,9	27,24
P-5	2,76	21,5	12,32	24,14	27,32	53,54
	2,76	21,2	12,25	24,01	26,25	51,45
P-6	2,61	21,3	9,19	18,01	19,65	38,51
	2,6	21,7	9,32	18,26	19,58	38,37
P-7	2,89	21,8	6,76	13,24	18,91	37,06
	2,87	21,1	6,48	12,70	18,22	35,71

Çizelge 119. Kayaç örneklerinin NAÜ testi sonuçları

Örnek adı	NAÜ <sub>pH</sub>	T °C	NAÜ <sub>pH4,5</sub>		NAÜ <sub>pH7</sub>	
			NaOH (ml)	kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /t	NaOH (ml)	kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /t
1	2,71	23,1	7,85	15,38	19,79	38,78
	2,75	22,7	7,48	14,66	19,03	37,29
2	2,95	22,4	6,88	13,48	18,79	36,82
	2,89	21,9	6,96	13,64	18,92	37,08
3	3,4	22,5	2,7	5,29	14,51	28,43
	3,46	22,8	2,63	5,15	14,08	27,59
4	3,59	21,3	2,51	4,91	13,73	26,91
	3,64	21,5	2,47	4,84	13,56	26,57
5	5,56	23,6	-	-	4,22	8,27
	5,61	23,2	-	-	4,15	8,13
6	3,85	22,4	0,94	1,84	10,62	20,81
	4,2	21,6	0,54	1,05	10,35	20,28
7	4,6	22,5	-	-	8,17	16,01
	4,75	22,8	-	-	8,02	15,71
8	3,91	21,4	0,73	1,43	10,48	20,54
	3,9	21,8	0,77	1,50	10,19	19,97

#### 4.5.1.6.2. NAÜ testinin değerlendirilmesi

Net asit üretme testinde ölçülen nihai pH > 4 olduğunda numunenin asit üretmeyeceği, pH ≤ 4 iken sülfürün oksitlenmesi fazla miktarda asit üreteceğinden numunenin riskli sınıfa girdiği belirtilmiştir (Environment Australia, 1997). NAÜ sonuçlarına göre 5, 6 ve 7 no'lu kayaç örnekleri haricindeki tüm örnekler asit üretir sınıfında yer almaktadır (Şekil 211).



Şekil 211. NAÜ testinde tüm örneklerin asit üretme potansiyellerinin değerlendirilmesi.

**4.5.1.7. Statik testlerin yorumlanması**

Çalışma alanındaki farklı birimleri temsil eden 24 ayrı örnek üzerine 4 farklı jeokimyasal statik test uygulanmıştır. Çizelge 120'de testler sonucunda elde edilen tüm sonuçlar birlikte değerlendirilmiştir.

Çizelge 120. Statik testlerin birlikte değerlendirilmesi

Örnek adı	Alındığı derinlik (m)	Çamur pH'ı		ABH			pH6			NAÜ		
		A	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
HD-39	7,85			✓			✓			✓		
	17,2			✓			✓			✓		
	19,5			✓			✓			✓		
	36,2			✓			✓			✓		
	46,2			✓			✓			✓		
	88,4			✓			✓			✓		
	126,4					✓	✓			✓		
1	Yüzey	✓		✓						✓		
2		✓		✓						✓		
3				✓						✓		
4			✓	✓				✓		✓		
5			✓			✓		✓				✓
6		✓		✓							✓	
7			✓			✓			✓			✓
8		✓		✓							✓	
K-1		✓		✓								
K-2	40	✓		✓								
P-1	Yüzey			✓						✓		
P-2		✓		✓						✓		
P-3				✓						✓		
P-4				✓						✓		
P-5				✓						✓		
P-6				✓						✓		
P-7				✓						✓		

A: asit üretir, B: belirsiz, C: asit üretmez

Jeokimyasal statik testler kapsamında çalışma alanında asit üreten litolojilerin varlığı saptanmıştır. Tüm testler ile elde edilen sonuçlar bir kaç istisna dışında birbirleriyle

uyumludur. Tüm sonuçlar ışığında; kömür ocakları çevresindeki pasalar, Çan formasyonuna ait kömürler, arjilik ve silisik alterasyon zonlarından alınan andezitlerin asit üretir nitelikte olduğu belirlenmiştir. Propilitik alterasyon zonundan alınan 5 no'lu tuf ve 7 no'lu andezit örneği asit üretmez niteliktedir.

HD-39 no'lu araştırma sondajının farklı derinliklerinden alınan örneklerin NAÜ testine göre, asit üretir çıkmaktadır, ayrıca pH6 ve ABH testleri de bu sonucu doğrulamaktadır. Pirit, jarosit gibi minerallerin varlığı asit üretimine neden olmaktadır.

Statik testlerde bazı varsayımlar söz konusudur; asit tüketen mineraller doğada da tümüyle tepkimeye girer ve asit üretenlerle tüketenlerin çözünme hızları aynıdır.  $\Sigma S$  değerinin 31,25 katsayı ile çarpımı ile elde edilen AÜP değeri kullanılmıştır. Bir kayacın mineralojik bileşiminde bulunan  $\Sigma S$  tümüyle asit üretme potansiyeline sahip olabilir, fakat var olması tamamının çözüneceği anlamına gelmemektedir. Ayrıca kömür örneklerinin mineralojik bileşimine bakıldığında  $H_2SO_4$ 'te çözünmeyen ve asit üretimine etkisi olmayan jips mineralleri bulunmaktadır.  $\Sigma S$  dikkate alınarak hesaplama yapıldığında gerçek potansiyelin üzerinde bir AÜP değeri bulunmaktadır. Her testte kullanılan örneklerin tane boyutu farklıdır. Öğütme ile tane boyutunun küçültülmesi, tanelerin yüzey alanının büyütülerek tepkime hızını arttırmakta, hatta tepkimeye girmeyecek taneciklerin de sürece katılmasına imkan vermektedir.

#### 4.5.2. Deney havuzu

Deney havuzuna yerleştirilmesi planlanan pasa örneğinin tane boyutu seçilmeden önce asit maden göllerinin çevresindeki pasalarda tane boyut dağılımı analizi yapılmıştır. Pasaların genel olarak tane boyutu, % 70 ile 90 arasında kum boyutundaki tanelerden oluştuğu ve nem içeriğinin % 9,81 ile 12,33 aralığında olduğu saptanmıştır (Çizelge 121).

Çizelge 121. Pasa örneklerinin nem içeriği ve tane boyu dağılımı

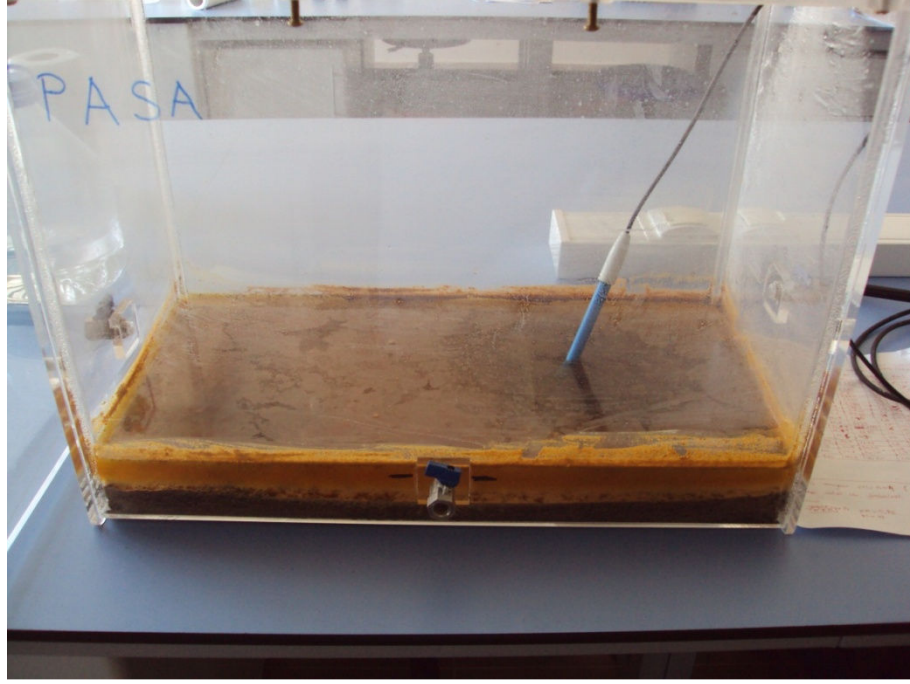
Örnek adı	Örnek hacmi	Nem içeriği	Çakıl	Kum	Kil+Silt
	g	%			
AMG-1 pasa	559,23	11,19	13	85	2
AMG-2 pasa	583,72	10,65	29	70	1
AMG-3 pasa	663,05	12,33	28	71	1
AMG-4 pasa	585,93	9,81	9	90	1
AMG-6 pasa	579,41	11,36	9	88	3

Boyutları 30 x 45 x 60 cm olan deney havuzları plexiglas malzemedan özel olarak yaptırılmıştır. 2 no'lu asit gölünün çevresinden alınan pasa örnekleri elek seti ile tane boyu 2 mm'den daha ince tane olacak şekilde, örnek hacmi ise 4 kg olarak hazırlanmıştır. 4 kg pasa üzerine 8 litre ultra saf su ilave edilmiş (1:2 oranı) ve 30.07.2012 tarihi ile 06.11.2012 tarihleri arasında düzenli olarak her gün ve yaklaşık olarak aynı saatte (14:00 ile 14:30 arası) fizikokimyasal parametre ölçümleri yapılmış, renk değişimi takip edilmiş ve her hafta kimyasal analizler için örnekler alınmış böylelikle su haftada bir 50 ml olarak sirküle ettirilmiştir.

Sudaki renk değişimi zamana bağlı olarak gri, sarı, turuncu ve turuncu-kahve renklerinde değişim göstermiştir (Şekil 212; 213). Ayrıca suyun üst tabakasında köpük oluşmuş ve köpüğün rengi zamana bağlı olarak beyaz, sarı ve turuncu renklerinde değişmiştir.



Şekil 212. Deney havuzunun 2. güne ait görünümü.



Şekil 213. Deney havuzunun 14. güne ait görünümü.

Yapılan 100 günlük ölçümün neticesinde elde edilen fizikokimyasal parametre ve renk değişimi Çizelge 122'de sunulmuştur. pH değeri 2,65 ile 2,83 arasında değişmiş olup, ortalama değeri 2,76'dır (Şekil 214). Yapılan ilk ölçümün 10. dakikada olduğu düşünüldüğünde hızlı çözünen minerallerin varlığı açıktır. Başlangıç pH'nın bu kadar düşük olmasının nedeni malzeme yüzeyinde oluşan oksidasyona bağlanabilir. pH değerinin zaman içerisinde az da olsa artması nötrleştirici minerallerin çözünme sürecini göstermektedir. Geç çözünen silikat mineralleri varlığından söz edilebilir.

Çizelge 122. Deney havuzundaki suyun fizikokimyasal parametre değerleri

Tarih	pH	Eh (mV)	T (°C)	EC (µS/cm)	Sal (%)	Su rengi
30.07.2012	2,66	237	31,4	1640	0,6	gri-sarı-kahve
31.07.2012	2,65	238	32,7	2330	1,1	gri-sarı-kahve
01.08.2012	2,68	236	32,3	2380	1,1	gri-sarı-kahve
02.08.2012	2,71	233	31,6	2580	1,2	sarı-kahve
03.08.2012	2,68	231	31,5	2660	1,3	sarı-kahve
04.08.2012	2,69	231	32,2	2700	1,3	sarı
05.08.2012	2,68	232	32,1	2780	1,3	sarı
06.08.2012	2,67	233	32,4	2880	1,4	sarı
07.08.2012	2,67	233	32,6	2940	1,4	sarı
08.08.2012	2,71	233	33,1	2980	1,5	sarı
09.08.2012	2,7	233	32,9	3170	1,6	sarı
10.08.2012	2,7	233	32,8	3130	1,5	sarı
11.08.2012	2,7	232	31,9	3190	1,6	sarı turuncu

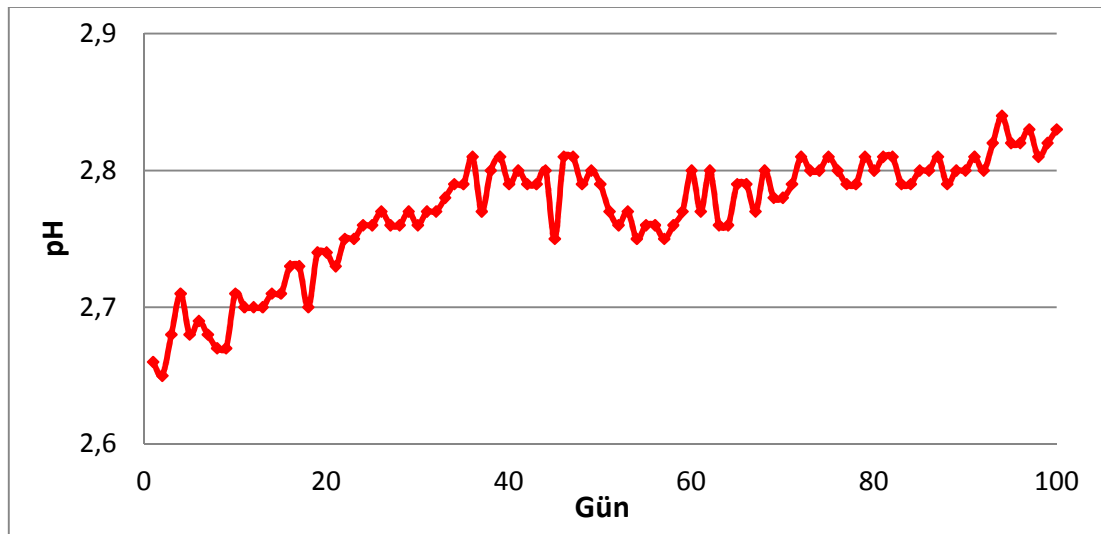
**BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL**

12.08.2012	2,71	232	31,7	3230	1,6	sarı turuncu
13.08.2012	2,71	231	31,8	3290	1,6	sarı turuncu
14.08.2012	2,73	230	30,7	3290	1,6	turuncu
15.08.2012	2,73	230	30,5	3420	1,7	turuncu
16.08.2012	2,7	232	30,8	3420	1,7	turuncu
17.08.2012	2,74	230	30,9	3430	1,7	turuncu
18.08.2012	2,74	230	30,8	3445	1,7	turuncu kahve
19.08.2012	2,73	230	31	3500	1,7	turuncu kahve
20.08.2012	2,75	229	30,5	3520	1,7	turuncu kahve
21.08.2012	2,75	229	30,8	3540	1,7	turuncu kahve
22.08.2012	2,76	229	30,9	3570	1,8	turuncu kahve
23.08.2012	2,76	228	30,7	3610	1,8	turuncu kahve
24.08.2012	2,77	228	31,1	3750	1,9	turuncu kahve
25.08.2012	2,76	229	31,3	3740	1,9	turuncu kahve
26.08.2012	2,76	229	31,5	3740	1,9	turuncu kahve
27.08.2012	2,77	228	31,1	3760	1,9	turuncu kahve
28.08.2012	2,76	229	30,8	3760	1,9	turuncu kahve
29.08.2012	2,77	228	30,6	3780	1,9	turuncu kahve
30.08.2012	2,77	228	30,4	3780	1,9	turuncu kahve
31.08.2012	2,78	226	29,7	3800	1,9	turuncu kahve
01.09.2012	2,79	224	29,5	3870	1,9	turuncu kahve
02.09.2012	2,79	224	29,3	3930	2	turuncu kahve
03.09.2012	2,81	233	28,9	3950	2	turuncu kahve
04.09.2012	2,77	225	28,6	3950	2	turuncu kahve
05.09.2012	2,8	224	28,3	4010	2,1	turuncu kahve
06.09.2012	2,81	223	27,8	4060	2,1	turuncu kahve
07.09.2012	2,79	224	28,1	4110	2,1	turuncu kahve
08.09.2012	2,8	224	27,8	4090	2,1	turuncu kahve
09.09.2012	2,79	224	26,9	4080	2,1	turuncu kahve
10.09.2012	2,79	224	26,9	4050	2,1	turuncu kahve
11.09.2012	2,8	223	26,8	4090	2,1	turuncu kahve
12.09.2012	2,75	225	26,5	4140	2,1	turuncu kahve
13.09.2012	2,81	222	26,3	4140	2,1	turuncu kahve
14.09.2012	2,81	223	26,7	4150	2,2	turuncu kahve
15.09.2012	2,79	224	26,4	4150	2,2	turuncu kahve
16.09.2012	2,8	224	27,1	4180	2,2	turuncu kahve
17.09.2012	2,79	224	27,2	4200	2,2	turuncu kahve
18.09.2012	2,77	225	26,9	4200	2,2	turuncu kahve
19.09.2012	2,76	225	26,8	4220	2,2	turuncu kahve
20.09.2012	2,77	225	26,2	4250	2,2	turuncu kahve
21.09.2012	2,75	225	25,8	4280	2,2	turuncu kahve
22.09.2012	2,76	224	25,3	4270	2,2	turuncu kahve
23.09.2012	2,76	224	25,4	4350	2,3	turuncu kahve
24.09.2012	2,75	224	25,3	4380	2,3	turuncu kahve
25.09.2012	2,76	225	25,6	4350	2,3	turuncu kahve
26.09.2012	2,77	225	25,4	4310	2,3	turuncu kahve
27.09.2012	2,8	222	26,2	4260	2,2	turuncu kahve
28.09.2012	2,77	224	26,2	4340	2,3	turuncu kahve
29.09.2012	2,8	222	25,9	4370	2,3	turuncu kahve
30.09.2012	2,76	224	25,6	4390	2,3	turuncu kahve
01.10.2012	2,76	224	25,7	4400	2,3	turuncu kahve
02.10.2012	2,79	223	25,9	4420	2,3	turuncu kahve
03.10.2012	2,79	223	26,1	4470	2,3	turuncu kahve
04.10.2012	2,77	224	26	4490	2,3	turuncu kahve
05.10.2012	2,8	222	25,9	4510	2,4	turuncu kahve
06.10.2012	2,78	223	25,8	4500	2,4	turuncu kahve
07.10.2012	2,78	223	25,5	4520	2,4	turuncu kahve
08.10.2012	2,79	222	25,3	4520	2,4	turuncu kahve
09.10.2012	2,81	221	24,2	4440	2,3	turuncu kahve
10.10.2012	2,8	221	23,9	4450	2,3	turuncu kahve

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

11.10.2012	2,8	220	23	4420	2,3	turuncu kahve
12.10.2012	2,81	221	23,2	4480	2,3	turuncu kahve
13.10.2012	2,8	220	23,7	4500	2,3	turuncu kahve
14.10.2012	2,79	221	23,1	4540	2,4	turuncu kahve
15.10.2012	2,79	221	23,5	4550	2,4	turuncu kahve
16.10.2012	2,81	220	24,1	4510	2,3	turuncu kahve
17.10.2012	2,8	221	23,9	4490	2,3	turuncu kahve
18.10.2012	2,81	220	23,7	4480	2,3	turuncu kahve
19.10.2012	2,81	220	23,9	4510	2,3	turuncu kahve
20.10.2012	2,79	221	22,8	4500	2,3	turuncu kahve
21.10.2012	2,79	221	21,8	4510	2,3	turuncu kahve
22.10.2012	2,8	219	20,9	4490	2,3	turuncu kahve
23.10.2012	2,8	218	20,2	4520	2,3	turuncu kahve
24.10.2012	2,81	217	19,7	4550	2,4	turuncu kahve
25.10.2012	2,79	220	19,5	4540	2,4	turuncu kahve
26.10.2012	2,8	219	19,9	4540	2,4	turuncu kahve
27.10.2012	2,8	219	20,1	4530	2,4	turuncu kahve
28.10.2012	2,81	219	20,9	4550	2,4	turuncu kahve
29.10.2012	2,8	219	21,4	4550	2,4	turuncu kahve
30.10.2012	2,82	218	20,8	4530	2,3	turuncu kahve
31.10.2012	2,84	216	20,3	4510	2,3	turuncu kahve
01.11.2012	2,82	218	20,5	4520	2,3	turuncu kahve
02.11.2012	2,82	217	20,4	4530	2,3	turuncu kahve
03.11.2012	2,83	217	20,6	4540	2,4	turuncu kahve
04.11.2012	2,81	218	20	4500	2,3	turuncu kahve
05.11.2012	2,82	217	20,7	4500	2,3	turuncu kahve
06.11.2012	2,83	217	20,9	4510	2,3	turuncu kahve
<b>Ortalama</b>	<b>2,76</b>	<b>224,88</b>	<b>26,80</b>	<b>3984,75</b>	<b>2,03</b>	<b>-</b>

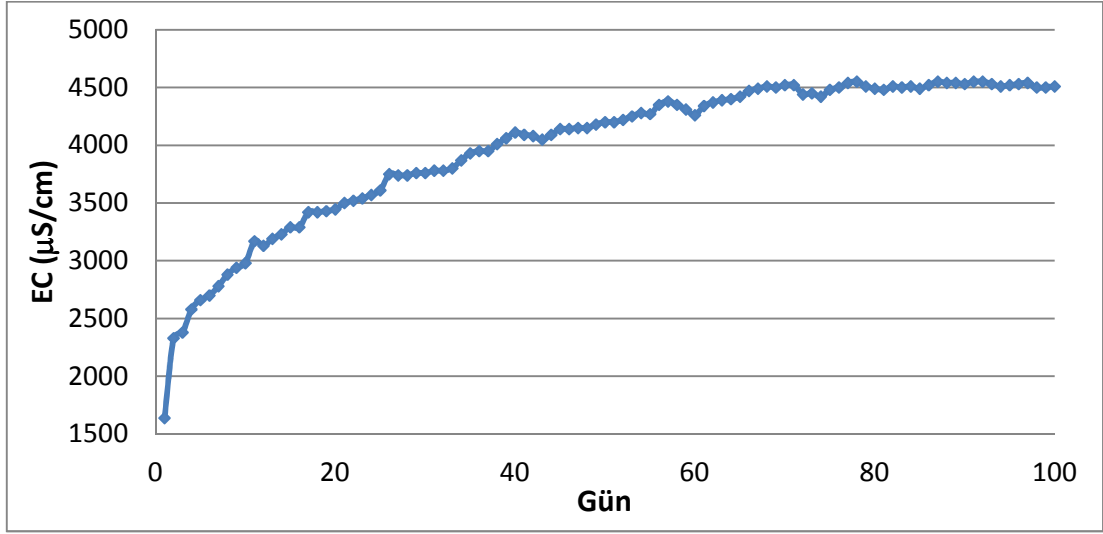


Şekil 214. Deney havuzundaki suyun zamana bağlı pH değişim grafiği.

EC değerleri 1640 ile 4550  $\mu\text{S}/\text{cm}'\text{e}$  arasında, zamana bağlı artış göstermiştir (Şekil 215). Bu değer 78. günde maksimum değer olan 4550  $\mu\text{S}/\text{cm}'\text{e}$  ulaşmış, daha sonraki günlerde EC değeri sabitlenmiştir. Zamana bağlı artan EC değeri, minerallerin



çözünmesiyle birlikte çözeltinin içindeki çözünmüş mineral miktarında zamana bağlı artış olduğu şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 215. Deney havuzundaki suyun zamana bağlı EC değişim grafiği.

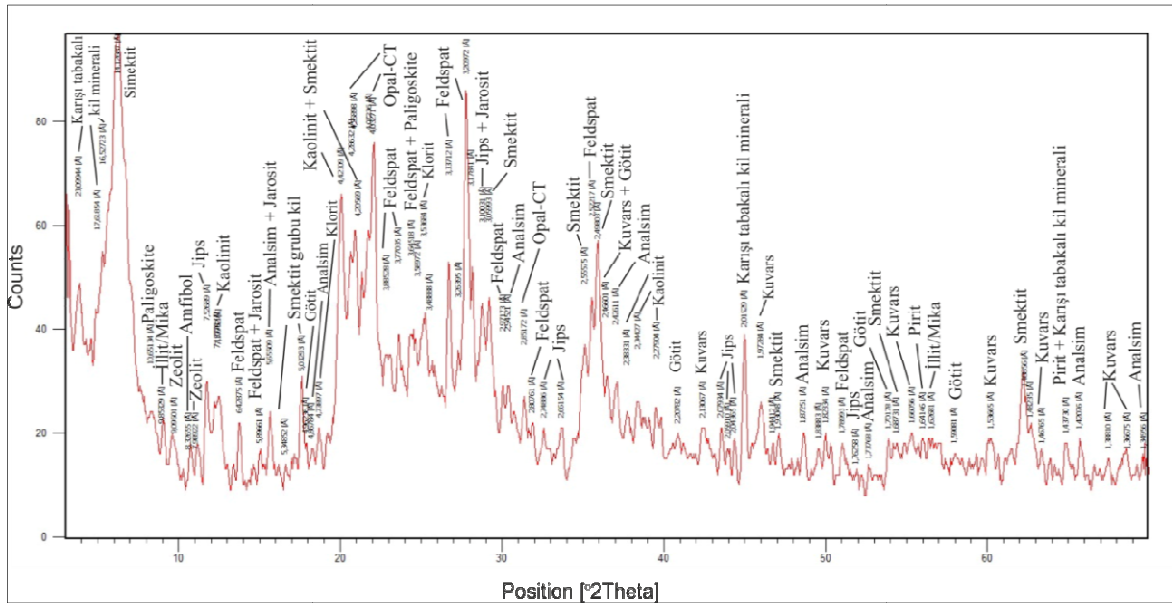
Hava içerdiği oksijen nedeniyle AMD tepkimelerinin ilerlemesi açısından önemlidir. AMD tepkimeleri için gerekli oksijen piritin az miktarda hava ile temas etmesi durumunda bile sağlanabilmektedir. Ortamda hava olmaması durumunda ise gerekli oksijen suda çözülmüş olan oksijenden sağlanmaktadır (Güler, 2001). Bu durum uygulanan sülfürlü demir atıklarının su altında depolama rehabilitasyon yönteminin AMD'nin önlenmesi açısından uygun olmadığını göstermektedir.

Bakteriler, AMD tepkimelerinin oluşum hızına etki eden önemli bir etkidir. Uygun pH ve sıcaklık koşullarında bakterilerin kendiliğinden sisteme girmeleri, üremeleri ve tepkimelere etki etmeleri mümkündür. Bu test sırasında ortama dışarıdan bakteri ilavesi yapılmamıştır. Ancak bakterilerin üremesini engellemek için sterilizasyon çalışması da yapılmamıştır.

Zamana bağlı olarak Al, Fe, Mn, Ni, Zn gibi element konsantrasyonlarında artış saptanmıştır. EC'nin sabitlendiği 78. günün sonrasın element konsantrasyonları azalmıştır.

Deney havuzuna yerleştirilen pasa örneği P-2'nin 100 günün sonunda XRD analizi yaptırılarak mineral değişimleri saptanmıştır (Şekil 216; Çizelge 123). Deneyden önce malzemenin içindeki minerallerin varlıklarına göre sıralaması, deney tamamlandığında

değişmiştir. Hızlı çözünen, yavaş çözünen veya çözünmeyen mineraller birbirinden ayrılan davranışlar göstermektedir. Örneğin en çok bulunan mineral, diğerlerinden fazla çözünmüşse, sıralamada aşağılara iner. Tersine, yavaş çözünen ya da çözünmeyen mineraller, daha ziyade katı kısımda kalacaklarından, varlıkları artmadığı halde, oranları artmış olacaktır. Pasadaki kaolinit ve illit başlangıçta bir ve ikinci sıralarda iken, deney sonrasında kaolinitin yedinci, illitin on ikinci sıraya indiği görülmüştür. Bu durum, kısmen çözünmüş ve sıvı ortama geçmiş olduklarını ifade etmektedir. Buna karşın, kolay çözünmeyen feldspat, örnekte en bol bulunan yedinci mineralken, deney sonrasında ikinci sıraya çıkmış, pek çözünmemiştir. Kısacası, bir şekilde, az ya da çok çözünen minerallerin bir kısmı sıvı ortama geçtiğinden, katıdaki oranları düşmüş, çözünmeyenler katıda kalmış ve varlık miktarları değil, ama oranları yükselmiştir.



Şekil 216. Deney havuzunda 100 günün sonunda dip sedimanında oluşan mineraller.

Çizelge 123. XRD analiz sonuçlarına göre dip sedimanının mineral içeriği

Mineral	Miktar
Smektit grubu kil minerali	Majör
Feldspat grubu kil minerali	Majör
Opal-CT	Majör
Amorf malzeme	Majör
Jips	Az
Klorit	Az

Kaolinit	Az
Tabakalı kil minerali	Az
Götit	Az
Zeolit (Analsim, Höylandit-Klinoptilolit)	Az
Kuars	Eser
İllit/Mika grubu mineral	Eser
Paligorskite	Eser
Pirit	Eser
Amfibol	Eser
Alunit grubu mineral	Eser

#### 4.5.3. Temas sızıntı testi

Temas sızıntı testinde ultra saf su ile liç edilen numuneden elde edilen liç suyu kalitesi değerlendirilmektedir. Teck Maden Şirketi'nin HD-39 no'lu araştırma sondajına ait kuyu logları incelenmiştir. Kuyu logundaki litolojiler; bazaltik andezit, hornfels ve andezittir. Sondaj loguna göre jeolojik birimlerde gözlenen alterasyon tipleri; arjilik, propilitiktir.

Farklı litolojilerden alınan numuneler modifiye EPA (1998) 1312 standardına göre 24 saat süreyle 3:1 sıvı/katı oranlı ultra saf su temas sızıntı testine tabi tutulmuştur. Elde edilen analiz sonuçları standartlarla karşılaştırılmıştır.

25 g örneğin 75 ml saf su ile karıştırılması sonucunda hazırlanan çözeltinin fizikokimyasal parametreleri ölçülmüştür. İlk ölçüm 10. dk'da, ikinci ölçüm ise bir gün sonra yapılmıştır. Çizelge 124'de fizikokimyasal parametre sonuçları sunulmuştur. Örneklerin pH değerlerinde bir günün sonunda büyük bir değişim saptanmamıştır.

Çizelge 124. Temas sızıntı testi fizikokimyasal parametre değerleri

Örnek adı	pH		Eh (mV)		T (°C)		EC (µS/cm)		Sal (%)		Renk
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
HD 39-7,85 m	5,81	5,98	57	49	20	18,7	418	453	0	0	krem
HD 39-17,2 m	6,45	6,46	21	21	19,8	18,6	170	210	0	0	çok açık yeşil
HD 39-19,5 m	7,92	7,66	-65	-49	19,6	18,6	210	278	0	0	açık yeşil
HD 39-36,2 m	7,32	7,35	-29	-31	19,5	18,4	396	458	0	0	kirli beyaz
HD 39-46,2 m	6,3	6,33	30	28	19,5	18,3	495	548	0	0	kirli beyaz
HD 39-88,4 m	7,76	7,6	-55	-45	19,5	18,4	320	381	0	0	gri
HD 39-126,4 m	8,48	8,12	-97	-79	19,4	18,1	375	506	0	0	kirli beyaz

1: 10. dk'daki ölçüm 2: 1 gün sonra yapılan ölçüm

## BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Kayaçtan suya geçen majör iyonlar Çizelge 125'de sunulmuştur. 46,2 m ile 126,4 m derinlikten alınan örneklerin SO<sub>4</sub> konsantrasyonlarının içme suyu limit değerlerinin üzerinde olduğu saptanmıştır. Çizelge 126'da temas sızıntı testi ile saf suya geçen element konsantrasyonu verilmiştir. 7,85 m derinlikten alınan örneğin Fe ve Mn, 36,2 m derinlikten alınan örneğin Mn, 46,2 m derinlikten alınan örneğin Mn ve Ni, 88,4 ve 126,4 m derinlikten alınan örneklerde ise Mn konsantrasyonları içme suyu limit değerlerinin üzerinde çıkmıştır. Bir gün gibi kısa bir sürede suya element geçişi yüksektir.

Çizelge 125. Temas sızıntı testi ile saf suya geçen majör iyonlar (mg/l)

Örnek adı	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	% e
HD 39-7,85 m	24,1	29,47	17,8	2,37	20	12	90	4,6
HD 39-17,2 m	14,8	2,85	19,36	4,8	3	21	70	4,8
HD 39-19,5 m	14,87	13,79	21,47	4,49	7	16	85	4,9
HD 39-36,2 m	7,18	32,3	52,03	9,13	3	16	210	-2,5
HD 39-46,2 m	5,27	45,43	50,71	15,37	1	4	<b>270</b>	-4,4
HD 39-88,4 m	8,81	16,64	45,21	3,86	5	18	150	-2,5
HD 39-126,4 m	7,61	22,53	77,47	3,66	7	5	<b>260</b>	-5,7

Çizelge 126. Temas sızıntı testi ile saf suya geçen element konsantrasyonu

Örnek adı	Al	As	Fe	Mn	Ni	Zn	S
	µg/l						mg/l
HD 39-7,85 m	4	1,6	<b>19568</b>	<b>18707</b>	<b>32</b>	14,5	68
HD 39-17,2 m	1	0,8	9,8	100	0,2	1,9	33
HD 39-19,5 m	3	1,3	5,6	0,33	0,2	0,7	32
HD 39-36,2 m	1	0,5	7,9	<b>229,8</b>	0,2	2	73
HD 39-46,2 m	1	0,7	6,3	<b>3101</b>	<b>90,9</b>	3847	94
HD 39-88,4 m	20	0,9	7,7	<b>218,7</b>	0,2	5	50
HD 39-126,4 m	4	0,9	8,2	<b>102,8</b>	0,1	1,6	80

#### 4.6. Tartışma

Çalışma sahası, Biga Yarımadası'nın su kaynakları açısından önem taşıyan Bayramiç ve Çan havzalarının kesişiminde bulunması, jeolojik çeşitliliği, metalik maden, endüstriyel ve enerji hammaddeleri bakımından zenginliği, su kaynaklarının bolluğu ile birlikte ülkemizde ve Dünya'da en büyük su kirliliği sorunu olarak kabul edilen AKD ve AMD oluşumlarının görülmesi nedeni ile ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışma alanı içerisinde

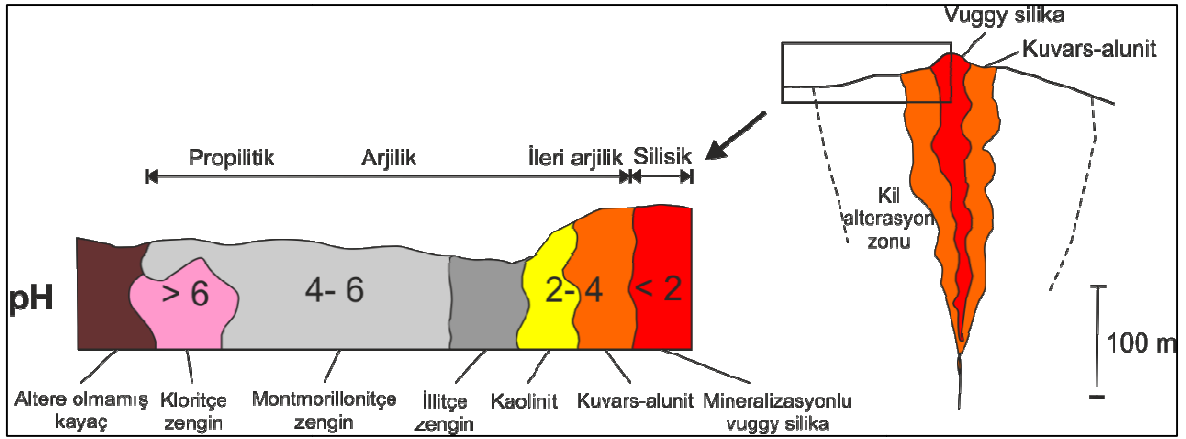
hem özellikleri, hemde oluşum mekanizmaları açısından tipik asidik göller yer almaktadır. AKD/AMD'nin su kaynaklarının (yüzey ve yeraltı suyu) niteliklerine etkisinin bu ölçekte araştırılması, ilk kez bu çalışma ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanında AKD/AMD'nin gelişmesini olanaklı kılan tüm koşullar mevcuttur. Nötrleştirici etmenler de olmasına karşın, bunların, asit üretenlerin yanında yetersiz kalmasıyla asit oluşmakta, neticede su noktalarının pH'ı düşmekte ve asiditesi artmaktadır. Artan asidite, altere kayaçların kolaylıkla çözünmesine neden olmaktadır. Bu nedenle kirlenici parametrelerin konsantrasyonları artmaktadır. İnceleme alanında AKD/AMD oluşumu ve su kaynakları üzerine olan etkisi aşağıda kısaca irdelenmiştir.

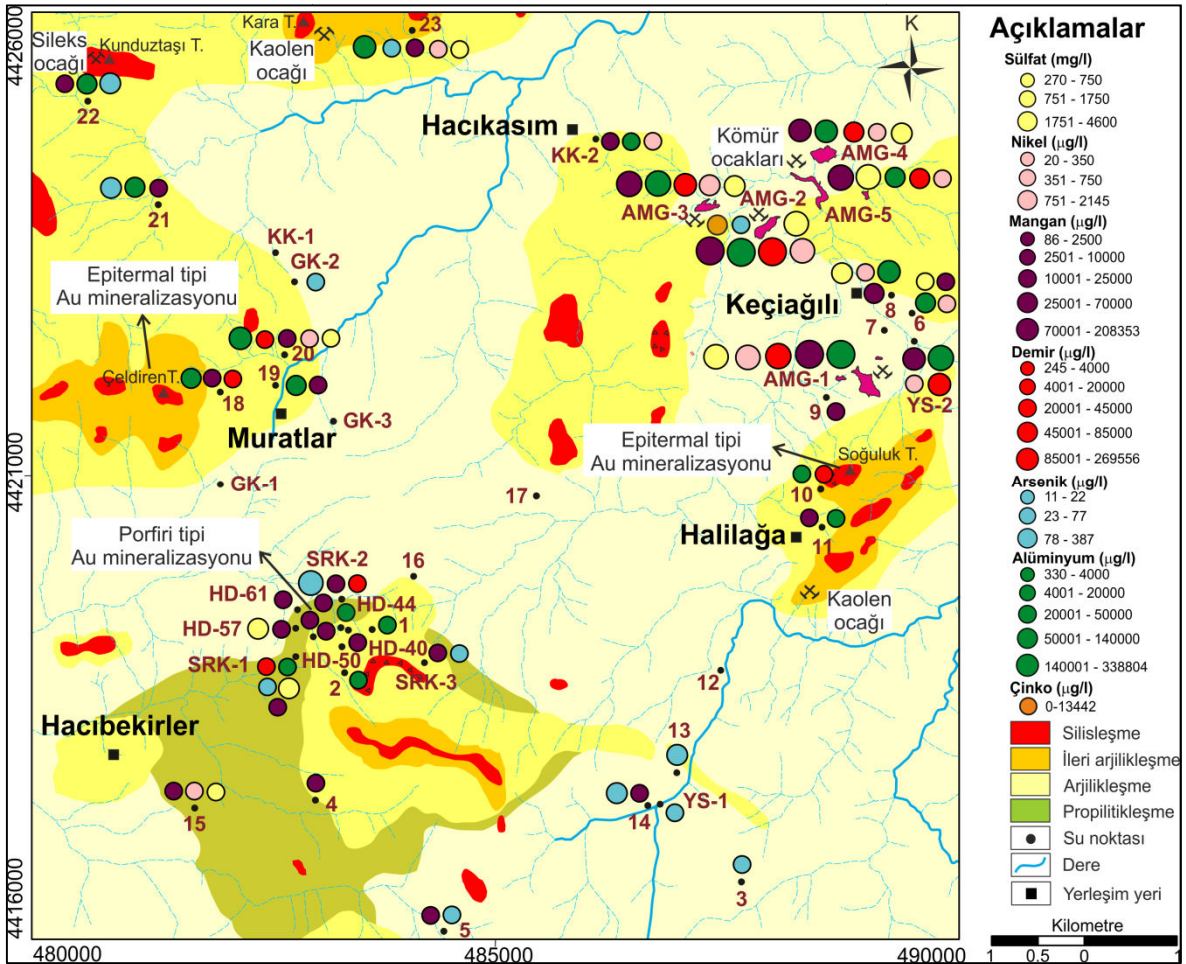
#### **4.6.1. Jeolojik faktörler**

Sahada yaygın olarak gözlenen hidrotermal alterasyon maden yatakları açısından epitermal sistemin başlıca belirteci olup, ekonomik bakımdan önem taşımaya karşın sahadaki su kaynakları açısından sorun teşkil etmektedir.

Hidrotermal çözeltilerin yüzeye doğru yükseldikçe basınç kaybetmesi ve soğumasıyla oluşan alterasyon, zonlara ayrılmaktadır. Şekil 217'de sunulan model, epitermal tipi yüksek sülfidasyon stili mineralizasyon gösteren altın yatağı tip kesitidir. Modele göre, silisik altreasyon zonundaki su kaynaklarının pH'ı 2'den küçük iken, bu değerler ileri arjilik alterasyon zonunda 2-4, arjilik ve propilitik alterasyon zonlarında 4-6 arasında, alterasyona uğramamış kayaçlarda ise 6'dan büyük olduğu belirtilmiştir (Hedenquist, 2000). Bu model, çalışma alanındaki Muratlar köyü ile kuzeyi ve Halılağa köyü çevresindeki su kaynaklarının pH değerleri ile uyumludur. Çalışma sahasındaki asidik karakter sergileyen tüm su kaynakları arjilik, ileri arjilik ve/veya silisik zonalardan yüzeye ulaşmaktadır. Epitermal sistemlerde, hidrotermal süreçlerin oluşturduğu alterasyon, mineral zenginleşmesine neden olmaktadır. Çalışma alanında tespit edilen alterasyon zonlarında artan asidite ile birlikte metallerin çözünürlükleri artmakta ve alıcı ortama metal salınmaktadır. Başta SO<sub>4</sub>, Fe, Al, ve Mn olmak üzere As, Ni gibi metal iyonları da çözeltilere geçerek, konsantrasyonları yönetmeliklerle getirilen üst sınır değerlerini aşmaktadır. Dolayısıyla, alandaki su kaynaklarının önemli bir kısmı hem ulusal, hemde uluslararası içme ve kullanma suyu kıstaslarını karşılamamaktadır. Şekil 218'de limit değerleri aşan SO<sub>4</sub> ve bazı element konsantrasyonları sunulmuştur.



Şekil 217. Epitermal tipi yüksek sülfidasyon stili mineralizasyon gösteren altın yatağı tip kesiti (Steven ve Ratte, 1960; Stoffregen, 1987; White, 1991; Hedequist, 2000).



Şekil 218. Su noktalarında sınır değerleri aşan SO<sub>4</sub> ve bazı element konsantrasyonları.

Çalışma sahasındaki su noktalarında yaygın olarak saptanan yüksek  $SO_4$  konsantrasyonlarının volkanik kayaların hidrotermal alterasyonu sonucu oluşan piritlerin oksidasyonu sonucu oluştuğu saptanmıştır. Su noktalarının S değerleri,  $SO_4$  değerleri ile orantılı olarak yüksektir. AKD ve AMD süreçlerinde etkin rol oynayan pirit mineralleri, volkanik kayalarda dissemine veya boşluk dolgusu şeklinde yaygın olarak bulunmaktadır. Ayrıca pirit, kömürün inorganik bileşenlerinden birini oluşturmakta, bitümlü şeyl ve kiltaşları içerisinde de sıklıkla gözlenmektedir. Bilindiği üzere, piritin mineralojik özellikleri, miktarı, tane boyutu oksitlenmenin hızını belirlemektedir. Williamson ve ark. (1982), tane boyutu 25  $\mu m$ 'nin altındaki piritin kolayca tepkimeye girerken, 50  $\mu m$ 'den büyük kısmın duraylı kaldığını belirtmiştir. Çalışma alanında tespit edilen piritlerde tane boyu 1  $\mu m$  ile 2 mm'ye kadar farklı boyutlar arasında değişmektedir. Elektron mikroskobu çekimleriyle piritlerin küp sisteminde kristallendiği saptanmıştır. Ayrıca, ortam pH'ı 2,4 ile 3,6 arasında iken piritin oksitlenmesi hız kazanırken, pH 3,6'nın üzerine çıktığında yavaşlama görüldüğü ifade edilmiştir (Environment Australia, 1997). Asit maden göllerinin ortalama pH değeri 3,01 olup, piritin oksitlenmesinin hız kazandığı pH değer aralığındadır.

Çan formasyonu ve Çan volkanitlerinde saptanan pirit, siderit, götit gibi Fe mineralleri, su noktalarında saptanan yüksek Fe konsantrasyonlarına kaynak oluşturmaktadır. Su kaynaklarındaki yüksek Fe içeriğinin öncelikli sebebi pirit minerallerinin oksidasyonudur.

Çalışma sahasında yaygın olarak gözlenen kil mineralleri olasılıkla havzada volkanik malzemenin alterasyon ürünü olarak gelişmiştir. Özellikle kaolinit grubu killer, bölgenin jeolojisi dikkate alındığında andezitik kayaların hidrotermal ayrışma ürünü olarak ve/veya volkanik camın, nötr-asidik göl suyunun etkisiyle ayrışması neticesinde oluştuğu söylenebilir. Su noktalarının yüksek Al konsantrasyonu, suların, çalışma alanında yüzlek veren volkanik kayaların alterasyonu sonucu oluşan Al'ca zengin kaolen, illit gibi kil minerallerini çözerek bünyesine almasından ileri gelmektedir.

Su noktalarındaki yüksek As konsantrasyonlarının kaynağı, inceleme alanında yüzlek veren altere volkanikler ve Çan formasyonuna ait kömürlerdir. Çan havzasındaki kömürler ile ilgili yapılan çalışmalarda (Bozcu ve ark., 2008; Baba ve ark., 2008) yüksek As değerleri tespit edilmiştir. Alanda açık işletme olarak işletilen kömürlerdeki elementler

fiziksel parçalanma ve kimyasal çözünme nedeniyle suya geçmektedir. Çan formasyonundaki kömür damarlarında yüksek As konsantrasyonları pirit ile ilişkilendirilmiştir (Gürdal, 2008). AMG-2'nin As konsantrasyonunun sınır değerlerin üzerinde olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada ise Çan volkanitlerindeki altere zonlarda gözlenen arsenopirit ve orpiment minerallerinin varlığı, su kaynaklarında yüksek As konsantrasyonuna sebep olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Halılağa köyünün içme suyu kaynağı baz metal zonundan yüzeye ulaşmaktadır. As'ce zengin zon ile temas eden kaynağın, As konsantrasyonunun sınır değerlerin yaklaşık 2 kat üzerinde olduğu saptanmıştır.

Çalışma alanı sınırları içinde yüzlek vermemesine karşın daha güney kesimlerde, Karakaya kompleksi üzerinde yüzeyleyen Üst Kretase yaşlı Çetmi Ofiyolit melanjı yer almaktadır. Sahadaki bazı su kaynaklarının derin dolaşım ile melanj içerisindeki yüksek miktardaki Ni ve Mn konsantrasyonlarını bünyesine aldığı düşünülmektedir.

AMD'de yüksek konsantrasyonda Fe ve Al minerallerinin bulunması nedeniyle, ikincil minerallerin yapısında da bu iki element daha fazla yer almaktadır. İkincil olarak oluşan jarosit mineralleri yeniden çözüldüklerinde, ortama H<sup>+</sup> iyonu salmak suretiyle, AMG'lerin pH değerlerinin düşmesine neden olmaktadır.

AMG'lerin çevresindeki pasalarda tane boyut dağılım analizi yapılarak malzemenin % 70 ile 90 aralığında kum boyutunda olduğu saptanmıştır. Çalışma alanında pasalardaki minerallerin tane boyutu küçülmesi nedeni ile minerallerin yüzey alanına koşturularak tepkimeye girme olasılıkları artmıştır. Dolayısıyla, sahada yapılan madencilik faaliyetleri ile birlikte alanda asit üretme potansiyeline sahip jeolojik birimlerde tane boyutu küçülen sülfür minerallerinin yüzey alanının artması oksitlenmeyi kolaylaştırarak asit üretim sürecini hızlandırmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan statik testler de bu sonucu doğrulamaktadır.

#### **4.6.2. Bakteri faaliyeti**

Çalışma alanındaki 2 no'lu AMG'nin tabanından steril koşullarda alınan dip sediman örneğinde çalışma sahasındaki asidik sistemlerde bakterilerin rolü ile ilgili bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Çizelge 127'de AMG'nin dip sedimanında asit üretme potansiyeline sahip Fe ve S oksitleyen bakteri türleri saptanmıştır. Bununla birlikte, inceleme alanında



yüzlek veren Çan formasyonuna ait sedimanter seviyelerden alınan kömür örneği üzerinde gerçekleştirilen elektron mikroskobu çalışmalarında da 1 µm'den küçük boyutlarda bakteriler tespit edilmiştir (Şekil 219). Yapılan çalışmalar bakterilerin asit üretim sürecinde katalizör görevi sağladığını göstermiştir (Balcı ve ark., 2007; Balcı ve ark., 2010; Balcı ve ark., 2012).

Çizelge 127. AMG-2'nin dip sedimanında saptanan bakteri türleri

<b>Cins</b>	<b>Tür</b>
<i>Bacteria: Proteobacteria; Gammaproteobacteria; Acidithiobacillales; Acidithiobacilliaceae; Acidithiobacillus</i>	<i>Acidithiobacillus sp. C616</i>
<i>Bacteria: Proteobacteria; Gammaproteobacteria; Acidithiobacillales; Acidithiobacilliaceae; Acidithiobacillus</i>	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans strain S1</i>
<i>Bacteria: Proteobacteria; Gammaproteobacteria; Acidithiobacillales; Acidithiobacilliaceae; Acidithiobacillus</i>	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans strain SY3</i>
<i>Bacteria: Proteobacteria; Gammaproteobacteria; Acidithiobacillales; Acidithiobacilliaceae; Acidithiobacillus</i>	<i>Acidithiobacillus sp. OP14</i>
<i>Bacteria: Proteobacteria; Gammaproteobacteria; Acidithiobacillales; Acidithiobacilliaceae; Acidithiobacillus</i>	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans strain N16</i>
<i>Bacteria: Actinobacteria</i>	<i>Actinobacterium GASP-45KA-29-E04</i>
<i>Acidithiobacillales; Acidithiobacilliaceae; Acidithiobacillus</i>	<i>Acidithiobacillus sp. Peru6</i>
<i>Bacteria; Proteobacteria; Betaproteobacteria; Nitrosomonadales; Nitromonadacea; Nitrospira</i>	<i>Nitrospira sp.</i>



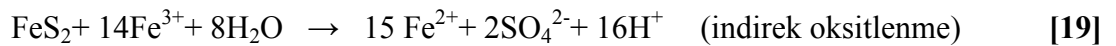
Şekil 219. Kömür örneğinin elektron mikroskobu görüntüsünde saptanan bakteri.

Arazide, asidik göllerde S ve Fe oksitleyen bakteri türlerinin tespit edilmesi, kömür yataklarının çevresindeki AMG oluşumunda mikroorganizmaların etkili olduğunu vurgulamaktadır. Aşağıda detayları verilen reaksiyonların gerçekleşmesinde katalizör görevi üstlenen bu türler, asit oluşumunun hızlanmasına neden olurlar (Balcı ve ark, 2010).

İnceleme alanında gözlenen *Acidithiobacillus sp.* piritin yüzeyine tutunarak O<sub>2</sub>'yi elektron alıcı, pirit içerisindeki kükürdü de elektron verici şeklinde kullanarak piriti ayrıştırır ve kendini besler. Bu sırada pirit yüzeyi ile bakteri arasında gelişen polimerik madde elektron alışverişini kolaylaştırarak ayrışmayı son derece hızlı hale getirmektedir. Bu tür pirit oksitlenmesine direk oksitlenme adı verilmektedir [18] (Balcı ve ark., 2010).



Pirit, atmosferik O<sub>2</sub>'nin yanı sıra reaksiyon [19]'de gösterildiği gibi Fe(III) iyonu tarafından da oksitlenmektedir (Taylor ve ark, 1984; Balcı ve ark., 2006; Balcı ve Mandernack, 2008; Balcı ve ark., 2010).



Piritin bu oksidasyon şekli bakterinin doğrudan piriti değil de oluşan Fe (II)'yi oksitleyerek döngüye katılmasından dolayı indirek oksidasyon olarak adlandırılır (Balcı ve ark., 2010). Atmosferik O<sub>2</sub>'e oranla daha güçlü bir oksitleyici olan Fe (III)'ün asit koşullar altında (pH < 3) oluşumu *Acidithiobacillus ferrooxidans* bakterisi tarafından kontrol edilmektedir [20].



İndirek oksidasyon, ortamdaki Fe (II) iyonunun varlığına ve oksitlenme derecesine bağlıdır. Ortamda yüksek sülfat konsantrasyonu ve düşük pH değerleri, bu iki mekanizmanın da oluştuğuna işaret etmektedir. Fe (III) piriti oksijene oranla daha hızlı oksitlediğinden, piritin oksidasyonunda bakterinin ana görevi Fe (III) iyonunu oluşturmaktır. Oluşan Fe (III) piriti oksitleyerek tekrar Fe (II)'ye dönüşür ve bakteri devreye girerek bu döngünün devamını sağlar (Balcı ve Mandernack, 2008).

Arazide tespit edilen *Acidithiobacillus sp.* türü aynı zamanda, arazide bolca tespit edilen kükürdü de aşağıda verilen reaksiyonla oksitleme kapasitesine sahiptir [21].



Kükürdün biyolojik oksidasyonu ortama sülfat ve hidrojen iyonları vererek, asidik suların oluşmasına neden olur. Genel olarak arazide AMG sedimanlarında ve çevresindeki kömürlü seviyelerde tespit edilen mikrobiyal türler, ortamda gelişen ve AMD ve AMG'lerin oluşmasına neden olan sülfür döngüsünde mikrobiyal faaliyetlerin etkili olduğu belirtmektedir. Özellikle, AMG'lerde ölçülen yüksek Fe (III) konsantrasyonu biyolojik faaliyetler tarafından denetlenen Fe ve S döngüsünü göstermektedir.

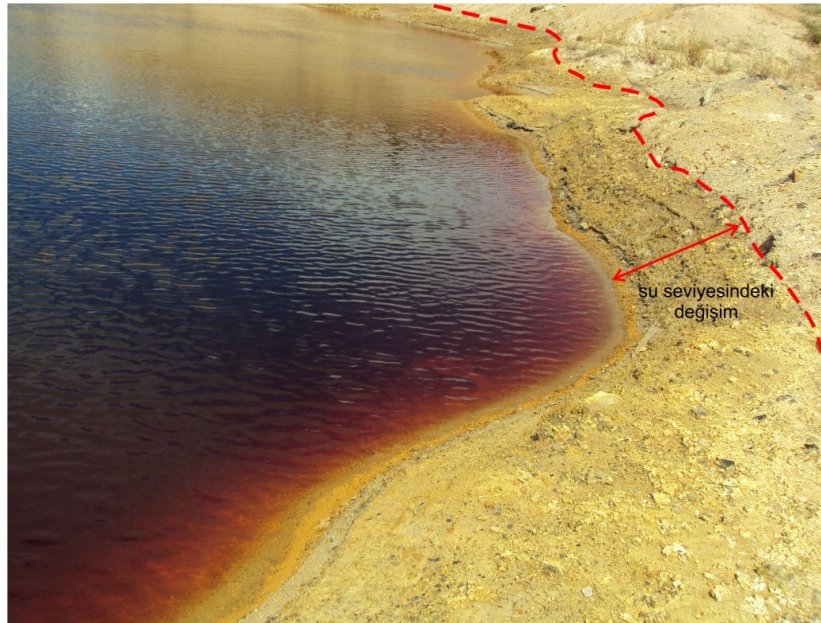
#### **4.6.3. Coğrafi etmenler**

Biga Yarımadası'nda coğrafi etmenler, AMD oluşum sürecinin dinamik olmasına katkı sağlamaktadır. Genel olarak Akdeniz iklim özelliklerinin görüldüğü sahada, bahar aylarında artan yağış, yüzey sularını ve yığıntıdaki sızıntıyı fazlaştıran taşınmaya yardımcı olmaktadır. Yığıntıdaki su doygunluğu ise oksitlenmeyi yavaşlatıp, drenaj suyunu seyrelterek olumsuz etkisinin azaltmaktadır. İlkbahar aylarında, AMG'lerin pH

değerlerinde yükseliş, EC değerlerinde ve element konsantrasyonlarında ise azalma gözlenmektedir.

Demir sülfürlerin oksitlenme sürecinin egzotermik olması nedeniyle ısı üretilmesiyle ortam sıcaklığı 70 °C'a kadar çıkabilir (Karadeniz, 2008). Ortaya çıkan sıcaklığın yığın içine yayılmasıyla, gaz akışına neden olur. Böylelikle, oksijen transfer mekanizması değişir. Hava geçirgenliği yeterli yığınlarda, sıcaklık ve yoğunlukla yönlendirilen gaz konveksiyonu başlar. Havanın yığına girişi ile sağlanan oksijen transferi, difüzyondan daha etkindir (Karadeniz, 2008). Netice itibarıyla, sıcaklık süreci hızlandırıcı yönde etki yapmaktadır. Yaz aylarında yükselen sıcaklık ile buharlaşma da artmakta ve AMG'de su seviyesi 0,2-1 m azalmaktadır (Şekil 220). Azalan su derinliği pH'ın düşmesine, EC ve element konsantrasyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Su seviyesindeki düşüş ile birlikte gölün kıyısında sarı renkli jarosit çökelimleri ve kükürt filizleri gözlenmektedir.

Senenin ortalama 161 gününün rüzgarlı olduğu sahada, rüzgar tanelerin zamana bağlı olarak aşınıp ufalanmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede AMG'lerin çevresindeki pasaların yüzey alanı artmakta ve pasaların bir kısmı göllere taşınmaktadır. Kükürt minerallerince zengin olan pasaların yüzey alanlarının değişerek, yüzeysel sulara taşınması sonucu demir sülfürlerin oksitlenme süreci hızlanmaktadır.



Şekil 220. Yaz aylarında AMG'nin su seviyesinde azalma (Foto: 28.08.2012).

Çalışma sahasının yüksekliği 100-600 m arasında değişmektedir. Yüksek kotlarda bulunan dayanımlı silislemiş volkanik birimlerin alt kotlarında ayrılmış kil tabakaları (özellikle arjilik zonlar) geçirimsiz bir zon oluşturmuştur. Bu zon bariyer konumunda olup, çalışma alanında düşük debili kaynaklar bu iki birim sınırında yüzeye çıkmaktadır. Bu yüksek topografik kesimlerde beslenme alanları sınırlı olmasına karşın, alterasyon nedeni ile su-kayaç etkileşimi yoğundur. AMG'lerin kot değerleri ise 128-245 m arasında değişmektedir. Göllerinin çevresinin yumuşak bir topografyaya sahip olması nedeniyle yeterli yüzey akıntısı ile seyrelmenin mevcut olmaması, AMD'nin etki şiddetinin azalmasına yardımcı olmamaktadır.

#### **4.6.4. Asidin nötrleşmesi**

Asidin nötrleşmesinde ya da tampon etkisi yaratmasında en etkin mineraller, hızlı çözünmeleri dolayısıyla karbonat grubu minerallerdir. Ancak, çalışma alanında kömür ocaklarının çevresinde karbonat grubu mineral varlığı saptanmamıştır. Kalsit mineralleri sadece propilitik alterasyon zonunda saptanmıştır. Bu zondan yüzeye ulaşan su noktaları genellikle nötr-bazik pH özelliği göstermektedir. Buna karşın, feldspat, klorit gibi yalnızca güçlkle çözünen ve çözüldüğünde tampon etkisi yaratan silikat mineralleri vardır. Bunlar ise, yavaş çözündüklerinden, asit üretimine karşı yalnız başlarına etkin olamamaktadır.

#### **4.6.5. Çevresel etkiler**

Çalışma alanında oluşan AMD ve AMG hem doğal, hemde antropojenik kökenlidir. Özellikle yaygın alterasyon nedeni ile inceleme alanında su-kayaç etkileşimi yoğundur. Herhangi bir mühendislik etkinliğinin olmadığı kesimlerde yüzeye çıkan suların pH değerlerinin düşük, element (Al, Fe vb.) konsantrasyonlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu kaynaklar, yöre halkı tarafından yoğun olarak kullanılmaktadır. Ayrıca antropojenik etkilerin artması ile alanda AMD ve AMG oluşum süreçleri hızlanmıştır. Özellikle ilkel kömür madenciliği ile işletilen ocaklar, hiç bir rehabilitasyon önlemi alınmadan terk edilmiştir. Terk edilmiş ocaklar, zaman içerisinde yüzeysel drenaj sularıyla dolmuş, asidik ortamın oluşması için uygun olan bu sahalarda (yüksek pirit içerikli kayaç ve pasalar, ince tane boyutları ve coğrafik etmenler) doğal olarak AMG'ler oluşmuştur.

İnceleme sahasında AMG'lerin çevresel etkileri AKD'ye göre daha fazladır. Bunun nedeni, AMG'lerin yüksek hacimli su kapasitesine sahip olmasıdır. Göllerin, ocağı yeniden işletmek amacı ile bilinçsizce derelere boşaltıldığı, arazi çalışmaları sırasında birçok kez tespit edilmiştir.

AMD'yi önemli kılan, bünyesinde barındırdığı kirleticilerle birlikte, yakın ve hatta uzak çevresinde yer alan yaşam ortamları üzerinde sebep olduğu zararlı etkileridir. Drenaj sularının fiziksel ve kimyasal niteliklerinin değişkenliği, yüksek asidite ve yüksek metal konsantrasyonu ve akışkan olan suyun uzaklara taşınabilirliği, çevresel bakımdan büyük risk yaratmaktadır. Suların akışıyla yayılan asidik drenaj farklı kayaç ve topraklarla temas ederek, ekim yapılan tarlalara kadar ulaşabilmektedir.

AMG'lerin düşük pH değerleri, sülfürik asit içeriği, yüksek metal, askıda ve çözülmüş katı madde konsantrasyonu karıştıkları suyun bikarbonat tampon kapasitesinin çökmesine neden olmaktadır. Ortamın pH'ı canlıların dayanım sınırları altına indiğinde canlıların solunum sisteminin çökmesine bağlı ölüm gerçekleşir. Halk tarafından, AMG'lere üremesi için farklı balık türleri atılmış, fakat balıkların tümü kısa sürede ölmüştür. Çünkü pH 3-3,5 aralığına indiğinde, ortam sadece bazı bitki türlerinin ve omurgasızların yaşabilmesine olanak vermektedir. Balıkların birkaç saatten fazla yaşaması mümkün olamaz (Karadeniz, 2008). Nitekim göllerde, bakteriler dışında herhangi bir canlı faaliyeti söz konusu değildir. AMD ile temas eden bitkiler kurumaktadır. Katran dereye bilinçsizce boşaltılan göllerin, pH değerlerinin yükselmesine karşın, asidik suların içerdiği yüksek konsantrasyonlardaki metaller farklı karmaşıklara dönüşerek presipite olmaktadır. Bu çökelimler ile oluşan zehirli çökel tabakaları suda yaşayan canlılar için tehlikelidir. Yerel basılı ve görsel medyada asit maden göllerin yüzey sularına karışımı/deşarjı sonucunda balık ölümleri gerçekleştiğine ilişkin birçok haber çıkmaktadır (Şanlıyüksel Yücel ve Baba, 2011; 2013).

Çalışma alanında bulunan tüm AMG'ler Keçiğalı ve Hacıkasım köylerinin arasında yer almaktadır. AMG'lerin çevresinde, 2011 yılındaki toplam alanı 1,78 km<sup>2</sup> olan pasalardan drene olan sular çevredeki derelere ve su kaynaklarına karışmaktadır. AMG-1, 8 ve 9'un yaklaşık 500 m kuzeydoğusunda bulunan Keçiğalı köyü ve çevresindeki dereler içerdikleri yüksek Fe konsantrasyonu nedeniyle kıvılcıllı-kahverenginde akmaktadır (Şekil 221).



Şekil 221. Keçiağlı köyü çevresindeki derelerde gözlenen AMD.

Ayrıca, madencilik yapılan alanlarda doğal peyzajın bozulması, pasa yığınlarının gelişigüzel depolanması ve bunların dışında seramik fabrikalarının ve çevredeki halkın bu bölgeyi çöp sahası gibi kullanarak, atıklarını boşaltması çevreyi olumsuz olarak etkilemektedir. Bu sayede ortamdaki kirletici yükü artmaktadır.

Muratlar ve Halilağa köyleri çevresinde madencilik faaliyetinin henüz aktif olmamasına karşın, doğal jeolojik süreçlerle asidik sular oluşmaktadır. Statik testler ile ilerleyen zamanda sahada yapılması planlanan madencilik faaliyetlerinin asidik drenajın artmasına neden olarak, su kaynaklarının daha da kirlenmesine sebep olacağı saptanmıştır. Çok yakınında yerleşim yerleri bulunan ve su kaynakları açısından problemlili olan sahada yaşayan halkın, bu bölgedeki suları içerek tüketmemeleri gerekmektedir.

## **BÖLÜM 5**

### **SONUÇ VE ÖNERİLER**

Çalışma sahası 1/25.000 ölçekli Ayvalık i17 b1 ve i17 b2 paftaları içinde 100 km<sup>2</sup>'lik bir alandan oluşmakta ve Biga Yarımadası'ndaki en önemli iki havza olan Bayramiç ve Çan su havzalarının kesişiminde yer almaktadır. Arazi çalışmaları ile sahanın jeoloji ve alterasyon haritaları yapılmıştır. Sahada yüzeyleyen kaya birimleri; altı farklı litostratigrafi birimi ile temsil edilmektedir. Bunlar; Karakaya kompleksi, Bayırköy formasyonu, Dededağ volkanitleri, Evciler plütону, Çan volkanitleri ve Çan formasyonudur.

Dededağ ve Çan volkanitleri ile Karakaya kompleksine ait birimler farklı tipte hidrotermal alterasyonlara uğramışlardır. Çalışma alanında 3 tip alterasyon çeşidi tanımlanmış olup, bunlar; silisik alterasyon, arjilik/ileri arjilik alterasyon ve propilitik alterasyondur. Bu alterasyon zonları birbirleriyle ilişkili ve geçişlidir. Silisik alterasyon kuvars, ileri arjilik alterasyon kuvars, kaolinit ve alunit, arjilik alterasyon illit, kaolinit, smektit ve propilitik alterasyon ise klorit, epidot, aktinolit ve kalsit minerallerince zenginleşmiştir. Tüm alterasyon zonlarında ve Çan formasyonuna ait kömürler içerisinde yaygın olarak gözlenen sülfür minerali pirittir.

Sahada hem doğal jeolojik süreçlerle hemde antropojenik etkilerle oluşan AKD ve AMD oluşumları saptanmıştır. Bilinçsizce yapılan kömür madenciliği faaliyetleri neticesinde AMD oluşumları bölgede gün geçtikçe artmaktadır. Kömür madenciliği uygulamalarında, açık işletme şeklinde yapılan üretim sırasında topografya bozulmakta, kömür alındıkça oluşan çukurluklarda AMG'ler oluşmaktadır. Çalışma sahası ve yakın çevresi ülkemizde AMG'lerin en yoğun olarak bulunduğu bölgedir. Bu sahadaki asidik sistemlerin oluşumunda, sahada yüzlek veren volkanik birimlerin alterasyon zonlarında ve kömürler içerisinde yaygın olarak gözlenen sülfür mineralleri en önemli faktördür. Asidik sistemlerin oluşumunda jeolojik faktörlerin yanı sıra bakteri faaliyetleri ve coğrafik etmenler de sürecin hızlanmasında etkindir.

AMG'lerin alansal değişiminde madencilik faaliyetlerinin etkilerinin belirlenmesi amacıyla 1977, 1985, 1987, 1999, 2003, 2008 ve 2011 yıllarına ait uydu görüntüleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda, 2011 yılında tüm kömür ocaklarında işletme faaliyetlerine ara verilmesi ile toplamda en geniş alana sahip olan asit göllerinin alanı 124280 m<sup>2</sup> ve çevresi 5699 m olarak hesaplanmıştır. AMG'lerin çevresinde, AMD



oluşumunun tetikleyici faktörlerinden biri olan pasaların 2011 yılındaki toplam alanı 1,78 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu değer göllerin toplam alanının yaklaşık 14,5 katıdır.

Çalışma alanı su kaynakları bakımından zengin olmasına rağmen, kaynakların debileri düşüktür. Keson kuyular ve sondajlarda, yağışlı ve kurak dönemler arasındaki yeraltı su seviyesinde ortalama 2 m'lik değişim gözlenmiştir. Yeraltı suyu akış yönü, Çan havzasına dahil olan kesiminde GB'dan KD'ya doğru, Bayramiç havzasına dahil olan kesiminde ise D'dan B'ya doğrudur. Yeraltı su tablası genel olarak belirli bir topografyayı takip etmektedir.

Çalışma alanındaki su noktalarının pH değişim aralığı 1,99-8,24 olup çok kuvvetli asidikten baziğe kadar değişmektedir. EC değerleri 77-7340 µS/cm aralığında ölçülmüştür. Bu geniş pH ve EC ölçüm aralıkları, çalışma alanındaki su noktalarının farklı kimyasal özelliklerinin göstergesidir. Sahadaki su kaynaklarının asidik karakterde olmalarının nedeni doğal jeolojik bir süreçten kaynaklanmaktadır. Su-kayaç etkileşimi sonucunda gelişen asidite, metallerin çözünerek yüksek konsantrasyonlara ulaşmasına neden olmuştur.

Alterasyon zonlarıyla ilgili tüm su noktaları Na, SO<sub>4</sub> ve Cl iyonları zengindir. Birçok kaynaktan SO<sub>4</sub> konsantrasyonları limit değerlerin üzerinde ölçülmüştür. Ayrıca, silisik ve arjilik alterasyon zonları ile temas eden su kaynaklarındaki Al, Fe, As, Mn ve Ni elementleri ulusal ve uluslararası içme suyu limit değerlerin üzerindedir.

AMG'de yapılan limnolojik çalışmalar neticesinde artan derinlikle birlikte pH, EC ve tuzluluk değerlerinde artış, Eh ve sıcaklık değerlerinde azalma belirlenmiştir. Ayrıca, artan derinlikle birlikte Ca, SO<sub>4</sub> ve Al konsantrasyonlarının azaldığı, Fe konsantrasyonunun ise arttığı, 6 metre derinliğin metal konsantrasyonunun değişiminde önemli olduğu tespit edilmiştir.

AMG'lere karakteristik sarı ve kırmızı rengi veren ikincil olarak oluşan Fe(OH)<sub>3</sub> ve jarosit minerallerin olduğu saptanmıştır. Ayrıca, AMG'lerde asit üretiminde katalizör görevi gören *Acidithiobacillus ferrooxidans* türü bakteriler saptanmıştır.

Tüm su noktalarının δ<sup>18</sup>O ve δ<sup>2</sup>H korelasyonuna göre meteorik kökenli olduğu belirlenmiştir. Çalışma sahasının jeolojisi göz önüne alındığında, su noktalarının meteorik kökenli sularla beslenmesine karşın, hidrotermal suların etkisi de söz konusudur. AMG'lerin atmosferik koşullardan daha çok etkilenmesi nedeniyle, δ<sup>18</sup>O değerleri, diğer su noktalarına göre daha pozitifdir. T, δ<sup>18</sup>O ve δ<sup>2</sup>H analiz sonuçlarına göre, su noktalarının

beslenme yükseltilerinin ve yeraltında kalış sürelerinin farklı olduğu ortaya konulmuştur. T konsantrasyonu düşük, EC ve Cl değerleri yüksek olan derin dolaşımli suların, yüksek konsantrasyonlarda iyon içerdiği tespit edilmiştir. Sahadaki en genç sular, güncel yağışlarla beslenerek en yüksek T konsantrasyonuna sahip olan AMG'lerdir.

AMG'lerde  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$  izotoplarına göre göllerin  $\text{SO}_4$  konsantrasyonunun asıl kaynağının pirit olduğu tespit edilmiştir.  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$  ve  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  izotoplarına göre AMG'lerin oluşumunda ana etkenin pirit oksidasyonu olduğu saptanmıştır. Ayrıca  $\delta^{34}\text{S}$  izotop değerleri ile arazide yaygın olarak tespit edilen ikincil olarak oluşan jips minerallerindeki sülfatın kaynağının pirit olduğu belirlenmiştir.

Bu saha, Biga Yarımadası'nda, asit maden drenajı üretim potansiyelinin kestirimi bağlamında, su-kayaç etkileşimi ile ilgili jeokimyasal statik testlerin uygulandığı ilk sahadır. Asit üreten tüm litolojiler ortaya konmuş, pirit minerallerinin beklendiği gibi asit üretiminde etkin rol oynadığı saptanmıştır.

Çalışma alanında bulunan suların fizikokimyasal ve kimyasal özellikleri, su kaynaklarının insan sağlığı açısından risk taşıdığını göstermektedir. İnceleme alanındaki jeolojik formasyonlardan kaynaklanan doğal bir su kirliliği söz konusudur. Özellikle sahada yaygın olarak gözlenen pirit minerallerince zengin birimlerin oksidasyonu ve tampon oluşturacak karbonat minerallerinin azlığı sonucunda su kaynaklarının birçoğunda pH değerlerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Muratlar köyünün içme suları düşük pH ve yüksek konsantrasyonda Al, Fe, Mn içermektedir. Halılağa köyünün içme suyu kaynağındaki As miktarı sınır değerinin yaklaşık 2 kat üzerindedir. Bu kaynaklar, içme suyu olarak arıtılarak kullanılmalı veya alternatif su kaynakları bulunması önerilmektedir. Çalışma alanı sınırlarında yüksek debili ve/veya fizikokimyasal parametreleri ve element konsantrasyonları limit değerlerin altında olan kaynak bulunmaması nedeni ile alternatif su kaynağı önerilememiştir.

AMG'lerin çok ciddi kirlilik içeren ve hiçbir surette kullanma suyu olarak kullanımı mümkün olmayan sular olduğu saptanmıştır. Bu göllerin boşaltılmaları durumunda öncelikle Etili köyü, daha sonra da Çan ilçe merkezinin su kaynaklarını etkileme olasılığı son derece yüksektir. Bu nedenle, göllerin en kısa zamanda rehabilite edilmesi gerekmektedir.

Jeokimyasal analiz sonuçları ve jeokimyasal statik testler saha hakkındaki AKD/AMD oluşumu açısından önemli veri sağlamıştır. AKD/AMD'nin geleceğe dönük etkilerinin belirlenmesi amacıyla sahanın jeokimyasal modelleme çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akçıl A. ve Koldaş S., 2006. Acid Mine Drainage (AMD): Causes, Treatment and Case Studies. *Journal of Cleaner Production*. 1139-1145.
- Altay T. ve Çifter C., 1996. *Trityum Laboratuvarı El Kitabı*. DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, İZ-963, Ankara, 55.
- Altinkale S., 2001. Eğirdir ve Burdur Göllerinin Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Altınlı İ. E., 1973. Bilecik Jurasigi. 50. Yıl Yerbilimleri Kongresi, Tebliğler Dergisi, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, 119.
- Altunkaynak Ş. ve Genç Ş. C., 2008. Petrogenesis and Time-progressive Evolution of the Cenozoic Continental Volcanism in the Biga Peninsula, NW Anatolia (Turkey). *Lithos*. 102: 316-340.
- Ambraseys N. ve Jackson J., 2000. Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500. *Geophysical Journal International*. 141: F1-F6.
- Anıl M., Saupe F., Zimmenman J.L. ve Öngen S., 1989. Oligosen-Miyosen Yaşlı Nevruz-Çakıroba (Yenice-Çanakkale) Kuvarslı Monzonit Stoklarının K/Ar Metoduyla Yaş Tayini. 43. *Jeoloji Kurultayı*, Ankara. 25-26.
- Anonim, 1965. *Karamenderes Projesi Planlama Raporu*. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, DSG Genel Müdürlüğü, Etüt ve Plan Dairesi Başkanlığı, Planlama Raporları, No: 14A-27, Ankara.
- Arrhenius S., 1884. Recherchers Sur la Conductivite Galvanique Des Electrolytes. PhD Dissertation (Doktora Tezi). Stockholm, Royal Publishing House, P.A. Norstedt & Söner, 89.
- Aslaner M., 1965. Etude geologique et petrographique de la region d' Edremit-Havran (Turquie), *MTA Enstitüsü Yayını*. 119.
- Aygen T., 1956. Balya Bölgesi Jeolosinin İncelenmesi. *MTA Enstitüsü Yayını*. D 11: 1-95.

- Baba A. ve Gündüz O., 2010. Effect of Alteration Zones on Water Quality: A Case Study from Biga Peninsula, Turkey. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 58 (3): 499-513.
- Baba A., Ertekin C. ve Şanlıyüksel Yücel D., 2012. High Arsenic Levels in Water Resources Resulting from Geogenic Resources: A Case Study from Muratlar Region, NW Turkey. *IAH 2012 Congress*. Kanada. 1-7.
- Baba A., Save D., Gündüz O., Gürdal G., Bozcu M., Sülün S., Özcan H., Hayran O., İkişik H. ve Bakırcı L., 2008. *Çan Kömür Havzasındaki Madencilik Faaliyetlerinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi*. Final Raporu. TÜBİTAK Proje No: ÇAYDAG-106Y041.
- Baba, A., 2010. *Muratlar Köyü (Etili-Çan) ve Çevresindeki Su Kaynaklarında Arseniğin Kaynağı ve Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği*. Teck Madencilik Şirketi Ön Değerlendirme Raporu. 24.
- Balcı Ç.N., 2005. Assesment of Biochemical Influence on Metal Sulfideand Fe(II) Oxidation as Inferred from Oxygen, Sulfurand Fe Isotopes. PhD Dissertation (Doktora Tezi). Istanbul Technical University, Institute of Science and Techonolgy, Istanbul.
- Balcı Ç.N., Bullen T.D., Witte-Lien K., Shanks W.C., Motelica M. ve Mandernack K.W., 2006. Iron Isotope Fractionation During Microbially Stimulated Fe(II) Oxidation and Fe(III) Precipitation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 70: 622-639.
- Balcı Ç.N., Yavuz F. ve Mandernack K.W., 2006. Piritin Oksitlenmesi Sonucu Oluşan Sülfatın İzotop (O, S) Değerlerinin İncelenmesi. *İTÜ Dergisi-Mühendislik*. 5(2): 59-67.
- Balcı Ç.N., Wayne C.S., Mayer B. ve Mandernack K., 2007. Oxygen and Sulfur Isotope Systematics of Sulfate by Bacterial and Abiotic Oxidation of Pyrite. *Geochemica Cosmochimica Acta*. 71: 3796-3811.
- Balcı Ç.N. ve Mandernack K., 2008. Asit Maden Sularının Oluşumundaki Biyojeokimyasal Prosesler. *Termal ve Maden Suları Konferansı*, Afyonkarahisar.

369-375.

- Balcı Ç.N., Karagüler N.G., Ece Ö.I. ve Romanek, C. 2009. Microbial Communities of Hyper Saline Lake Salda and Acigol, SW Turkey and Their Effects on Biogeochemical Cycles. *Eos Trans AGU*. 90(52), Fall Meet. Suppl.
- Balcı Ç.N., 2010. Effect of Bacterial Activity on Trace Metals Release from Oxidation of Sphalerite at Low pH (<3) and Implications for AMD Environment. *Environmental Earth Sciences*. 60: 485-493.
- Balcı Ç.N., Örgün Y. ve Karagüler N., 2010. Asit Maden Sahalarının Oluşumu Bakteri Mineral Dostluğu. *Mavi Gezegen*. 15: 24-28.
- Balcı Ç.N., Mayer B., Wayne C.S. ve Mandernack, K., 2012. Oxygen and Sulfur Isotope Systematics of Sulfate Produced During Abiotic and Bacterial Oxidation of Sphalerite and Elemental Sulfur. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 77: 335-351.
- BCAMDTF (British Columbia Acid Mine Drainage Task Force), 1989. *Draft Acid Rock Drainage Technical Guide - Volume 1*. Prepared by Steffen Robertson and Kirsten (SRK), Vancouver, BC.
- Beccaletto L. ve Steiner C., 2005. Evidence of Two-stage Extensional Tectonics from the Northern Edge of the Edremit Graben, NW Turkey. *Geodinamica Acta*. 18 (3-4): 283-297.
- Beccaletto L., Bonev N., Bosch D. ve Bruguier O., 2007. Record of a Palaeogene Syncollisional Extension in the North Aegean Sea: Evidence from the Kemer Micaschists (NW Turkey). *Geological Magazine*. 1-8.
- Begemann F. ve Libby W.F., 1957. Continental Water Balance, Ground Water Inventory and Storage Times, Surface Ocean Mixing Rates and Worldwide Water Circulation Patterns from Cosmic Ray and Bomb Tritium. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 12(4): 277-296.
- Bilgin T., 1969. *Biga Yarımadası'nın Güneybatı Kesiminin Jeomorfolojisi*. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayını. No. 55. 273.

- Bingöl E., 1968. Contribution A Le Etüde Geologique De La Partie Centale Et SE Du Massif De Kazdağ (Turque), These Du Doctorat. Fac. Sci. Univ. Nancy, 191 s.
- Bingöl E., 1969. Kazdağ Masifi'nin Merkezi ve Güneydoğu Kesiminin Jeolojisi, *MTA Dergisi*. Sayı 72.
- Bingöl E., Akyürek B. ve Korkmazer B., 1973. Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun Bazı Özellikleri. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi*, Tebliğler, MTA, Ankara. 70-76.
- Bingöl E., Akyürek B. ve Korkmazer B., 1975. Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Karakaya Formasyonu'nun Bazı Özellikleri. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebliğler*, MTA, Ankara, 70-76.
- Bingöl E., Akyürek B. ve Korkmazer B., 1982. Granitic Intrusions in Western Anatolia: A Contribution to the Geodynamic Study of This Area. *Eclogae Geologicae. Helvetiae*. 75: 437-446.
- Birkle P. ve Satır M., 1995. Dating, Geochemistry and Geodynamic Significance of the Tertiary Magmatism of the Biga Peninsula, NW-Turkey. In: Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E. ve Örçen, S., Eds. *Geology of the Black Sea Region*. Min. Res. Expl. Inst. Turkey, Ankara. 171-180.
- Bissen M. ve Frimmel F.H., 2003. Arsenic-a review. Part I: Occurrence, Toxicity, Speciation, Mobility. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*. 31: 9-18.
- Blanc M.P., 1969. Etude Petrographique de la Granidiorite de Yenice, Peninsula de Çanakkale (Doktora Tezi). Paris Üniversitesi, Fransa.
- Bozcu M., Akgün F., Gürdal G., Bozcu A., Kapan-Yeşilyurt S. ve Karaca, Ö., 2008. *Çan-Yenice-Bayramiç (Çanakkale) Linyit Havzasının Sedimantolojik, Petrolojik, Jeokimyasal Ve Palinolojik İncelenmesi*. TÜBİTAK - Proje No: 105Y114. 259.
- Brodie M.J., Broughton L.M. ve Robertson A., 1991. A Conceptual Rock Classification System for Waste Management and a Laboratory Method for ARD Prediction from Rock Piles. *Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainage*.

- Vol. 3., Montreal, Quebec, September 16-18, MEND Program Ed. Quebec Mining Association, Ottawa. 119-135.
- Burkin A.R., 1965. *Hidrometalurjik Süreçlerin Kimyası*. Utine, T. (Çev. 1988), TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Net Ofset, Ankara.
- Burrows W.D., 1977. Aquatic Aluminum--Chemistry, Toxicology and Environmental Prevalence. *CRC Critical Reviews in Environmental Controls*. 7: 167-216.
- Busenberg E. ve Plummer L.N., 1982. The Kinetics of Dissolution of Dolomite in CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O Systems at 1.5 to 65 °C and 0 to 1 atm P<sub>CO2</sub>. *American Journal of Science*. 282: 45-78.
- Busenberg E. ve Plummer L.N., 1986. A Comparative Study of the Dissolution and Crystal Growth Kinetics of Calcite and Aragonite. In: Mumpton, F.A. Ed. *Studies Diagenesis*, U.S. Department of the Interior, Reston, *U.S.G.S. Bulletin*. 1578: 139-168.
- Busenberg E., ve Clemency C., 1976. The Dissolution Kinetics of Feldspars at 25 °C and 1 Atmosphere CO<sub>2</sub> Partial Pressure. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 40: 41-49.
- Butler T.W., 2007. Isotope Geochemistry of Drainage from an Acid Mine Impaired Watershed, Oakland, California. *Applied Geochemistry*. 22: 1416-1426.
- Can M., Etemoğlu A.B. ve Avcı A., 2002. Deniz Suyundan Tatlı Su Eldesinin Teknik ve Ekonomik Analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 7(1): 147-160.
- Canty G.A. ve Everett J.W., 1999. An in-Situ Remediation Method for Abandoned Underground Coal Mines Using Coal Combustion Products. *13th International Symposium on the Use of Coal Com-Bustion Products*. EPRI, Palo Alto, CA, USA.
- Chou L., Garrels R. M. ve Wollast R., 1989. Comparative Study of the Kinetics and Mechanism of Dissolution of Carbonate Minerals. *Chemical Geology*. 78: 269-282.
- Clark I.D. ve Fritz P., 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers, New York. 328.



- Coastech Research Inc., 1989. *Investigation of Prediction Techniques for Acid Mine Drainage*. MEND Project 1.16.1 a. Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Energy, Mines and Resources Canada. 61.
- Colmer A.R. ve Hinkle M.E., 1947. The Role of Microorganisms in Acid Mine Drainage-a Preliminary Report. *Science*. 106 (2747): 253-256.
- Cox K.G., Bell J.D. ve Pankhurst R.J., 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allenand Unwin Ltd. London. 450.
- Craig H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science*. 133: 1702-1703.
- Criss R.E., 1999. *Principles of Stable Isotope Distribution*. Oxford University Press, New York.
- Çiftçi H. ve Akçil A., 2006. Asidik Maden Drenajının (AMD) Giderilmesinde Uygulanan Biyolojik Yöntemler. *Madencilik*. 45 (1): 35-45.
- Dansgaard W., 1964. Stable Isotopes in Precipitation. *Tellus*. 16: 436-468.
- Davis R.A., Welty A.T., Borrego J., Morales J.A., Pendón J.G. ve Ryan J.G. 2000. Rio Tinto Estuary (Spain): 5000 Years of Pollution. *Environmental Geology*. 39: 1107-1116.
- Demir N., 1991. *Çanakkale-Çan-Halilağa (Ar: 28497) No'lu Alüminyum Sahasına Ait Maden Jeolojisi Raporu*. MTA Raporu. II/02 (C).1.06.03.02: 1-19.
- Delaloye M. ve Bingöl E., 2000. Granitoids from Western and Northwestern Anatolia: Geochemistry and Modeling of Geodynamic Evolution. *International Geology Review*. 42: 241-268.
- DiPreto R.S. ve Rauch H.W., 1988. Use of Acid-Base Accounts in Pre-Mining Prediction of Acid Drainage Potential: A New Approach from Northern West Virginia. *Mine Drainage and Surface Mine Reclamation*. USBM IC 9183, 1:1-10.
- Doğdu M.Ş., 2004. Jeotermal Suların Rezervuar Sıcaklığının Tahmininde Kullanılan Jeotermometre Hesaplamaları için Bilgisayar Programı. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*. 28(2): 1-12.

- Downing B.W. ve Mills C., 2000. *Natural Acid Rock Drainage*.  
<http://technology.infomine.com/enviromine/ard/introduction/natural.htm>
- Downing KH, Sui H, Auer M., 2007. Electron Tomography-a New, 3D-View of the Subcellular World. *Analytical Chemistry*. 79: 7949-7957.
- Dönmez M., Akçay E.A., Genç Ş.C. ve Acar Ş., 2005. Biga Yarımadası'nda Orta-Üst Eosen Volkanizması ve Denizel İgnimbiritler. *MTA Dergisi*. 131: 49-61.
- Drever J.I., 1988. *The Geochemistry of Natural Waters*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 437.
- Dube M.G., MacLatchy D.L., Kieffer J.D., Glozier N.E., Culp J.M. ve Cash K.J., 2005. Effects of Metal Mining Effluent on Atlantic Salmon (*Salmo Salar*) and Slimy Sculpin (*Cottus cognatus*): Using Mesocosms to Assess Existing Effects and Predict Future Consequences. *Science of the Total Environment*. 343:135-154.
- Duncan D. ve Walden C., 1975. *Prediction of Acid Generation Potential*. Report to Water Pollution Control Directorate, Environmental Protection Service, Environment Canada, November 1975.
- Duru M., Pehlivan Ş., Okay A.İ., Şentürk Y. ve Kar H., 2012. Biga Yarımadası'nın Tersiyer Öncesi Jeolojisi. Yüzer, E. ve Tunay, G., Eds. *Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi*, MTA Özel Yayın Serisi, No: 28, Ankara. 7-74.
- Duru M., Pehlivan Ş., Şentürk Y., Yavaş F. ve Kar H., 2004. New Results on the Lithostratigraphy of the Kazdağ Massif in Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 13: 177-186.
- Eary L.E. ve Williamson M.A., 2006. Simulations of the Neutralizing Capacity of Silicate Rocks in Acid Mine Drainage Environments. *7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*. Published by the American Society of Mining and Reclamation (ASMR). 564-577.
- Ediger V.S., 1990. Paleopalynology of Coal-Bearing Miocene Sedimentary Rocks Associated with Volcanics of the Biga Peninsula (NW Turkey) and the Effect of Volcanism on Vegetation. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*,

*Abhandlungen*. 180: 259-277.

Ehrlich H.L., 2002. *Geomicrobiology*. 4rd edition. Marcel Dekker Inc. New York, NY.

Eisenlohr T., 1997. The Thermal Springs of the Armutlu Peninsula (NW Turkey) and Their Relationship to Geology and Tectonic. In: Schindler, C. ve Pfister, M., Eds. *Active Tectonics of Northwestern Anatolia–The Marmara Poly Project*. 197-228.

Engin T., Özkan Y.Z., Sarı R., Şen P., Gedikoğlu A. ve Özpeker I., 2012. Biga Yarımadası'nın Metalojenisi. *Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi*. MTA Özel Yayın Serisi, Ankara, 207-272.

Environment Australia, 1997. Managing Sulphidic Mine Wastes and Acid Drainage. *Best Practice Environmental Management in Mining Booklet Series*.

EPA - United States Environmental Protection Agency, 1994a. *Innovative Methods of Managing Environmental Releases at Mine Sites*. USEPA, Office of Solid Waste, Special Wastes Branch (Washington DC), April, OSW Doc. 530-R-94-012.

EPA - United States Environmental Protection Agency, 1994b. *Acid Mine Drainage Prediction*. USEPA, Office of Solid Waste, Special Wastes Branch (Washington DC), December, EPA 530-R-94-036.

EPA - United States Environmental Protection Agency, 1998. *Method 1312 (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)*; Leachate Chemistry Data for Solid Mine Waste Composite Samples from Silverton and Leadville, Colorado. Montour, M.R., Hageman, P.L., Meier, A.L., Theodorakos, P., Briggs, P.H. USGS Open-File Report: 98-624.

EPA - United States Environmental Protection Agency, 2003. *Environmental Protection Agency Office of Water National Primary Drinking Water Standards*.

EPA - United States Environmental Protection Agency. 2004 *Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories*. EPA 822-R-04-005, Office of Water U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC.

Ercan T., 1996. *Biga ve Gelibolu Yarımadaaları ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan*

*Adalarının Jeolojik, Arkeolojik ve Tarihi Özellikleri.* MTA Genel Müdürlüğü, Yerbilimleri ve Kültür Serisi, No. 1, 71.

Ercan T., Satır M., Steinitz G., Dora A., Sarıfakioğlu E., Adis C, Walter H.J. ve Yıldırım, T., 1995. Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşanlı Adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmasının Özellikleri. *MTA Dergisi.* 117: 55-86.

Ergül E., Acar Ş. ve Korkmazer B., 1984. *Biga Yarımadası Kuzeybatı Kesiminin Jeolojisi.* MTA Rapor No: 41130.

Ertin G., 2001. Biga Yarımadasında Madencilik. *Coğrafya Dergisi.* 9: 81-108.

Evangelou V.P, 1998. Pyrite Chemistry: The key for a Batement of Acid Mine Drainage. In: Geller, W. Klapper, H. ve Salomons, W., Eds. *Acidic Mining Lakes: Acid Mine Drainage, Limnology and Reclamation.* Springer, Berlin. 197-222.

Feasby D.G. ve Tremblay G., 1995. New Technologies to Reduce Environmental Liability from Acid Generating Wastes. In: Hynes, T.P. ve Blanchette, M.C. Eds., *Mining and the Environment.* Vol. 2, CANMET, Natural Resources Canada, 643-647.

Fergusson K.D. ve Erickson P.M., 1988. Pre-Mine Prediction of Acid Mine Drainage. In: Salomons ,W. ve Forstner, U., Eds. *Environmental Management of Solid Waste - Dredged Material and Mine Tailings.* Springer-Verlag, New York. 24-43.

Feth J.H., 1981. Chloride in Natural Continental Water - A Review. *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2176.* U.S. Government Printing Office, Washington, 30.

Ford D.C. ve Williams P.W., 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology.* Unwin Hyman Ltd., London. 601.

Freeze A.R. ve Cherry J.A., 2003. *Groundwater.* Prentice-Hall, Inc., New Jersey, U.S.A., 604.

Friese K., Hupfer M. ve Schultze M., 1998. Chemical Characteristics of Water and Sediment in Acid Mining Lakes of Lusatiandistrict. In: Geller, W., Klapper, H., ve Salomons, W., Eds. *Acidic Mining Lakes: Acid Mine Drainage, Limnology and*

- Reclamation*. Springer, Berlin. 3-14.
- Faure G., 1986. *Principles of Isotope Geology*. Second Edition, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, Wiley. 589.
- Fytikas M., Giuliano O., Innocenti F., Marinelli G. ve Mazzuoli R., 1976. Geochronological Data on Recent Magmatism of the Aegean Sea. *Tectonophysics*. 31: 29-34.
- Gamsız E. ve Ağacık G., 1981. *Su ve Analiz Methodları*. DSİ Genel Müdürlüğü. Yayınları. 158.
- Gat J.R. ve Gonfiantini R., 1981. The Isotopes of Hydrogen and Oxygen in Precipitation. In: Fritz, P. ve Fontes, J.C. Eds. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*. Vol.1, Elsevier, New York, USA. 21-47.
- Geller W., Klapper H. ve Schultze M., 1998. Natural and Anthropogenic Sulfuric Acidification of Lakes. In: Geller, W., Klapper, H. ve Salomons, W. Eds. *Acidic Mining Lakes: Acid Mine Drainage, Limnology and Reclamation*. Springer, Berlin. 3-14.
- Gemici Ü., 1999. Çeşme Yarımadası'nın Hidrojeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Genç Ş.C., 1998. Evolution of the Bayramiç Magmatic Complex, Northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 85(1-4): 233-249.
- Genç Ş.C., Dönmez M., Akçay A.E., Altunkaynak Ş., Eyüpoğlu M. ve Ilgar Y., 2012. Biga Yarımadası Tersiyer Volkanizmasının Stratigrafik, Petrografik ve Kimyasal Özellikleri. *Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi*. MTA Özel Yayın Serisi, Ankara. 121-162.
- Goldschmidt, V.M., 1958. *Geochemistry*. Oxford Univ. Pres, London, 730.
- Gough L.P., Shacklette, H.T. ve Case A.A., 1979. Element Concentrations Toxic to Plants, Animals and Man. *Geological Survey Bulletin*. 1466: 80.

- Göncüoğlu M.C., Kuwahara K., Tekin U.K. ve Turhan N., 2004. Upper Permian (Changxingian) Radiolarian Cherts Within the Clastic Successions of the "Karakaya Complex" in NW Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 13: 201-213.
- Granit Y. ve Tintant H., 1960. Observation Preliminaries Sur le Jurassic de la Region de Bilecik (Turquie): Comptes Rendus Acad. *Science*. Paris, 251: 1801-1803.
- Greenberg J. ve Tomson M., 1992. Precipitation and Dissolution Kinetics and Equilibria of Aqueous Ferrous Carbonate vs Temperature. *Applied Geochemistry*. 7: 185-190.
- Grieve P.L., 2009. *NI43-101 Technical Report on the Halilağa Exploration Property, Çanakkale, Western Turkey*. Technical Report by Geology and Resources Solutions Ltd. for Fronteer Development Group Inc. 157.
- Grube W.E., Smith R.M., Singh R.N. ve Sobek A.A., 1973. Characterization of Coal Overburden Materials and Minesoils in Advance of Surface Mining. *Research and Applied Technology Symposium on Mined-Land Reclamation*, Pittsburgh, PA. 134-151.
- Gülen Ö., 2005. Çan (Çanakkale) İlçesindeki Madencilik Yeraltı Sularına Etkisi (Yüksek Lisans Tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Gümüş A., 1964. Contribution a l'étude Geologique de Secteur Serpentrional de Kalabak Köy -Eymür Köy region D'Edremit, Turquie, *MTA Ens. Yayını*. 117: 1-109.
- Gündüz O. ve Baba A., 2008. Fate of Acidic Mining Lakes in Can Lignite District, Turkey. *XXXVI IAH Congress Integrating Groundwater Science and Human Well-being*, Toyama, Japan.
- Gündüz O. ve Baba A., 2009. Asidik Maden Gölleri ve Çevresel Etkileri. 3. *Madencilik ve Çevre Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı. 95-105.
- Gündüz O., Okumuşoğlu D. ve Baba A., 2007. Acidic Mining Lakes and Their Influence on Water Quality: A Case Study From Can (Canakkale), Turkey. Securing Groundwater Quality In Urban and Industrial Environments, *6th International Groundwater Quality Conference Held In Fremantle*, Western Australia. 1-8.

- Güneş C. ve Tokgöz Güneş S., 2011. Asit Drenajının Jeokimyasal Modellenmesi. *IV. Maden ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı*. Maden Mühendisleri Odası, İzmir.
- Gürdal G. ve Baba A., 2006. *Çanakkale-Çan Bölgesi Linyit Kalitesinin Belirlenmesi Çevre ve İnsan Sağlığına Etkileri Açısından Değerlendirilmesi*. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Raporu, Proje No: BAP 2005/91.
- Gürdal G., 2008. Geochemistry of Trace Elements in Çan Coal (Miocene), Çanakkale, Turkey. *International Journal of Coal Geology*. 74(1): 28-40.
- Gürdal G. ve Bozcu M., 2011. Petrographic Characteristic and Depositional Environment of Miocene Çan Coals, Çanakkale-Turkey. *International Journal of Coal Geology*. 85: 143-160.
- Hallberg K. ve Johnson B., 2005. Microbiology of a Wetland Ecosystem Constructed to Remediate Mine Drainage from a Heavy Metal Mine. *Science of the Total Environment*. 338: 53.
- Hatva T., 1989. *Iron and Manganese in Groundwater in Finland: Occurrence in Glaciofluvial Aquifers and Removal by Biofiltration*. Publication of the Water and Environment Research Institute No. 4. National Board of Waters and the Environment, Helsinki, Finland. ISBN 951-47-3097-6, ISSN 0783-9472.
- Hedenquist J.W., 2000. Exploration of Epithermal Gold Deposits. *SEG Reviews*. 13: 245-277.
- Hem J.D., 1970. *Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water*. 3rd Edition, U.S. Geological Survey Water-Supply, 2254: 263.
- Hem J.D., 1985. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. USGS Water Supply Paper 2254, US Gov. Print. Office, 263.
- Hezarfen C., 1976. Çanakkale-Çan Kömür Yatağı Fizibilite Araştırması. *Jeoloji*. Cilt 1, M.T.A.
- Hitchon B., Perkins E.H. ve Gunter W.D., 1999. *Introduction to Ground Water Geochemistry*. Geoscience Publishing Ltd., Sherwood Park, Alberta, Canada. 310.

- Hochella M.F., Jr. Moore J.N., Golla U. ve Putnis A., 1999. A TEM Study of Samples from Acid Mine Drainage Systems: Metal-Mineral Association with Implications for Transport. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 63: 3395-3406
- Hodge W.W., 1937. Pollution of Streams by Coal Mine Drainage. *Industrial and Engineering Chemistry*. 29: 1048-1055.
- Hoefs J., 1997. *Stable Isotope Geochemistry*. Springer-Verlag, 201.
- Holmes P.R. ve Crundwell F.K., 2000. The Kinetics of the Oxidation of Pyrite by Ferric Ions and Dissolved Oxygen: An Electrochemical Study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 64 (2): 23-28.
- Hossain M., Wilcox M.H. ve White P.J., 1993. The Slime of Coagulase-Negative Staphylococci: Biochemistry and Relation to Adherence. *FEMS Microbiol Rev*. 10: 191-207.
- Hyman D.M. ve Watzlaf G.R., 1995. Mine Drainage Characterization for the Successful Design and Evaluation of Passive Treatment Systems. *17th Annual Conference of the National Association of Abandoned Mine Lands*. October, French Lick, IN.
- Hyman D.M., Watzlaf G.R., 1997. Metals and Other Components of Coal Mine Drainage as Related to Aquatic Life Standards. *Proceedings of 1997 National Meeting of the American Society for Surface Mining and Reclamation*. American Society for Surface Mining and Reclamation, Austin, TX, May 10-15. 531-545.
- IAH., 1979. *Map of Mineral and Thermal Water of Europe*. Scale 1:500.000. International Association of Hydrogeologists, United Kingdom.
- Ilgar A., Demirci E. S. ve Demirci Ö., 2012. Biga Yarımadası Tersiyer İstifinin Stratigrafisi ve Sedimantolojisi, Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi, MTA Özel Yayın Serisi, Ankara, 75-120.
- Irvine T.N. ve Baragar W.P.A., 1971. Aguideto the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 8: 523-548.



- ISO, 1994. *Water quality-Determination of Aluminium: Spectrometric Method using Pyrocatechol Violet*. Geneva, International Organization for Standardization, ISO 10566:1994 (E).
- İnaner H. ve Nakoman E., 2004. Resources, Quality and Economic Importance of Solid Fossil Fuels in Turkey. *Geologica Belgica*. 7: 245-250.
- İTASHY, 2005. *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik*. 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Jambor J.L., 2000. The Relationship of Mineralogy to Acid- and Neutralization-Potential Values in ARD. In: Cotter-Howells, J.D., Campbell, L.S., Valsami-Jones, E. and Bathcelor, M. Eds. *Environmental Mineralogy: Microbial Interactions, Anthropogenic Influences, Contaminated Land and Waste Management*. Mineralogical Society Series, Mineralogical Society (London). 9: 1410-159.
- Jambor J.L., 2003. Mine-Waste Mineralogy and Mineralogical Perspectives of Acid-Base Accounting. In: Jambor, J.L., Blowes, D.W. ve Ritchie, A.I.M. Eds. *Environmental Aspects of Mine Wastes*. Mineralogical Association of Canada, Short Course Series. 31: 117-145.
- Jambor J.L., Dutrizac J.E., Raudsepp M. ve Groat L.A., 2003. Effect of Peroxide on Neutralization-Potential Values of Siderite and Other Carbonate Minerals. *Journal of Environmental Quality*. 32: 2373-2378.
- Janisch E., 1994. *Drechsler Gate, Solare Meerwasserentsalzung*. Deutschland.
- Jarvis A.P. ve Younger P.L., 2000. Broadening the Scope of Mine Water Environmental Impact Assessment - A UK Perspective. *Environmental Impact Assessment Review*. 20: 85-96.
- Kaaden G., 1959. Age Relation of Magmatic Activity and Metamorphic Processes in the Northwestern Part of Anatolia, Turkey, *MTA Enstitüsü Bülteni*. 52: 15-33.
- Kaçaroğlu F., 1991. Eskişehir Ovası Yeraltısuyu Kirliliği İncelenmesi (Doktora Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Kalafatçioğlu A., 1963. Ezine Civarının ve Bozcaada'nın Jeolojisi, Kalker ve Serpantinlerin Yaşı, *MTA Dergisi*, 60-69.
- Kania T., 1998. Laboratory Methods for Acid-Base Accounting: An Update. Chapter 6. In: Brady, K.B.B., Smith, M.W. ve Scheuck J., Eds. *Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania*. PA DEP, Harrisburg.
- Karacık Z., Yılmaz Y., Pearce J.A. ve Ece I.Ö., 2008. Petrochemistry of the South Marmara Granitoids, Northwest Anatolia. Turkey. *International Journal of Earth Sciences*. 97: 1181-1200.
- Karadeniz M., 2008. *Asit Maden Drenajı ve Çözümü*. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Oda Yayın No:146, 231.
- Karadeniz M., 2011. Balıkesir-Balya-Kurşun-Çinko Madeni Flotasyon Artıklarının Asit Maden Drenajı Oluşum Potansiyelinin Derinlikle Değişiminin Araştırılması (Doktora Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karakaş G., Brookland I. ve Boehrer B., 2003. Physical Characteristics of Acidic Mining Lake 111. *Aquatic Sciences*. 65: 297-307.
- Karveli T.E., 1990. *Lexicon of Greek Mythology*. Athens: Sokoli, 230 p. In: <http://en.wikipedia.org/wiki/scamander>.
- Kim A.G., Heisey B., Kleinmann R. ve Duel M., 1982. Acid Mine Drainage: Control and Abatement Research. U.S. DOI, Bureau of Mines IC 8905, 22.
- Kontopoulos A., Adam K., Monhemius J., Cambridge M. ve Kokkonis D., 1996. Environmental Management in Polymetallic Sulphide Mines. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production*. SWEMP1996. 321-336.
- Krushensky R.D., Akçay Y. ve Karaege E., 1980. Geology of the Karalar-Yeşiller Area, Northwest Anatolia. *Turkey. U.S. Geol. Sur. Bull.* 1461: 1-72.
- Kuyucak N., 2002. Role of Microorganisms in Mining: Generation of Acid Rock Drainage and its Mitigation and Treatment. *The European Journal of Mineral Processing and*

*Environmental Protection*. 2 (3): 179-196.

- Kwong Y.T.J. ve Ferguson K.D., 1990. Water Chemistry and Mineralogy at Mt. Washington: Implications to Acid Generation and Metal Leaching. In: Gadsby, J.W., Malick, J.A. ve Day, S.J., Eds. *Acid Mine Drainage: Designing for Closure*. Bitech Publishers, Vancouver, British Columbia, 217-230.
- Kwong Y.T.J. ve Lawrence J.R., 1998. Acid Generation and Metal Immobilization in the Vicinity of a Naturally Acidic Lake in Central Yukon Territory, Canada. In: Geller, W., Klapper, H., ve Salomons, W., Eds. *Acidic Mining Lakes: Acid Mine Drainage, Limnology and Reclamation*. Springer, Berlin. 65-86.
- Lapakko K.A. ve Antonson D.A., 1994. Oxidation of Sulfide Minerals Present in Duluth Complex Rock: A Laboratory Study. In: *Environmental Geochemistry of Sulfide Oxidation*. ACS Symposium Series 550, American Chemical Society, Washington, DC. 593-607.
- Lapakko K.A., 1993. *Evaluation of Tests for Predicting Mine Waste Drainage pH. Report to the Western Governors' Association*. Minnesota Department of Natural Resources, Division of Minerals, St. Paul, MN. 76.
- Lapakko K.A., 1994. Comparison of Duluth Complex Rock Dissolution in the Laboratory and Field. *International Land Reclamation and Acid Mine Drainage Conference and the Third International Conference on the Abatement of Acidic Drainage*, Pittsburgh, PA, April 24-29.
- Lapakko K.A., 2002. Metal Mine Rock and Waste Characterization Tools: An Overview, International Institute for Environment and Development, No: 67, 31.
- Lawrence R.W. ve Scheske M., 1997. A Method to Calculate the Neutralization Potential of Mining Wastes. *Environmental Geology*. 32(2): 100-106.
- Leblanc M., Morales J.A., Borrego J. ve Elbaz P., 2000. A 4500 Years Old Mining Pollution in Southwestern Spain: Long-Term Concerns for Modern Mining. *Economic Geology*. 95: 655-672.
- Lee J.Y. ve Chon J.Y., 2006. Hydrogeochemical Characteristics of Acid Mine Drainage in

- the Vicinity of an Abandoned Mine, Daduk Creek, Korea. *Journal of Geochemical Exploration*. 88: 37-40.
- Lottermoser B.G., 2010. *Mine Wastes: Characterization, Treatment, and Environmental Impacts*. 3rd Edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Lucas L.L. ve Unterwegger M.P., 2000. Comprehensive Review and Critical Evaluation of the Half-Life of Tritium. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 105: 541-549.
- Lundgren D.G., Vestal J.R. ve Tabita F.R., 1972. The Microbiology of Mine Drainage Pollution. In: Mitchell, R., Eds. *Water Pollution Microbiology*. Wiley Interscience.
- Matschullat J., 2000. Arsenic in the Geosphere: A Review. *Science of the Total Environment*. 249: 297-312.
- Michel R.L., 2004. Tritium Hydrology of the Mississippi River Basin. *Hydrological Processes*. 18: 1255-1269.
- Miller S.D. ve Murray G.S. 1988. Application of Acid Base Analysis to Wastes from Base Metal and Precious Metal Mines, In: *Mine Drainage and Surface Mine Reclamation*. USBM IC 9183, 1: 29-32.
- Miller S.D., Jeffery J.J. ve Murray G.S.C., 1990. Identification and Management of Acid Generating Mine Wastes-Procedures and Practices in South-East Asia and the Pacific Regions. In: Gadsby, J.W., Malick, J.A. ve Day, S.J., Eds. *Acid Mine Drainage Designing for Closure*. BiTech Publishers Ltd., Vancouver, British Columbia. 1-11.
- Miller S., Robertson A. ve Donahue T., 1997. Advances in Acid Drainage Prediction using the Net Acid Generation (NAG) Test. *4th International Conference on Acid Rock Drainage*, Vancouver, BC. 533-549.
- Mills C., 1995. An AMD/ARD Dedicated Blog Based on The Text of a Presentation Given Mills to British Columbia High School Science Teachers. *Seminar; Acid Rock Drainage at the Cordilleran Roundup*, Hotel Vancouver, Vancouver, BC.
- Mills C., 1999. *The Role of Micro-organisms in Acid Rock Drainage*.

<http://technology.infomine.com/enviromine/ard/home.htm>

Mills C., 2007. *Acid-Base Accounting (ABA) Test Procedures*.  
<http://technology.infomine.com/enviromine/ard/home.htm>

Mitchell P., 2000. Prediction, Prevention, Control and Treatment of Acid Rock Drainage.  
In: Warhurst, A. ve Noronha, L. Eds. Environmental policy in mining - Corporate strategy and planning for closure. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 513.

Mook G.W., 2002. *Introduction to Isotope Hydrology: Stable and Radiactive Isotopes of Hydrogen, Oxygen and Carbon*. International Association of Hydrogeologist, Taylor and Francis.

Moran S.R., Cherry J.A. ve Ulmer, J.H., 1976. An Environmental Assessment of a 250 MMSCFD Dry Ash Surgi Coal Gasification Facility in Dunn County, North Dakota. Univ. North Dakota, Eng, EXp, Sta. Bull76-12-EES-01.

Moran J. E. ve Hudson G.B., 2005. Using Groundwater Age and Other Isotopic Signatures Todelineate Groundwater Flow and Stratification. Presented at: *Geological Society of America*. Salt Lake City, UT, United States, October 15-19.

Morin K.A. ve Hutt N.M., 1997. *Environmental Geochemistry of Minesite Drainage: Practical Theory and Case Studies*. MDAG Publishing, Vancouver, Canada.

Morin K.A. ve Hutt N.M., 1999. Humidity Cells: How Long? How Many? Preprint for Sudbury'99, *Mining and the Environment II*. 1-9.

Motzer T., 2003. Bestandesklima, Energiehaushalt und Evapotranspiration Eines Neotropischen Bergregenwaldes, Forstmeteorologische und Ökophysiologische Untersuchungen in den Anden Süd-Ecuadors. PhD Dissertation (Doktora Tezi). University of Mannheim, Mannheim, Germany. 145.

MTA, 1991. *Report on the Mineral Exploration in the Çanakkele Area Republic of Turkey*. Consolidated Report, MTA Report, No: 9392, 180.

MTA, 2012. *Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi*. Özel Yayın Serisi-28, Ankara, 326.

- Mutlu H., 2005. Jeotermal Kaynaklarda Duyarlı İzotop Tekniklerinin Kullanılması. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Dergisi.
- Nesbitt H.W. ve Jambor J.L., 1998. Role of Mafic Minerals in Neutralizing ARD, Demonstrated Using a Chemical Weathering Methodology. In: Cabri, L.J. ve Vaughan, D.J., Eds. *Modern Approaches to Ore and Environmental Mineralogy*. Mineralogical Association of Canada Short Course Series. 27: 403-421.
- Nicholson R.V., 1994. Iron-Sulfide Oxidation Mechanisms: Laboratory Studies. In: Blowes, D.W. ve Jambor, J.L., Eds. *Environmental Geochemistry of Sulfide Mine Wastes*. Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook. 22: 163-183.
- Noll D.A., Bergstresser T.W. ve Woodrock J., 1988. *Overburden Sampling and Testing Manual*. Contract No: ME 86120, Pennsylvania Department of Environmental Resources, 78.
- Nordstrom D.K., Plummer L.N., Wigley T.M.L., Wolery T.J. ve Ball J.W., 1979. A Comparison of Computerized Chemical Models for Equilibrium Calculations in Aqueous Systems. In: Jenne, E.A., Ed. *Chemical Modeling in Aqueous Systems*. American Chemical Society Symposium Series, ACS, Washington, D.C. 93: 857-892.
- Nordstrom D.K. ve Southam G., 1997. Geomicrobiology of Sulfide Mineral Oxidation. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 35:361-390.
- Nordstrom D.K. ve Alpers C.N., 1999. Geochemistry of Acid Mine Waters. In: Logsdon, G.S. ve Plumlee, M.B., Eds. *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits*. Part A. Processes, Methods and Health Issues, Reviews in Economic Mineralogy. 6:133-160.
- Nordstrom D.K., 2002. Worldwide Occurrences of Arsenic in Ground Water. *Science*. 296: 2143-2145.
- Nordstrom D.K., 2003. *Effects of Microbiological and Geochemical Interactions in Mine Drainage*. In: Jambor, J.L., D.W. Blowes, ve Ritchie, A.I.M., Eds. *Environmental Aspects of Mine Wastes*. Short Course Series Vol. 31, Mineralogical Association of

Canada.

- Okay A.İ., 1988. *Çan - Yenice - Biga Arasının Jeolojisi ve Tektoniği*. İTÜ Yerbilimleri ve Yer altı Kaynakları UYG-Ar Merkezi. 4-44.
- Okay A.İ., Siyako M. ve Bürkan K.A., 1990. Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik Evrimi. *TPJD Bülteni*. C.2/1: 83-121.
- Okay A.İ. ve Satır M., 2000. Coeval Plutonism and Metamorphism in Latest Oligocene Metamorphic Core Complex in Northwest Turkey. *Geological Magazine*. 137: 495-516.
- Okay A.İ. ve Göncüoğlu, M.C., 2004. The Karakaya Complex: A Review of Data and Concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences*, Vol 13, pp. 77-95.
- Okumuşoğlu D., 2009. The Influence of Mining Activities on Surface and Subsurface Water Quality. M.Sc. Thesis (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül University, School of Natural and Applied Sciences, İzmir, 131.
- Ohmoto H. ve Rye R.O., 1979. Isotopes of Sulfur and Carbon. In: Barnes, H.L., Ed. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. New York, Wiley-Intersci. 509-567.
- Önder Ü., Çınar A. ve Serter G., 2003. *Çanakkale İli Çevre Durum Raporu*. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çanakkale Valiliği İl Çevre Müdürlüğü, Çanakkale. 358.
- Öngen S., 1978. Petrographie und Petrochemiedes Çavuşlu-Karaköy Granitoid massivs. *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmua Serisi*, B43: 93-115.
- Özçelik G.A., 2007. Prediction Techniques of Acid Mine Drainage: A Case Study of a New Poly- Metallic Mine Development in Erzincan-Ilic, Turkey. PhD Dissertation. Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Özen T. ve Tarcan G., 2009. Caferbey ve Sart-Çamur (Salihli) Jeotermal Alanlarının Hidrojeokimyasal İncelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*. 52(3): 297-324.
- Özgüner A.M., 2005. *Kükürt*. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, Eğitim Serisi No 39, ISBN: 975-8964-34-8. 82.

- Page A.L., Miller R.H. ve Keeney D.R., 1982, *Methods of Soil Analysis: Part 2 - Chemical and Microbiological Properties*. 2nd Edition, American Society of Agronomy Inc., Soil Science Society of America Inc.199-209.
- Paine P.J., 1987. An Historic and Geographic Overview of Acid Mine Drainage. *Acid Mine Drainage Seminar/Workshop*. Halifax, Nova Scotia, March, 1-45.
- Paktunç A.D., 1998. Characterization of Mine Wastes for Prediction of Acid Mine Drainage. In: Azcue, J.M., Eds. *Environmental Impacts of Mining Activities - Emphasis on Mitigation and Remedial Measures*. Springer, Berlin Heidelberg, New York. 19-40.
- Paktunç, A.D., 1999. Mineralogical Constrains on the Determination of Neutralization Potential and Prediction of Acid Mine Drainage. *Environmental Geology*. 38: 82-84.
- Pehlivan N. ve Çetin A., 1997. *Edremit (Balıkesir), Ezine, Bayramiç, Yenice (Çanakkale) Çevresinin Altın Ağırlıklı Polimetal ve Ağır Mineral Çalışmaları Raporu*. Maden Tetkik Arama Rapor No: 10061, (yayımlanmamış), Ankara.
- Pentreath R.J., 1994. The Discharge of Waters from Active and Abandoned Mines. In: Hester, R.E.ve Harrison, R.M. Eds. *Mining and its Environmental Impact*. Issues in Environmental Science and Technology, No. 1, Royal Society of Chemistry, Herts, UK. 121-132.
- Pickett E.A. ve Robertson A.H.F., 2004. Significance of the Volcanogenic Nilüfer Unit and Related Components of the Triassic Karakaya Complex for Tethyan Subduction/accretion Processes in NW Turkey. *Turkish Journal of EarthSciences*. 13: 97-143.
- Pickett E.A., Robertson A.H.F. ve Dixon J.E., 1995. The Karakaya Complex, NW Turkey: A Palaeo Tethyan Accretionary Complex. *Geology of the Black Sea Region*. 11-23.
- Pietsch W., 1979. Zur Hydrochemischen Situation der Tagebauseen des Lausitzer Braunkohlen-Reviers. *Archiv Naturschutz und Landschaftsforschung*. 19: 97-115.
- Piper A.M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Transactions of American Geophysical Unions*. 25: 914–923.



- Price W.A., 1997. *Draft Guidelines and Recommended Methods for the Prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia*. British Columbia Mine Reclamation Section (MRS), B.C. Ministry of Employment and Investment, Energy and Minerals Division. 141.
- Pugh C.E., Hossner L.R. ve Dixon J.B., 1984. Oxidation Rate of Iron Sulfides as Affected by Surface Area, Morphology, Oxygen Concentration and Autotrophic Bacteria. *Soil Science*. 137 (5): 309-314.
- Raisanen M.L., Kauppila P.M. ve Myohanen T., 2010. Suitability of Static Tests for Acid Rock Drainage Assessment of Mine Waste Rock. *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 82: 101-111.
- Rankama K. ve Sahama T.H.G., 1964. *Geochemistry*. The Univ of Chicago press, Chicago and London. 912.
- Redfield A.C., 1934. On the Proportions of Organic Derivatives in Sea Water and their Relation to the Composition of Plankton. In: Daniel, R.J., Ed. *James Johnstone Memorial Volume*. Liverpool University Press, Liverpool, UK. 176–192.
- Richard L.R., 1995. Mineralogical and Petrological, Data Processing System for Windows, Version 2.02. *Minpet Geological Software-Logiciel Géologique Minpet*, Quebec, Canada.
- Rose A.W. ve Cravotta C.A., III. 1998. Geochemistry of Coal-Mine Drainage. In: Brady, K.B.C., Smith, M.W., ve Schueck, J., Eds. *Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania*. Harrisburg, Pa., Pennsylvania Department of Environmental Protection, 5600-BK-DEP225.
- Rose S., 2007. Utilization of Decadal Tritium Variation for Assessing the Residence Time of Base Flow. *Groundwater*. 45(3), 309-317.
- Savaşın Y., Ayata S. ve Tokçaeer M., 2005. Yeraltısuları ve Jeotermal Sistemlerde Modellemeler. Erasmus Kursu Notları. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir. 68.
- Singer P.C. ve Stumm W., 1970. Acid Mine Drainage: The Rate Determining Step. *Science*. 167: 1121-1123.

- Siyako M., Bürkan K.A. ve Okay A.İ., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadaı'nın Tersiyer Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları. *TPJD Bülteni*. 1(3): 183-199.
- Skousen J.G., Smith R. ve Sencindiver J., 1996. The Development of the Acid-Base Account. In: Skousen, G. ve Ziemkiewicz, P.F., Eds. *Acid Mine Drainage Control and Treatment*, National Mine Reclamation Center, West Virginia University. 15-20.
- Smith K.S., Ficklin W.H., Plumlee G.S., ve Meier A.L., 1992. Metal and Arsenic Partitioning Between Water and Suspended Sediment at Mine-Drainage Sites in Diverse Geologic Settings. *7th Internatl Water-Rock Interaction Conference*. Park City, Utah, July, 443-447.
- Smith R.M., Grube W.E., Arkle T.A. ve Sobek A.A., 1974. Mine Spoil Potentials for Soil and Water Quality. U.S. EPA 670/2-74-070, Washington, DC.
- Sobek A.A., Schuller W.A, Freeman J.R. ve Smith R.M., 1978. *Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Minesoils*. Report EPA-600/2-78-054, US National Technical Information Service, Report. PB-280495.
- Sobek A.A., Skousen J.G. ve Fisher Jr. S.E., 1996. Chemical and Physical Properties of Overburden and Minesoils. Skousen, J.G. and Ziemkiewicz, P.F., Eds. *Acid Mine Drainage Control and Treatment*. West Virginia University and the National Mine Land Reclamation Center, Morgantown, West Virginia, USA. 21-46.
- Sracek O., Bhattacharya P., Jacks G., Gustafsson J-P. ve vonBrömssen M., 2004. Behaviour of Arsenic and Geochemical Modeling of Arsenic Enrichment in Aqueous Environments. *Applied Geochemistry*. 19(2): 169-180.
- SRK, 2012a. *Preliminary Economic Assessment Technical Report for the Halılağa Project, Turkey*. Report Prepared for Truva Bakır Maden İşletmeleri A.Ş. and Pilot Gold Inc. Report Prepared by SRK Consulting (Canada) Inc., Ankara. 249.
- SRK, 2012b. *Halılağa Altın ve Bakır Madeni İşletmesi Projesi Nihai Çevresel Etki Değerlendirme Raporu*. Truva Bakır Maden İşletmeleri A.Ş., SRK Consulting (Canada) Inc., Ankara. 299.

- Steven T.A. ve Ratte J.C., 1960. Geology and Ore Deposits of the Summitville District, San Juan Mountains, Colorado. US Geological Survey Professional Paper 343. 70.
- Stewart W.A., Miller S.D. ve Smart R.St.C., 2006. Advances in Acid Rock Drainage Characterisation of Mine Wastes. *Proc. 7th Int. Conf. Acid Rock Drainage (7th ICARD)*. March 26-30, St. Louis, MO, USA. 2098-2119.
- Stewig R., 1968. *Batı Anadolu Bölgesinin Kültürel Gelişmesini Gösteren Kartografik Bilgiler*. Çeviri: Tufan, R. 61.
- Stoffregen R.E., 1987. Genesis of Acid-Sulfate Alteration and Au-Cu-Ag Mineralization at Summitville, Colorado. *Economic Geology*. 82: 1575-1591.
- Sverdrup H.U., 1990. *The Kinetics of Base Cation Release Due to Chemical Weathering*. Lund University Press, Lund. 246.
- Şahinci A., 1986. *Yeraltı Suları Jeokimyası*. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, MM/JEO-86 EY 99. 394.
- Şahinci A., 1991. *Doğal Suların Jeokimyası*. Reform Matbaası, Beyler, İzmir, 548.
- Şanlıyüksel D. ve Baba A., 2011. Çan Havzasında Terk Edilmiş Maden Sahalarından Kaynaklanan Atıkların Su Kaynaklarına Etkisi. *64. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara. 47-48.
- Şanlıyüksel Yücel D. ve Baba A., 2013. Geochemical Characterization of Acid Mine Lakes and their Effect on the Environment, NW of Turkey. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 64 (3): 357-376.
- Şanlıyüksel Yücel D., Şengün F. ve Baba A., 2012. Çan Havzasındaki Alterasyon Zonlarının Su Kaynakları Üzerindeki Etkisi. *65. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara. 122-123.
- Şaroğlu F., Emre Ö. ve Kuşçu İ., 1992. *Türkiye Diri Fay Haritası*. MTA, Ankara.
- Şengün F., 2011. Biga Yarımadası'ndaki (KB Anadolu) Alpin Öncesi Metamorfik Kayaçların Petrolojik ve Yapısal Özellikleri (Doktora Tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.

- Tarcan G., 2004. *Yeraltı Suyu Kimyası Ders Notları*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
- Taylor B.E., Wheeler M.C. ve Nordstrom D.K., 1984. Isotope Composition of Sulphate in Acid Mine Drainage as Measure of Bacterial Oxidation. *Nature*. 308: 538-541.
- Tezcan L., 2002. Hidrolojik Çalışmalarda Kullanılan Yeni İzotoplar ve Kullanım Alanları. *Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu*, Adana. 15-25.
- Top G., 2008. Sıvı Sintilasyon Cihazı ile İçme Sularında Trityum Seviyelerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı. 88.
- Tran A.B, Miller S., Williams D.J, Fines P. ve Wilson G.W., 2003. Geochemical & Mineralogical Characterisation of Two Contrasting Waste Rock Dumps - The INAP Waste Rock Dump Characterisation Project. *Proceedings of the 6th International Conference on ARD*. 939-947.
- TS266, 2005. *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Sular-İçme ve Kullanma Suları*. Türk Standartları, Ankara.
- Tuncalı E., Çiftçi B., Yavuz N., Toprak S., Köker A. ve Gencer Z., 2002. *Tersiyer Kömürlerinin Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri*, MTA, Ankara.
- Ünalın G., 2010. Kömür Jeolojisi, MTA Eğitim Serisi-41, ISBN: 978-605-4075-72-0.
- Van Voast W.A. ve Hedges B., 1975. Hydrogeologic Aspects Existing and Proposed Strip Coal Mines Near Decker, Southeastern Montana. *Montana Bureau of Mines and Geology Bulletin*. 97.
- Weber P.A., Thomas J.E., Skinner W.M. ve Smart R.C., 2004. Improved Acid Neutralization Capacity Assessment of Iron Carbonates by Titration and Theoretical Calculation. *Applied Geochemistry*. 19(5): 687-694.
- Weber P.A., Thomas J.E., Skinner W.M. ve Smart R.C., 2005. Calculated Acid-Base Account for H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Oxidation of Carbonate-Poor Pyritic Mine-Rock. *Canadian Mineralogist*. 43: 1193-1204.

- Weber P.A., Hughes J.B., Conner L.B., Lindsay P. ve Smart R.C., 2006. Shortterm Acid Rock Drainage Characteristics Determined by Paste pH and Kinetic NAG Testing: Cypress Prospect, New Zealand. *7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*. March 26-30, St. Louis MO. R.I. Barnhisel Ed. Published by the American Society of Mining and Reclamation (ASMR), 3134 Montavesta Road, Lexington, KY 40502. 2289-2310.
- White N.C., 1991. High Sulfidation Epithermal Gold Deposits: Characteristics and a Model for their Origin; in High-temperature Acid Fluids and Associated Alteration and Mineralization. *Geological Survey of Japan, Report No. 277*. 9-20.
- White W.W. III ve Jeffers T.H., 1994. Chemical Predictive Modeling of Acid Mine Drainage from Metallic Sulfide-Bearing Rock. In: *Environmental Geochemistry of Sulfide Oxidation*. ACS Symposium Series 550, American Chemical Society, Washington, DC. 608-630.
- White W.W. III, Lapakko K.A. ve Cox R.L., 1999. Static-test Methods Most Commonly Used to Predict Acid-Mine Drainage: Practical Guidelines for Use and Interpretation. In: Plumlee G.S. ve Logsdon M.J., Eds. *Reviews in Economic Geology*. V. 6A, The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A: Processes, Techniques, and Health Issues. P Society of Economic Geologists, Inc., Littleton, CO. 325-338.
- WHO, 1997. *International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria 194, Aluminium*. World Health Organization, Geneva.
- WHO, 1998. *Guidelines for Drinking-Water Quality, Addendum, 2nd Ed., Vol. 2., Health Criteria and Other Supporting Information*. World Health Organization, Geneva.
- WHO, 2004. *Guidelines for Drinking Water Quality*. 3rd Ed., Vol. 1, World Health Organization, Geneva.
- WHO, 2006. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Vol. 1., World Health Organization, Geneva. ISBN 92 4 154696 4. 515.
- Williamson N.A., Johnson M. S. ve Bradshaw A. D., 1982. Mine Waste Reclamation. The Establishment of Vegetation on Mine Wastes. *Mining Journal Books*. London.

- Williamson N.A. ve Rimstidt J.D., 1994. The Kinetics and Electrochemical Rate-Determining Step of Aqueous Pyrite Oxidation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 58(24): 5443-5454.
- Williamson M.A., Kirby C.S. ve Rimstidt J.D., 2006. Iron Dynamics in Acid Mine Drainage. 7. *International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*. March 26-30, St. Louis, MO. Barnhisel, R.I., Ed. Published by the American Society of Mining and Reclamation (ASMR), 3134 Montavesta Road, Lexington, KY 40502. 2411-2423.
- Yalçın H. ve Gürü M., 2002. *Su Teknolojisi*. Palme Yayıncılık, Ankara. 296.
- Yalçın T. ve Sarp S., 2012. Biga Yarımadası Termal Sularının Jeokimyasal ve Jeotermal Potansiyeli. *Biga Yarımadası'nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi*. MTA Özel Yayın Serisi, Ankara. 289-301.
- Yıkılmaz M.B., Okay A.İ. ve Özkar İ., 2002. Biga Yarımadası'nda Pelajik Bir Paleosen İstifi. *MTA Dergisi*. 123/124: 21-26.
- Yıldırım N. ve Güner İ.N., 2002. Büyük Menderes Grabeninin Doğusunda Yer Alan Jeotermal Sahalarda Bulunan Suların İzotopik ve Hidrojeokimyasal Özellikleri. *Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu*, Adana. 69-87.
- Yılmaz Y., Genç Ş.C., Karacık Z. ve Altunkaynak Ş., 2001. Two Contrasting Magmatic Associations of NW Anatolia and Their Tectonic Significance. *Journal of Geodynamics*. 31: 243-271.
- Yiğit Ö., 2009. Mineral Deposits of Turkey in Relation to Tethyan Metallogeny: Implications for Future Mineral Exploration. Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*. 104: 19-51.
- Yiğit Ö., 2012. A prospective Sector in the Tethyan Metallogenic Belt: Geology and Geochronology of Mineral Deposits in the Biga Peninsula, NW Turkey. *Ore Geology Reviews*. 46: 118-148.
- Yörükoğlu A. ve Karadeniz M., 2003. Asit Maden Drenajı Kestirim Yöntemlerinin Karşılaştırılması. In: Özbayoğlu, G., Eds. 18. *Uluslararası Madencilik Kongresi ve*

*Sergisi (IMCET 2003), Antalya. 125-131.*

Yücel M.A., Şanlıyüksel Yücel D. ve Baba A., 2012. Çan (Çanakkale) İlçesindeki Kömür Madenciliği Faaliyetlerinin Alansal Bazda Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Ortamında Uydu Görüntüleri İle Belirlenmesi. *65. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara. 146-147.

Zawadski E.A., 1967. Acid Mine Drainage Research at Bituminous Coal Research, Inc. AIME Natl. Meet., Las Vegas, Nev. 12.

<http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Image:Tbfo.gif>

<http://tuik.gov.tr/>

<http://www.dmi.gov.tr/>

<http://www.dsi.gov.tr/>

<http://www.uwec.edu/chemistry/>

## ÇİZELGELER

## Sayfa No

Çizelge 1. Çanakkale meteoroloji istasyonunun özellikleri .....	4
Çizelge 2. Çanakkale meteoroloji istasyonunun aylık ortalama meteorolojik verileri (1960-2012 yılları arası) ( <a href="http://dmi.gov.tr">http://dmi.gov.tr</a> ) .....	4
Çizelge 3. Asit nötrleştirmeye katkısı olan minerallerin göreceli çözünme hızları (Sverdrup, 1990; Lawrence ve Scheske, 1997; Karadeniz, 2011) .....	15
Çizelge 4. Fışırdaama testi için asit miktar ve şiddetinin belirlenmesi (Sobek ve ark., 1978; Noll ve ark., 1988; Sobek ve ark., 1996; Karadeniz, 2011) .....	44
Çizelge 5. Jeokimyasal analizleri yapılan litolojiler ve lokasyonları .....	93
Çizelge 6. Çan volkanitlerine ait majör element analiz sonuçları (%) .....	94
Çizelge 7. Çan formasyonuna ait örnek alınan litolojilerin lokasyonu ve uygulanan analiz yöntemi .....	96
Çizelge 8. Çan formasyonuna ait majör oksit analiz sonuçları (%) .....	97
Çizelge 9. Kömür içerisindeki kükürt örneklerinin piritik, sülfat ve organik kükürt değerleri (%) (Gürdal ve Bozcu, 2011).....	97
Çizelge 10. Çan formasyonuna ait kömürlerin bazı iz element sonuçları ve Dünya ortalama değerleri (ppm) .....	98
Çizelge 11. Etili kömür inorganik madde mineral içeriği (Tuncalı ve ark., 2002) (Koordinat: 487900-4424112) .....	100
Çizelge 12. Etili kömür inorganik madde mineral içeriği (Baba ve ark., 2008) .....	100
Çizelge 13. K-2 no'lu kömür örneğinin mineral içeriği .....	101
Çizelge 14. Jeokimyasal analizleri yapılan alterasyon zonları ve lokasyonları	104
Çizelge 15. Silikanın majör oksit sonuçları (%) .....	105
Çizelge 16. 4 no'lu örneğin mineral içeriği .....	107
Çizelge 17. Arjilik zonda gözlenen kayaçların majör oksit değerleri (%) .....	109
Çizelge 18. Arjilik alterasyondaki bazı iz element sonuçları (ppm) .....	109
Çizelge 19. 8 no'lu örneğin mineral içeriği .....	111
Çizelge 20. 6 no'lu örneğin mineral içeriği .....	112
Çizelge 21. MTA'nın Soğuluk tepede açtığı araştırma sondajları bilgileri (MTA, 1991) .....	114
Çizelge 22. AMG dip sedimanı mineral içeriği .....	118
Çizelge 23. Kükürtlü seviyenin mineral içeriği .....	120



Çizelge 24. Kar ve yağmur örneklerinin alındığı lokasyon .....	127
Çizelge 25. AMG'nin koordinatları .....	127
Çizelge 26. İçme suyu kaynaklarının koordinatları ve debileri .....	138
Çizelge 27. Keçiağlı köyündeki su kaynaklarının koordinatları ve debileri ..	139
Çizelge 28. Halılağa köyündeki su kaynaklarının koordinatları ve debileri....	140
Çizelge 29. Hacıbekirler köyündeki su kaynaklarının koordinatları ve debileri .....	141
Çizelge 30. Muratlar köyündeki su kaynaklarının koordinatları ve debileri...	141
Çizelge 31. Hacıkasım köyündeki su kaynaklarının koordinatları ve debi değerleri.....	142
Çizelge 32. Gözlem kuyularının konum ve yükseklik bilgileri .....	143
Çizelge 33. Gözlem kuyularının yeraltı su seviyeleri .....	144
Çizelge 34. İzleme kuyularının konum, derinlik ve debi bilgileri (SRK, 2012b) .....	147
Çizelge 35. İzleme kuyularının yeraltı su seviyesi değerleri (m) .....	148
Çizelge 36. Araştırma sondajlarının konum ve yükseklik bilgileri, sondajların ve yeraltı su seviyesi derinlik değerleri .....	150
Çizelge 37. Keson kuyuların konum ve yükseklik bilgileri ile Temmuz 2011 dönemine ait yeraltı suyu derinlik değerleri .....	152
Çizelge 38. Asit maden göllerinin alanı (m <sup>2</sup> ) .....	157
Çizelge 39. Asit maden göllerinin çevre uzunluğu (m) .....	157
Çizelge 40. Bazı fizikokimyasal parametrelere ait limit değerler .....	161
Çizelge 41. Su noktalarının fizikokimyasal parametre ölçüm tarihleri .....	161
Çizelge 42. Örnekleme yapılan derelerin fizikokimyasal parametre değerleri	162
Çizelge 43. AMG'lerin çevresindeki derelerin pH değerleri (Mayıs 2012) .....	162
Çizelge 44. AMG'lerde ölçülen pH değerleri .....	164
Çizelge 45. AMG'lerde ölçülen sıcaklık değerleri .....	165
Çizelge 46. AMG'lerde ölçülen Eh değerleri .....	166
Çizelge 47. AMG'lerde ölçülen EC değerleri .....	167
Çizelge 48. AMG'lerde ölçülen tuzluluk değerleri .....	168
Çizelge 49. Tüm AMG'lerin fizikokimyasal parametre değerleri (28.08.2012) .....	169
Çizelge 50. 2 no'lu AMG'nin derinliğe bağlı değişen fizikokimyasal parametre değerleri .....	172

Çizelge 51. İçme suyu kaynaklarının fizikokimyasal parametre değerleri .....	175
Çizelge 52. Su kaynaklarının fizikokimyasal parametre değerleri .....	176
Çizelge 53. Gözlem kuyularının fizikokimyasal parametre değerleri .....	178
Çizelge 54. İzleme kuyularına ait fizikokimyasal parametre değerleri .....	179
Çizelge 55. Araştırma sondajlarının fizikokimyasal parametre değerleri .....	179
Çizelge 56. Keson kuyularda ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri ....	180
Çizelge 57. Standartlara göre içme sularında bulunabilecek majör iyon konsantrasyonları limit değerleri (mg/l) .....	186
Çizelge 58. Su noktalarının örnekleme dönemleri .....	187
Çizelge 59. Derelerde ölçülen majör iyon konsantrasyonları (mg/l) .....	188
Çizelge 60. AMG'lerin majör iyon konsantrasyonları (mg/l) .....	189
Çizelge 61. Tüm AMG'lerin majör iyon konsantrasyonu (mg/l) (Ağustos 2012) .....	189
Çizelge 62. AMG-2'de derinlik ile değişen majör elementler .....	192
Çizelge 63. Kaynakların majör iyon konsantrasyonları (mg/l) .....	194
Çizelge 64. Gözlem kuyularının majör iyon analiz sonuçları (mg/l) .....	196
Çizelge 65. İzleme kuyularının majör iyon konsantrasyonları (mg/l).....	197
Çizelge 66. Gözlem kuyularının majör iyon analiz sonuçları (mg/l) .....	198
Çizelge 67. Keson kuyularının majör iyon analiz sonuçları (mg/l) .....	199
Çizelge 68. Standartlara göre bazı elementlerin limit değerleri (µg/l) .....	202
Çizelge 69. Yüzey sularında ölçülen element konsantrasyonları .....	202
Çizelge 70. AMG-1'de ölçülen element konsantrasyonları (µg/l) .....	203
Çizelge 71. AMG-2'de ölçülen element konsantrasyonları (µg/l) .....	203
Çizelge 72. AMG-3'de ölçülen element konsantrasyonları (µg/l).....	203
Çizelge 73. AMG-4'de ölçülen element konsantrasyonları (µg/l).....	204
Çizelge 74. AMG-5'de ölçülen element konsantrasyonları (µg/l).....	204
Çizelge 75. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite değerleri (SKKY, 2004) .....	204
Çizelge 76. AMG-2'de derinlikle değişen element konsantrasyonları (µg/l)	205
Çizelge 77. AMG'lerin Fe <sup>2+</sup> ve Fe <sup>3+</sup> içeriği (µg/l) .....	206
Çizelge 78. AMG'lerin askıda ve çözünmüş katı madde ile asidite değerleri	208
Çizelge 79. AMD sınıflaması (Lundgren ve ark., 1972).....	208
Çizelge 80. Su kaynaklarındaki element konsantrasyonları .....	209

Çizelge 81. Gözlem kuyularının bazı element konsantrasyon değerleri .....	210
Çizelge 82. İzleme kuyularının bazı element konsantrasyon değerleri (SRK, 2012) .....	210
Çizelge 83. Araştırma sondajlarının bazı element konsantrasyon değerleri ...	211
Çizelge 84. Keson kuyularının bazı element konsantrasyon değerleri .....	211
Çizelge 85. Su noktalarının $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta^2\text{H}$ ve T izotop analiz sonuçları .....	218
Çizelge 86. Kar ve yağmur örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta^2\text{H}$ ve T izotop analiz sonuçları .....	219
Çizelge 87. Su noktalarının T (TU) değerlerine göre göreceli (bağıl) yaşları ..	225
Çizelge 88. Farklı litolojilere ait $\delta^{34}\text{S}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri .....	231
Çizelge 89. Asit maden göllerindeki $\text{SO}_4$ 'ın $\delta^{34}\text{S}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri .....	231
Çizelge 90. Çalışma kapsamında uygulanan jeokimyasal statik test metotları	234
Çizelge 91. Statik test uygulanan örnekler .....	235
Çizelge 92. P-1 no'lu örneğin mineral içeriği .....	237
Çizelge 93. P-2 no'lu örneğin mineral içeriği .....	238
Çizelge 94. P-7 no'lu örneğin mineral içeriği .....	239
Çizelge 95. HD-39 no'lu sondajın 7,5 m derinliğindeki mineral içeriği .....	240
Çizelge 96. HD-39 no'lu sondajın 17,2 m derinliğindeki mineral içeriği .....	241
Çizelge 97. HD-39 no'lu sondajın 19,5 m derinliğindeki mineral içeriği .....	241
Çizelge 98. HD-39 no'lu sondajın 36,2 m derinliğindeki mineral içeriği .....	242
Çizelge 99. HD-39 no'lu sondajın 46,2 m derinliğindeki mineral içeriği .....	243
Çizelge 100. HD-39 no'lu sondajın 88,4 m derinliğindeki mineral içeriği .....	244
Çizelge 101. HD-39 no'lu sondajın 126,4 m derinliğindeki mineral içeriği ....	245
Çizelge 102. Çamur pH'ı yöntemi ile 2 no'lu pasa örneğinin fizikokimyasal parametre değerlerinin zamana karşı değişimi (ultra saf su) .....	247
Çizelge 103. Çamur pH'ı yöntemi ile 2 no'lu pasa örneğinin fizikokimyasal parametre değerlerinin zamana karşı değişimi (yağmur suyu) .....	247
Çizelge 104. AMG-2 kıyısındaki sedimanter ve volkanik kayaların çamur pH'ı testi fizikokimyasal parametre sonuçları .....	249
Çizelge 105. K-1 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri .....	251
Çizelge 106. K-2 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri .....	252

Çizelge 107. 4 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri .....	253
Çizelge 108. 5 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri .....	254
Çizelge 109. 6 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri .....	255
Çizelge 110. 7 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri .....	256
Çizelge 111. 8 no'lu örneğin çamur pH'ı testinde ölçülen fizikokimyasal parametre değerleri .....	257
Çizelge 112. HD-39 no'lu sondajın Standart ABH testi sonuçları .....	259
Çizelge 113. Pasa örneklerinin Standart ABH testi sonuçları .....	259
Çizelge 114. Kayaç örneklerinin Standart ABH testi sonuçları .....	260
Çizelge 115. Bazı kayaç örneklerinin pH6 testi sonuçları .....	262
Çizelge 116. HD-39 no'lu sondajın farklı derinliklerine ait örneklerin pH6 testi sonuçları .....	262
Çizelge 117. HD-39 no'lu sondajın farklı derinliklerine ait örneklerin NAÜ testi sonuçları .....	264
Çizelge 118. Pasa örneklerinin NAÜ testi sonuçları .....	264
Çizelge 119. Kayaç örneklerinin NAÜ testi sonuçları .....	265
Çizelge 120. Statik testlerin birlikte değerlendirilmesi .....	266
Çizelge 121. Pasa örneklerinin nem içeriği ve tane boyu dağılımı .....	267
Çizelge 122. Deney havuzundaki suyun fizikokimyasal parametre değerleri .....	269
Çizelge 123. XRD analiz sonuçlarına göre dip sedimanının mineral içeriği ..	273
Çizelge 124. Temas sızıntı testi fizikokimyasal parametre değerleri .....	274
Çizelge 125. Temas sızıntı testi ile saf suya geçen majör iyonlar (mg/l).....	275
Çizelge 126. Temas sızıntı testi ile saf suya geçen element konsantrasyonu .....	275
Çizelge 127. AMG-2'nin dip sedimanında saptanan bakteri türleri.....	280

## ŞEKİLLER

## Sayfa No

Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası .....	2
Şekil 2. Çalışma alanının jeomorfoloji ve ulaşım ağı haritası .....	3
Şekil 3. Çanakkale meteoroloji istasyonunun aylık ortalama sıcaklık dağılım grafiği .....	5
Şekil 4. Çanakkale meteoroloji istasyonunun aylık ortalama yağış dağılım grafiği .....	6
Şekil 5. Çanakkale Meteoroloji istasyonunun buharlaşma ve yağış verileri kullanılarak hazırlanan su bütçesi (1960-2012) .....	6
Şekil 6. Çanakkale meteoroloji istasyonunun yıllık esme sayısında göre hazırlanan rüzgar diyagramı (SRK, 2012b) .....	7
Şekil 7. AMD oluşumunun şematik gösterilimi (BCAMDTF, 1989; Karadeniz, 2008) .....	10
Şekil 8. <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> bakterisinin elektron mikroskobu görüntüsü (Ehrlich, 2002) .....	13
Şekil 9. Su noktalarında fiziksel parametre ölçümleri .....	31
Şekil 10. AMG'de yapılan limnolojik çalışmalar .....	33
Şekil 11. Alkalinite tayini .....	35
Şekil 12. Vakum manifold düzeneğinde filtrelenen su örneği .....	37
Şekil 13. 0,45 µm filtre üzerinde kalan toplam askıda katı madde .....	37
Şekil 14. Buharlaşma sonucunda krozelerde kalan toplam çözünmüş katı madde .....	38
Şekil 15. Çeneli kırıcı ile örneklerin tane boyutunun küçültülmesi .....	41
Şekil 16. Örneklerin a. Agat havanda öğütülmesi b. Elenmesi .....	41
Şekil 17. a. Çamur pH'ı testi için örneğin karelaşması b. Örneğin tartımı ....	42
Şekil 18. Çamur pH'ının ölçümü .....	43
Şekil 19. % 25'lik HCl ile muamele edilen örnekler .....	44
Şekil 20. Standart ABH deneyinde sıcak su banyosunda bekletilen örnekler	45
Şekil 21. Standart ABH deneyinde NaOH ile örneklerin pH'ın 7 'ye titrasyonu	46
Şekil 22. pH6 deneyinde manyetik karıştırıcılarla karıştırılan örnekler .....	47
Şekil 23. Çeker ocakta bekleyen çözeltiler .....	49
Şekil 24. Deney havuzunun görünümü .....	50

Şekil 25. HD-39 no'lu araştırma sondajına ait farklı derinliklerde uygulanan temas sızıntı testi örnekleri .....	51
Şekil 26. Biga Yarımadası'nın genelleştirilmiş jeoloji haritası ve çalışma alanının konumu (Okay ve Satır, 2000) .....	54
Şekil 27. Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli genel jeoloji haritası .....	56
Şekil 28. Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli 3 boyutlu genel jeoloji haritası .....	57
Şekil 29. Metalavların görünümü (Koordinat: 485889-4416534, bakış yönü: B'dan D'ya).....	59
Şekil 30. Rekrystalize kireçtaşının görünümü (Koordinat: 486719-4417490)....	59
Şekil 31. Yönlenme gösteren kuvars mineralleri arasındaki muskovit bantları (Çift nikol, kuv: kuvars, mus: muskovit).....	60
Şekil 32. Rekrystalize kireçtaşlarında saptanan fosiller a. <i>Neoschwagerina</i> , b. <i>Staffella sp.</i> , c. <i>Verbeekina sp.</i> , d. <i>Gymnocodium sp.</i> , e. <i>Baisalina sp.</i> (Koordinat: 486719-4417490).....	61
Şekil 33. Bayırköy formasyonuna ait konglomeralarla kumtaşlarının faylı ilişkisi (Koordinat: 480384-4419714, bakış yönü: B'dan D'ya).....	62
Şekil 34. Bayırköy formasyonuna ait silttaşlarının görünümü (Koordinat: 480232-4419656).....	63
Şekil 35. Silttaşı dokusunun genel görünümü (Çift nikol, kuv: kuvars, op: opak mineral) .....	64
Şekil 36. Riyolitik tüf içerisinde gözlenen silika damarı (Koordinat: 480422-4418166, bakış yönü: KB'dan GD'ya).....	65
Şekil 37. Yeşil renkli andezitlerinin görünümü (Koordinat: 481764-4418035, bakış yönü: GD'dan KB'ya).....	65
Şekil 38. Riyolitik tüfte gözlenen kuvars ve kısmen opaklaşmış biyotit kristali (Çift nikol, kuv:kuvars, bio: biyotit).....	66
Şekil 39. Arenalaşmış granitin görünümü (Koordinat: 487622-4416879, bakış yönü KD'dan GB'ya).....	67
Şekil 40. Kısmen serisitleşmiş albit ikizli plajioklas kristallerinin görünümü (Çift nikol, plg: plajioklas).....	68
Şekil 41. Keçiagılı köyü girişinde andezitik lavlarının görünümü (Koordinat: 489389-4422688, bakış yönü: KB'dan GD'ya).....	69
Şekil 42. Açık krem kahve renkli tüflerde görülen demir oksitli harelî yapı (Koordinat: 480274-4419343) .....	70

Şekil 43. Andezit örneklerinin mikroskop altında genel görünümü (Çift nikol (a), Tek nikol (b), bio: biotit, pr: piroksen, amf: amfibol) .....	71
Şekil 44. Andezit örneklerinde gözlenen porfirik doku (Çift nikol (a), Tek nikol (b), fel: feldspat, bio: biotit, pr: piroksen, plg: plajioklas).....	72
Şekil 45. Trakiandezit örneklerinin mikroskopik görünümü (Çift nikol (a), Tek nikol (b), plg: plajioklas, pr: piroksen, fel: feldspat).....	72
Şekil 46. Trakiandezit örneklerinde gözlenen porfirik doku (Çift nikol (a), Tek nikol (b), amf: amfibol, plg: plajioklas).....	73
Şekil 47. Bazalt örneklerinin mikroskopik görünümü (Çift nikol (a), Tek nikol (b), plg: plajioklas, pr: piroksen).....	73
Şekil 48. Bazalt örneklerinde gözlenen mikrolitik doku (Çift nikol (a), Tek nikol (b), plg: plajioklas, pr: piroksen).....	74
Şekil 49. Tüf örneklerinin mikroskopik görünümü (Çift nikol, kuv: kuvars, fel: feldspat).....	74
Şekil 50. Tüf örneklerinde gözlenen camsı doku (Çift nikol, kuv: kuvars)....	75
Şekil 51. Silika örneğinin mikroskopik görünümü (Çift nikol, kuv: kuvars)..	75
Şekil 52. Özşekilsiz pirit minerallerinin cevher mikroskopunda görünümü (prt: pirit).....	76
Şekil 53. Yarı özşekilli pirit minerallerinin görünümü.....	76
Şekil 54. Piritin oksitlenerek limonit-götite minerallerine dönüşümü.....	77
Şekil 55. Çan formasyonunun stratigrafik dizilimi (Gürdal ve Bozcu, 2011)...	78
Şekil 56. Açık kömür işletmesinde Çan formasyonuna ait sedimenter birimler	79
Şekil 57. Kömür işletmesi şevinde Çan formasyonuna ait ölçülü stratigrafik kesit (Bozcu ve ark., 2008).....	80
Şekil 58. Biga Yarımadası'ndaki aktif faylar (Şaroğlu ve ark., 1992).....	82
Şekil 59. Çan formasyonunda gelişen normal faylar (Koordinat: 487840-4423620, bakış yönü: KD'dan GB'ya).....	83
Şekil 60. Çaldiren tepeden, farklı mineralizasyonların gözleendiği Kestane mevkii, Künk ve Bakırlık tepelerin görünümü (KB'dan GD'ya bakış).....	85
Şekil 61. Kestane mevkisinde stokvörk yapıların görünümü (Koordinat: 483156-4419201, bakış yönü: GB'dan KD'ya).....	87
Şekil 62. Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli alterasyon haritası.....	88
Şekil 63. Çalışma alanının 1/25.000 ölçekli 3 boyutlu alterasyon haritası.....	89

Şekil 64. Güvemtaşı tepedeki gri renkli silikaların görünümü (Koordinat: 484363-4417971, bakış yönü: G'den K'ye).....	90
Şekil 65. Kara tepenin doğusunda gözlenen ileri arjilik alterasyon (Koordinat: 484072-4425762, bakış yönü: D'dan B'ya).....	91
Şekil 66. Propilitik alterasyona uğramış a. Çan volkanitlerine ait tüfler (Koordinat: 482500-4417531) b. Dededağ volkaniklerine andezitler (Koordinat: 481760-4418343).....	91
Şekil 67. Jeokimyasal analizi yapılan örnek lokasyonları .....	93
Şekil 68. Çan volkanitlerinin alkali-silika diyagramı (Cox ve ark., 1979) ....	94
Şekil 69. Çan volkanitlerinin alkalen-subalkalen ayrımını gösteren diyagram (Irvine ve Baragar, 1971).....	95
Şekil 70. Çan volkanitlerinin kalkalkalen-toleyitik ayrımını gösteren AFM diyagramı (Irvine ve Baragar, 1971) .....	95
Şekil 71. Çan formasyonuna ait kömürlerinin kükürt dağılımı (wt. %) (Gürdal ve Bozcu, 2011).....	98
Şekil 72. Kömür içindeki petek yapılı jips kristallerinin görüntüsü.....	99
Şekil 73. İkizler madencilikten alınan (K-2) kömür örneğinin XRD grafiği.....	100
Şekil 74. Kömürde pirit içeren seviyeler.....	101
Şekil 75. K-2 no'lu kömür örneği içerisindeki pirit mineralinin görüntüsü (pirit mineralinin kristal yapısı: pentagondodekaeder).....	102
Şekil 76. K-2 no'lu kömür örneği içerisindeki pirit mineralinin görüntüsü (pirit mineralinin kristal yapısı: piritoeder).....	102
Şekil 77. Pirit mineralinin EDX sonucu.....	103
Şekil 78. Kömür içerisindeki pirit mineralinin görüntüsü (pirit mineralinin kristal yapısı: ikosaeder).....	103
Şekil 79. Alterasyon zonlarından jeokimyasal analiz için alınan örnek lokasyonu.....	104
Şekil 80. Silisleşmiş kayacın midye kabuğu şekilli kırılma yüzeylerinin görünümü .....	106
Şekil 81. a. Silisleşmiş kayacın Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zonları (açık renkler), b. EDX analiz sonucu .....	106
Şekil 82. 4 no'lu örneğin XRD sonuçları .....	107



Şekil 83. Soğuluk tepede silisik alterasyonda gözlenen götit-hematit maktriksli monolitik breşlerin a. Arazi b. Batriyoidal kristallerin görüntüsü....	107
Şekil 84. Soğuluk tepede gözlenen silisik alterasyonun EDX sonucu .....	108
Şekil 85. Soğuluk tepede silisik alterasyonda gözlenen pirit kristalleri .....	108
Şekil 86. Çaltıkara kaolen ocağındaki kaolinit kristalleri istifi .....	110
Şekil 87. 20 no'lu örnekte saptanan hekzagonal kaolinit kristalleri .....	110
Şekil 88. 8 no'lu örneğin XRD sonuçları .....	111
Şekil 89. 6 no'lu örneğin XRD sonuçları .....	112
Şekil 90. Soğuluk tepe ve çevresinin alterasyon haritası ve kayaçların mineral bileşimleri (MTA, 1991).....	113
Şekil 91. Soğuluk tepede yapılan sondajların enine kesitleri (MTA, 1991).....	114
Şekil 92. Muratlar köyü ve çevresinin alterasyon haritası (MTA, 1991).....	115
Şekil 93. Arjilik alterasyona uğramış andezitler içerisinde gözlenen pirit mineralleri .....	116
Şekil 94. Jarosit minerallerinin a. Arazi, b. elektron mikroskobu görüntüsü .....	117
Şekil 95. AMG'nin dip sedimanı XRD grafiği .....	118
Şekil 96. Çan formasyonu içerisinde gözlenen kükürtlü seviyeler.....	119
Şekil 97. Kükürtlü seviyelerin XRD grafiği .....	119
Şekil 98. Jips mineralinin a. Arazi b. Elektron mikroskobu görüntüsü .....	120
Şekil 99. Jips mineralinin EDX sonuçları.....	121
Şekil 100. Çalışma alanında ölçüm ve örnekleme yapılan su noktaları .....	124
Şekil 101. Biga Yarımadası'nın drenaj ağı ve çalışma alanının konumu .....	126
Şekil 102. Çalışma alanında ait drenaj ağı haritası .....	126
Şekil 103. AMG'lerin konumu (15.03.2011 tarihli Worldview-1 uydu görüntüsü) .....	128
Şekil 104. AMG-1'in görünümü (Foto: 02.05.2010) .....	129
Şekil 105. AMG-2'nin görünümü (Foto: 17.07.2010) .....	130
Şekil 106. 2 no'lu AMG'de yapılan limnolojik çalışmalar.....	130
Şekil 107 a. 2 no'lu AMG'nin 17 Temmuz 2010 tarihindeki görünümü b. KD-GB hattı derinlik profili .....	130
Şekil 108. AMG-3'ün görünümü (Foto: 11.06.2008) .....	131
Şekil 109. Katran dereye kontrolsüzce boşaltılan AMG-3 (Foto: 07.11.2009)	131
Şekil 110. Boşaltıldıktan sonra yüzeysel drenaj ile kısa sürede yeniden dolan AMG-3 (Foto: 02.05.2010) .....	132

Şekil 111. Katran dereye kontrolsüzce yeniden boşaltılan AMG-3 (Foto: 28.04.2013) .....	132
Şekil 112. Yiğitler Madencilik tarafından işletilen kömür ocağı (Foto: 12.09.2008) .....	133
Şekil 113 a. AMG-4'ün görünümü (Foto: 22.04.2011) b. aşırı yağışlardan sonraki görünümü (Foto: 24.02.2013) .....	133
Şekil 114 a. 2003 yılı b. 2008 yılı uydu görüntüsünde AMG-5'in oluşumu ....	134
Şekil 115. AMG-5'in görünümü a. bakış yönü: KD'dan GB'ya b. bakış yönü: GD'dan KB'ya (Foto: 22.04.2011) .....	134
Şekil 116. İşletme faaliyetlerinin sona ermesinden sonra oluşan asit maden göleti (Foto: 29.06.2012) .....	135
Şekil 117. AMG-7'nin görünümü (Foto: 28.04.2013) .....	136
Şekil 118 a. AMG-8 ve b. AMG-9'un görünümü (Foto: 28.04.2013) .....	136
Şekil 119. Muratlar köyünün a. Ana depo b. Şadırvan çeşmeye giden su kaynağı .....	137
Şekil 120. Halılağa köyü içme suyu kaynağı.....	137
Şekil 121. Hacıbekirler köyü içme suyu kaynağı a. Ana depo-1 b. Ana depo-2	138
Şekil 122. Ölçüm ve örnekleme yapılan a. 6, b. 12 no'lu su kaynakları .....	139
Şekil 123. Gözlem kuyuları a. GK-1, b. GK-2 c. ve d. GK-3.....	143
Şekil 124. Gözlem kuyularının zamana bağlı yeraltı su seviyesi değişimi .....	144
Şekil 125 a. SRK-1 ve b. SRK-3 no'lu izleme kuyuları .....	145
Şekil 126. Kuyu logları a. SRK-1 b. SRK-2 c. SRK-3 (SRK, 2012b) .....	146
Şekil 127. SRK-1 ve SRK-2'nin zamana bağlı yeraltı su seviyesi değişimi .....	149
Şekil 128. SRK-3'ün zamana bağlı yeraltı su seviyesi değişimi .....	149
Şekil 129. HD-57 no'lu araştırma sondajının görünümü .....	150
Şekil 130. Araştırma sondajlarının zamana bağlı yeraltı su seviyesi değişimi	151
Şekil 131. Keson kuyuda yeraltı su seviyesi ölçümü .....	152
Şekil 132. Çalışma alanına ait yeraltı suyu tablası haritası (Temmuz 2011).....	154
Şekil 133. AMG'lerin farklı yıllara ait alansal değişimleri (a. 1977, b. 1985, c. 1987, d. 1999, e. 2003, f. 2008, g. 2011) .....	157
Şekil 134. AMG'lerin yıllar bazında alansal değişimleri .....	158
Şekil 135. AMG'lerin yıllar bazında çevresel değişimleri .....	158
Şekil 136. AMG'lerin çevresindeki pasa alanları .....	159
Şekil 137. AMG'lerin ve çevresindeki derelerin pH değerleri (Mayıs 2012) ....	163

Şekil 138. AMG'lerin zamana bağlı pH değişimi .....	165
Şekil 139. AMG'lerin zamana bağlı EC değişimi .....	168
Şekil 140. AMG'lerin pH değerleri (Ağustos 2012) .....	170
Şekil 141. AMG'lerin EC değerleri (Ağustos 2012) .....	170
Şekil 142. AMG'nin tabanında oluşan jarosit mineralleri .....	171
Şekil 143. AMG-2'nin 15 m aralıklarla ölçülen derinlik değerleri .....	173
Şekil 144. AMG-2'de derinlikle değişen fizikokimyasal parametre değerleri	174
Şekil 145. 21 no'lu su kaynağı .....	177
Şekil 146. Su noktalarının pH dağılım grafiği (Temmuz 2011) .....	181
Şekil 147. Su noktalarının pH dağılım grafiği (Mart 2012) .....	182
Şekil 148. Su noktalarının ortalama pH değerleri ve alterasyon haritası .....	182
Şekil 149. Su noktalarının EC dağılımı (Temmuz 2011) .....	183
Şekil 150. Su noktalarının EC dağılımı (Mart 2012) .....	184
Şekil 151. Yüzey sularına ait majör iyonların a. Piper ve b. Schoeller diyagramı .....	188
Şekil 152. AMG'lerin bazı majör iyon konsantrasyonları (Ağustos 2012) ,...	190
Şekil 153. AMG'lerinin SO <sub>4</sub> konsantrasyonları (Ağustos 2012) .....	190
Şekil 155. Asit maden göllerinin ortalama majör iyon konsantrasyonlarının Pie diyagramı .....	191
Şekil 156. AMG-2'nin 30 m aralıklı örnekleme noktaları .....	192
Şekil 157. Derinlik ile değişen a. Ca b. SO <sub>4</sub> konsantrasyonları .....	193
Şekil 158. Köylerin içme suyu kaynaklarına ait majör iyonların a. Piper ve b. Schoeller diyagramı .....	195
Şekil 159. Kaynaklara ait majör iyonlarının a. Piper ve b. Schoeller diyagramı .....	195
Şekil 160. Gözlem kuyularına ait majör iyonların a. Piper b. Schoeller diyagramı .....	196
Şekil 161. İzleme kuyularına ait majör iyonların a. Piper ve b. Schoeller diyagramı .....	197
Şekil 162. Araştırma sondajlarına ait majör iyonların a. Piper b. Schoeller diyagramı .....	198
Şekil 163. Gözlem kuyularına ait majör iyonların a. Piper b. Schoeller diyagramı .....	199
Şekil 164. Derinlikle değişen a. Al b. Fe konsantrasyonları .....	206

Şekil 165. AMG'lerin Fe <sup>2+</sup> ve Fe <sup>3+</sup> değerleri (Şubat 2102) .....	207
Şekil 166. AMG'lerin Fe <sup>2+</sup> ve Fe <sup>3+</sup> değerleri (Temmuz 2102) .....	207
Şekil 167. Su noktalarının SO <sub>4</sub> konsantrasyonları .....	212
Şekil 168. Su noktalarının S konsantrasyonları .....	213
Şekil 169. Su noktalarının Al konsantrasyonları .....	214
Şekil 170. Su noktalarının As konsantrasyonları .....	214
Şekil 171. Su noktalarının Fe konsantrasyonları .....	215
Şekil 172. Su noktalarının Mn konsantrasyonları .....	216
Şekil 173. Su noktalarının Ni konsantrasyonları .....	216
Şekil 174. Su noktalarının Zn konsantrasyonları .....	217
Şekil 175. Su noktalarının δ <sup>18</sup> O-δ <sup>2</sup> H korelasyonu (Temmuz 2011) .....	221
Şekil 176. Su noktalarının δ <sup>18</sup> O-δ <sup>2</sup> H korelasyonu (Mart 2012) .....	222
Şekil 177. Asit maden gölleri ile örnekleme yapılan diğer su noktalarının Temmuz 2011 dönemine ait δ <sup>18</sup> O-δ <sup>2</sup> H korelasyonu .....	223
Şekil 178. Asit maden göllerinin δ <sup>18</sup> O-δ <sup>2</sup> H korelasyonu .....	223
Şekil 179. δ <sup>18</sup> O- T korelasyonu (Temmuz 2011) .....	226
Şekil 180. δ <sup>18</sup> O- T korelasyonu (Mart 2012) .....	226
Şekil 181. T- Cl korelasyonu (Temmuz 2011) .....	227
Şekil 182. T- Cl korelasyonu (Mart 2012) .....	227
Şekil 183. T- EC korelasyonu (Temmuz 2011) .....	228
Şekil 184. T- EC korelasyonu (Mart 2012) .....	229
Şekil 185. Asit maden göllerinin δ <sup>18</sup> O-T korelasyonu .....	229
Şekil 186. Pirit, sfalerit ve kükürdün oksidasyonu sonucunda elde edilen δ <sup>18</sup> O <sub>SO4</sub> ve δ <sup>18</sup> O <sub>H2O</sub> doğruları (Balcı ve ark., 2012'den) .....	232
Şekil 187. Statik testlerin uygulandığı örneklerin lokasyonları .....	236
Şekil 188. P-1 no'lu örneğin XRD sonuçları .....	237
Şekil 189. P-2 no'lu örneğin XRD sonuçları .....	238
Şekil 190. P-7 no'lu örneğin XRD sonuçları .....	239
Şekil 191. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 7,5 m) .....	240
Şekil 192. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 17,2 m) .....	240
Şekil 193. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 19,5 m) .....	241
Şekil 194. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 36,2 m) .....	242
Şekil 195. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 46,2 m) .....	243

Şekil 196. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 88,4 m) .....	244
Şekil 197. HD-39 no'lu sondajın XRD sonuçları (derinlik: 126,4 m) .....	245
Şekil 198. Çamur pH'ı yöntemi ile P-2 no'lu örneğin zamana karşı pH değişimi .....	247
Şekil 199. Çamur pH'ı yöntemi ile P-2 no'lu örneğin zamana karşı EC değişimi .....	248
Şekil 200. Çamur pH'ı yöntemi ile AMG-2 kıyısındaki sedimanter ve volkanik kayaların zamana bağlı pH değişimi .....	250
Şekil 201. Çamur pH'ı yöntemi ile AMG-2 kıyısındaki sedimanter ve volkanik kayaların zamana bağlı EC değişimi .....	250
Şekil 202. Çamur pH'ı testinde K-1 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi	251
Şekil 203. Çamur pH'ı yöntemi ile K-2 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi .....	252
Şekil 204. Çamur pH'ı yöntemi ile 4 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi	253
Şekil 205. Çamur pH'ı yöntemi ile 5 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi	254
Şekil 206. Çamur pH'ı yöntemi ile 6 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi	255
Şekil 207. Çamur pH'ı yöntemi ile 7 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi	256
Şekil 208. Çamur pH'ı yöntemi ile 8 no'lu örneğin zamana bağlı pH değişimi	257
Şekil 209. ABH testinde tüm örneklerin asit üretme potansiyellerinin değerlendirilmesi .....	261
Şekil 210. pH6 testinde tüm örneklerin asit üretme potansiyellerinin değerlendirilmesi .....	263
Şekil 211. NAÜ testinde tüm örneklerin asit üretme potansiyellerinin değerlendirilmesi .....	265
Şekil 212. Deney havuzunun 2. güne ait görünümü .....	268
Şekil 213. Deney havuzunun 14. güne ait görünümü .....	269
Şekil 214. Deney havuzundaki suyun zamana bağlı pH değişim grafiği .....	271
Şekil 215. Deney havuzundaki suyun zamana bağlı EC değişim grafiği .....	272
Şekil 216. Deney havuzunda 100 günün sonunda dip sedimanında oluşan mineraller .....	273
Şekil 217. Epitermal tipi yüksek sülfidasyon stili mineralizasyon gösteren altın yatağı tip kesiti (Steven ve Ratte, 1960; Stoffregen, 1987; White, 1991; Hedequist, 2000) .....	277

Şekil 218. Su noktalarında sınır değerleri aşan SO <sub>4</sub> ve bazı element konsantrasyonları.....	277
Şekil 219. Kömür örneğinin elektron mikroskobu görüntüsünde saptanan bakteri .....	281
Şekil 220. Yaz aylarında AMG'nin su seviyesinde azalma (Foto: 28.08.2012)	283
Şekil 221. Keçiğalı köyü çevresindeki derelerde gözlenen AMD.....	286

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Deniz ŞANLIYÜKSEL YÜCEL

Doğum Yeri: İstanbul

Doğum Tarihi: 22.04.1983

### EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce (iyi), Almanca (temel)

### BİLİMSEL FAALİYETLERİ

#### a) Yayınlar-SCI-Diğer

**Şanlyüksel D.** ve Baba A., 2011. Hydrogeochemical and Isotopic Composition of a Low Temperature Geothermal Source in Northwest Turkey: Case Study of Kirkgeçit Geothermal Area. *Environmental Earth Sciences*. 62: 529-540.

**Şanlyüksel Yücel D.** ve Baba A., 2013. Geochemical Characterization of Acid Mine Lakes and their Effect on the Environment, NW of Turkey. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 64 (3): 357-376.

#### b) Bildiriler- Ulusal- Uluslararası

**Şanlyüksel D.** ve Baba A., 2007. Kırkgeçit Jeotermal Alanı (Biga-Çanakkale) ve Çevresinin Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelenmesi. *60. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara. 89-92.

**Şanlyüksel D.** ve Baba A., 2007. Kırkgeçit Sıcak Su Kaynağının (Biga-Çanakkale) Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *Çanakkale İli Değerleri Sempozyumu*, Biga. 423-430.

Baba A., Deniz O. ve **Şanlyüksel D.**, 2007. Kocabaşlar Jeotermal Alanı (Lapseki-Çanakkale) ve Çevresinin Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, *Lapseki Sempozyumu*, Lapseki. 35-43.

Baba A., Perinçek D., **Şanlyüksel D.** ve Kızıl H., 2007. Hydrogeochemistry and Structural Control of the Area Around the Ancient City of Troia, Northwestern Anatolia. *XXXV. IAH Congress*, Portekiz. 653.

Özden S., Ateş Ö., Şengün F., Tunç O., Türkdönmez O., **Şanlyüksel D.**, Avcıoğlu M. ve Ertekin, C., 2007. Gökçeada'nın Jeolojik Özellikleri. *Çanakkale İli Değerleri Sempozyumu*, Gökçeada. 47-58.

**Şanlyüksel D.** ve Baba A., 2008. Palamutova Jeotermal Alanı (Bayramiç-Çanakkale) ve Çevresinin Hidrojeokimyasal İncelenmesi. *61. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara. 125-128.

Baba A., Deniz O. ve **Şanlyüksel D.**, 2008. Kazdağları Kuzeydoğusunda Bulunan Soğuk Su Kaynaklarının İzotopik Özellikleri. *DSİ III. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri*, İstanbul. 1-12.

**Şanlyüksel D.**, Özyay Ö. ve Baba A., 2010. Çan Termik Santral Atığı Küllerinin (Uçucu, Silo, Cüruf) Metal-Ağır Metal Adsorbantı Olarak Kullanımı. *63. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara. 297-298.

**Şanlyüksel D.** ve Baba A., 2011. Çan Havzasında Terk Edilmiş Maden Sahalarından Kaynaklanan Atıkların Su Kaynaklarına Etkisi. *64. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara. 47-48.

**Şanlyüksel Yücel D.**, Şengün F. ve Baba A., 2012. Çan Havzasındaki Alterasyon Zonlarının Su Kaynakları Üzerindeki Etkisi, *65. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara. 122-123.

Yücel M.A., **Şanlyüksel Yücel D.** ve Baba A., 2012. Çan (Çanakkale) İlçesindeki Kömür Madenciliği Faaliyetlerinin Alansal Bazda Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Ortamında Uydu Görüntüleri İle Belirlenmesi. *65. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara. 146-147.

Baba A., Ertekin C. ve **Şanlyüksel Yücel D.**, 2012. High Arsenic Levels in Water Resources Resulting from Geogenic Resources: A Case Study from Muratlar Region, NW Turkey, *IAH 2012 Congress*, Kanada. 1-7.

Öztürk Ö., **Şanlyüksel Yücel D.**, Baba A., 2012. The Impact of Mining Activity on Dam Basin in Biga Peninsula, Northwest of Turkey. *IESCA*, Turkey. 181.

**Şanlyüksel Yücel D.**, Yücel M.A., Karaca Z., Çetiner Z., Erenoğlu C., Akçay, Ö., Kamacı C., Çalışkan H., 2013. Determining the Geochemical Characteristics of Geothermal Resources and Generating a Geothermal Information System of Thermal Waters in Biga Peninsula, NW Turkey. 245th ACS National Meeting & Exposition, New Orleans, Louisiana.

#### c) Katıldığı Projeler

2005-2008, Biga Yarımadası'ndaki Jeotermal Kaynakların Potansiyeli, Kullanım Alanlarının Belirlenmesi ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, 104Y082 No'lu TÜBİTAK Kariyer Projesi, **Bursiyer**.

2010-2011, Çan (Çanakkale) Yöresindeki Asit Maden Göllerinin Çevresel Etkilerinin Araştırılması, 2010/038 no'lu ÇOMÜ BAP Projesi, **Araştırmacı**.

2011-2012, Çan (Çanakkale) İlçesindeki Kömür Madenciliği Faaliyetlerinin Alansal Bazda Değişiminin Uydu Görüntüleri ile Belirlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Ortamında Görselleştirilmesi, 2011/082 no'lu ÇOMÜ BAP Projesi, **Araştırmacı**.



2012-2013, Çanakkale İli (Biga Yarımadası) Jeotermal Kaynakları ve Özelliklerinin Belirlenmesi, Biga Yarımadası Jeotermal Bilgi Sistemi, TR22/12/DFD/0011 no'lu Güney Marmara Kalkınma Ajansı Projesi, **Koordinatör Yardımcısı**.

2012-2013, İnsansız Hava Aracı (İHA) Kullanılarak Çan (Çanakkale) İlçesinde Bulunan Asit Maden Göllerinin Alansal Değişimlerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Ortamında İncelenmesi ve Parametrik Özelliklerinin Belirlenmesi, TÜBİTAK 112Y241 no'lu Projesi, **Araştırmacı**.

## **İŞ DENEYİMİ**

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi, 2006- devam ediyor

## **İLETİŞİM:**

E-posta Adresi: [denizsyuksel@comu.edu.tr](mailto:denizsyuksel@comu.edu.tr)