



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**SIZMA-KURŞUNLU(SARAYÖNÜ)/KONYA YÖRESİNDEKİ
POLİMETALİK CEVHERLEŞMELERİN SU KAYNAKLARINA
OLAN ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nejla Ömür BOZAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Mustafa Murat KAVURMACI

AKSARAY, 2020

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 172302406 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, **Nejla Ömür BOZAN** tarafından hazırlanan “**SIZMA-KURŞUNLU(SARAYÖNÜ)/KONYA YÖRESİNDEKİ POLİMETALİK CEVHERLEŞMELERİN SU KAYNAKLARINA OLAN ETKİLERİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Fen Bilimleri Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Murat KAVURMACI

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Erkan YILMAZER

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Uğur Erdem DOKUZ

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/

Tez Savunma Tarihi: 20/11/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Nejla Ömür BOZAN

TEŞEKKÜR

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı kapsamında hazırlanan bu çalışmada, gerek arazi çalışmaları gerekse büro çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Mustafa Murat KAVURMACI hocama ve son olarak sevgili eşime, aileme ve dostlarıma katkı ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Nejla Ömür BOZAN

AKSARAY, 2020



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
1.2 Çalışma Alanının Konumu	2
1.2.1 Morfoloji.....	2
1.2.2 İklim ve bitki örtüsü.....	4
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	5
2.1 Literatür Tarama.....	5
2.2 Arazi Çalışmaları.....	5
2.3 Büro Çalışmaları.....	7
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
4. ÇALIŞMA ALANIN BÖLGESEL JEOLJİSİ VE STRATİGRAFİSİ	11
4.1 Bozdağ Formasyonu.....	13
4.2 Bağrıkurt Formasyonu.....	14
4.3 Metatrakiandezit (Karadağ Metamağmatikleri):	14
4.4 Alüvyon	16
4.5 Yapısal Jeoloji	16
4.6 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	18
4.6.1 Geçirimli birimler	18
4.6.2 Yarı geçirimli birimler;.....	18
4.6.3 Geçirimsiz birimler;.....	18
5. SIZMA YÖRESİNDEKİ POLİMETALİK (Hg-As-Au)	
CEVHERLEŞMELER.....	20
5.1 Tarihçe.....	20
5.2 Kurşunlu Yöresindeki Altın-Gümüş ve Baz Metal Potansiyeli	22
6. SIZMA YÖRESİNDEKİ SU KİMYASI ÇALIŞMALARI	26
6.1 Su Kimyası Değerlendirmesi.....	28
6.1.1 Suların Hidrojeokimyasal Değerlendirmesi	28
6.1.2 Hidrojen İyonu Konsantrasyonu, pH.....	29
6.1.3 Elektriksel İletkenlik, EC.....	31
6.1.4 Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM).....	32
6.1.5 Sertlik.....	34
6.2 Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri.....	35
6.2.1 Suların iyon dağılımları	35
6.2.2 Doygunluk indislerinin hesaplanması.....	49
6.2.3 Suların sulama suyu özelliklerine göre sınıflandırılması.....	50
6.2.4 Ağır metal içeriklerinin değerlendirilmesi.....	52
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR	60
EKLER.....	64
EK A. Çalışma alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası	64
ÖZGEÇMİŞ.....	65

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SIZMA-KURŞUNLU(SARAYÖNÜ)/KONYA YÖRESİNDEKİ POLİMETALİK CEVHERLEŞMELERİN SU KAYNAKLARINA OLAN ETKİLERİ

Nejla Ömür BOZAN

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Murat KAVURMACI

ÖZET

İç Anadolu Bölgesi'nde Konya ilinin 30 km KB'sın da Kurşunlu ve Bahcesaray mahalleleri (Sarayönü-Konya) arasında yer alan Sızma-Kurşunlu polimetal Hg-As-Au cevherleşmesi, Türkiye'nin en büyük civa cevherleşmesi olarak bilinir. Cevherleşmelerin yer aldığı bölgenin jeolojik temeli, Paleozoyik yaşlı mermerler ile temsil olunan Bozdağ Formasyonu ile şist (mika) ve metasedimanter kayalardan oluşan Bağrıkurt Formasyonu'na ait temel kayalardan oluşur. Bu temel kayaların üzerine uyumsuzlukla Triyas yaşlı metavolkanikler gelir. Sızma-Kurşunlu polimetal cevherleşmesi, şistleri kesen makaslama zonları boyunca gözlenir ve genellikle gossan (limonit, hematit) oluşumları gözlenir. Bölgedeki birimler tektonizmadan dolayı kıvrılmış ve çok sayıda faylarla ötelenmiştir.

Bölgedeki kayalardan alınan 14 adet kayaç numunesi üzerinde gerçekleştirilen jeokimyasal analiz sonuçlarından Hg, As ve Au elementlerinin anomali verdiği gözlenmiştir. Gossan oluşumlarında birincil olarak pirit ve arsenopirit gibi mineraller gözlenir. Gossan oluşumlarının ikincil mineraller olarak limonit ve hematit mineralleri ile temsil edilir. Cevherleşmelerin gözlemlendiği alanlarda oluşan fay kaynaklarından, kurak ve yağışlı dönemi temsil eden her bir dönem için 8 adet su örneği toplanmış ve hidrojeokimyasal analizleri yaptırılmıştır. Suların tamamı Ca-HCO₃ su fasiyesi özelliğindedir. Suların bazı fiziksel ve kimyasal parametreleri; pH 7,07-7,40, elektriksel iletkenlik (EC) 408-632 µS/cm, toplam çözünmüş katı madde (TÇKM) 270-570 mg/L, toplam sertlik 104,61-430,03 mg/L aralığında değerlere sahiptir. Su kaynakları As, Sb ve Hg elementleri bakımından nispeten zengindir. Bu elementler bölgede yaşamını sürdüren insanlar ve diğer canlılar için toksit element riski teşkil etmektedir.

Anahtar Sözcükler: Polimetalik Cevherleşme, Ağır metal, Hidrojeokimya, Sızma-Kurşunlu.

Kasım, 2020; 65 sayfa

M. Sc. THESIS

**THE EFFECTS OF POLYMETALLIC MINERALIZATION ON THE
WATER RESOURCES IN SIZMA-KURŞUNLU(SARAYÖNÜ) / KONYA
REGION**

Nejla Ömür BOZAN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Science Education**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa Murat KAVURMACI

ABSTRACT

Sızma–Kurşunlu polymetallic Hg-As-Au mineralization, which is placed in between Kurşunlu and Bahcesaray villages at 30 km NW of the Konya Central Anatolia is known to the biggest mercury deposit of Turkey. Geological basement of the mineralization area is form with Bozdağ Formation which is represented by Paleozic in age marble and Bağrikurt Formation which forms with schist (mica) and metasedimentary rocks. Triassic in age metavolcanic rocks overlay on these basement rocks. Sızma-Kurşunlu polymetallic mineralization is seen within the the shear zones which cuts schists and generally gossan formed (limonite & hematite) is observed. Units in the region are folded and slipped by the faults due to tectonism.

It is observed that, 14 samples taken from the study ares gives. Hg, As and Au anomalies in the assay results. In the gossan is formed, pyrite and arsenopyrite minerals are observed as primary. Gossan is formed represents limonite minerals as secondary. 8 water samples, representing dry and wet periods are collected from faulty zone that, mineralization is observed and hydrogeochemical analyses have done. All water samples are representing carbonated nature which is Ca-HCO₃ aquifer facies. Some of the physical and chemical parametres of these water samples have are, Ph 7.07-7.40, electrical conductitivity (EC) 408-632 µS/cm, total dissolved solids (TÇKM) 270-570 mg/L, total hardness 104,61-430,03 mg/L. Water sources are relatively rich is As, Sb and Hg elements. These elements constitute toxic elements risk for human and the other living inhabit in this area.

Keywords: Polymetalic Mineralization, Heavy metal, Hydrogeochemistry, Sızma-Kurşunlu.

November, 2020; 65 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma alanının 1/100.000 ölçekli Türkiye pafta indeksi'ndeki konumu	3
Şekil 1.2. Konya iline ait 2010 - 2019 yılları arasında ölçülen ortalama aylık yağış ve sıcaklık verileri	4
Şekil 4.1. İnceleme alanı basitleştirilmiş jeoloji haritası.	12
Şekil 4.2. Çalışma alanının genelleştirilmiş enine kesiti.	12
Şekil 4.3. Kurşunlu yöresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti.....	13
Şekil 4.4. (a) Paleozoyik yaşlı Bağrikurt Formasyonuna ait muskovit şist ile birim içerisinde alloktan konumlu mermer bloğu ve şistlerde porfiroblastik yapılar. (b) Mermer-şist dokanağından görünüm.	14
Şekil 4.5. Paleozoyik yaşlı metamorfikleri ait polarizan mikroskobu görüntüsü.	15
Şekil 4.6. Kuzeyden güneye Karadağ formasyonu üzerine bindirme ile yerleşen Bağkurt formasyonuna ait görünüm.	15
Şekil 4.7. Sultan Dağı Birliğine ait genelleştirilmiş yapısal jeoloji haritası	17
Şekil 5.1. Sızma yöresi Büyük Ocak mevkiinde yapılan civa (Hg) üretimi.	20
Şekil 5.2. Türkiye bilinen en eski civa (Hg) işletmesi	21
Şekil 5.3. Son 10 yıldır üretim yapılmayan Büyük ocağın genel görüntüsü.	21
Şekil 5.4. Polarizan mikroskopunda çekilen cevherli numunelere ait kesit görüntüleri	23
Şekil 5.5. Sızma yöresinden alınan 14 adet kayaç numune dağılımı haritası	24
Şekil 6.1. Örnekleme yapılan su kaynaklarının görünümü.....	27
Şekil 6.2. Eylül 2018 örnekleme dönemine ait pH, EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ve TÇKM (mg/L) değerleri.....	29
Şekil 6.3. Mayıs 2019 örnekleme dönemine ait pH, EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ve TÇKM (mg/L) değerleri.....	30
Şekil 6.4. EC ve TÇKM arasındaki doğrusal ilişkiyi gösterir grafik	33
Şekil 6.5. Eylül 2018 örnekleme dönemine ait suların iyon değişimleri (mg/L).....	37
Şekil 6.6. Mayıs 2019 örnekleme dönemine ait suların iyon değişimleri (mg/L).	37
Şekil 6.7. İnceleme alanındaki suların Na^+/Cl^- grafiği.	40
Şekil 6.8. İnceleme alanındaki suların $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$ grafiği.	41
Şekil 6.9. İnceleme alanındaki suların $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ grafiği.....	42
Şekil 6.10. (a) İnceleme alanındaki suların $\text{SO}_4^{-2} - \text{Cl}^-$ grafikleri (Eylül), (b) İnceleme alanındaki suların $\text{SO}_4^{-2} - \text{Cl}^-$ grafikleri (M.	43
Şekil 6.11. İnceleme alanındaki suların Gibbs (1970) grafiği.	44
Şekil 6.12. İnceleme alanındaki suların Gibbs (1970) grafiği.	44
Şekil 6.13. İncelenen suların Eylül 2018 örnekleme dönemine ait Piper diyagramı.....	46
Şekil 6.14. İncelenen suların Mayıs 2019 örnekleme dönemine ait Piper diyagramı.....	47
Şekil 6.15. Çalışma alanındaki suların Eylül 2018 örnekleme dönemine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı.	48
Şekil 6.16. İnceleme alanındaki suların Mayıs 2019 örnekleme dönemine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı.....	48
Şekil 6.17. Suların Eylül 2018 örnekleme dönemlerine ait doygunluk indeksleri	49
Şekil 6.18. Mayıs 2019 örnekleme dönemlerine ait doygunluk indeksleri.....	50
Şekil 6.19. Eylül 2018 ve Mayıs 2019 dönemlerine ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı (1954) diyagramları.	51

Şekil 6.20. (a) Eylül 2018 ve Mayıs 2019 (b) dönemlerine ait Wilcox (1955) diyagramları	51
---	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1. Sızma yöresinde 1969 yılından itibaren yapılan civa üretimi yıllık miktarları.....	22
Çizelge 5.2. Sızma yöresinden alınan kayaç numunelerinin koordinatları ve kıymetli metal analiz sonuçları.	25
Çizelge 6.1. Örneklem noktalarının konum, yükselti ve açıklama bilgileri.....	26
Çizelge 6.2. Örneklem dönemlerine göre gerçekleştirilen ölçüm ve analiz türleri.....	28
Çizelge 6.3. Su kaynaklarına ait bazı su kalite parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri.	29
Çizelge 6.4. EC değerlerine göre su örneklerinin kalite sınıflandırması	32
Çizelge 6.5. TÇKM değerlerine göre su örneklerinin kalite sınıflandırması.....	33
Çizelge 6.6. Sertlik değerlerine göre su örneklerinin kalite sınıflandırması.....	35
Çizelge 6.7. Çalışma alanındaki suların Eylül 2018 örneklem dönemine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.	36
Çizelge 6.8. Çalışma alanındaki suların Mayıs 2019 örneklem dönemine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.	36
Çizelge 6.9. Eylül 2018 ve Mayıs 2019 örneklem dönemlerine ait iyon dizilimleri ve su tipleri.	38
Çizelge 6.10. İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre sınıflaması.....	50
Çizelge 6.11. Eylül 2018 örneklem dönemine ait ağır metal analiz sonuçları.....	54
Çizelge 6.12. Mayıs 2019 örneklem dönemine ait ağır metal analiz sonuçları	55
Çizelge 6.13. Su kaynaklarında sınır değerlerin üzerinde gözlenen ağır metaller.....	56
Çizelge 6.14. Yürürlükte olan su standartları	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

Ca²⁺	Kalsiyum
EC	Elektriksel İletkenlik
HCO₃⁻	Bikarbonat
K⁺	Potasyum
Mg²⁺	Magnezyum
Na⁺	Sodyum
T°C	Sıcaklık
TÇKM (TDS)	Toplam çözünmüş katı madde
SAR	Sodyum absorpsiyon oranı
SO₄²⁻	Sülfat
M	Metre
PPM	Toplam madde miktarının milyonda 1 birimlik maddesi



1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca yüksek metal konsantrasyonları içeren sular, kullanım süresine bağlı olarak, kalıcı sağlık sorunlarına neden olabildikleri gibi canlıların yaşamlarını da tehdit edebilmektedir (Alloway, 1990). Metal içerikleri yüksek bu suların özelliklerinin, sürekli olarak izlenmesi ve detaylı olarak incelenmesi halk sağlığı açısından son derece önemlidir (Alloway, 1990). Özellikle madencilik faaliyetlerinin olduğu ve cevherleşmelerin yoğun olarak gözlemlendiği alanlarda, uzun süreli su kayaç etkileşiminin bir sonucu olarak yeraltı suları, ağır metal içerikleri açısından zenginleşebilmektedir. Maden sahaları ve çevresinde bulunan yeraltı sularında sıkça gözlemlenen ağır metal kirliliği, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizin de en önemli çevresel sorunlarının başında gelmektedir.

Türkiye'deki en önemli civa madenlerinden biriside, Sızma-Kurşunlu (Sarayönü)/Konya polimetalik cevherleşmeleridir. Farklı maden şirketleri tarafından uzun yıllar işletilen yatak özellikle As, Hg ve Au elementleri açısından oldukça zengindir. Bölge aynı zamanda hidrojeolojik, litolojik ve morfolojik açıdan da yüksek yeraltı suyu potansiyeline sahiptir ve bu sular yöre halkı tarafından içme, sulama ve kullanma suyu olarak yoğun olarak kullanılmaktadır. Ağır metal açısından zengin olan bu suların, bölgede yaşayan canlılar tarafından içme suyu olarak uzun süreli kullanımı, canlılar açısından yüksek risk teşkil etmektedir. Bu risk, Sızma-Kurşunlu polimetalik (Hg-As-Au) yatağının, kullanımda olan mevcut su kaynaklarına olan etkilerinin araştırılması ve ağır metal riskinin belirlenmesini zorunlu hale getirmiştir.

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'deki önemli civa madenlerinden birisi olan Sızma-Kurşunlu polimetalik (Hg-As-Au) yatağının su kaynaklarına olan etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiş ve bölgede yer alan mevcut su kaynakları, hidrojeokimyasal açıdan mevsimsel değişimler göz önünde bulundurularak iki farklı dönemde detaylı olarak araştırılmıştır.

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, Konya yöresinde bilinen en büyük Hg yatağı olan Sızma-Kurşunlu (Hg-As-Au) sahasında yer alan yeraltı su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri, su kimyası ve ağır metal içerikleri açısından incelenmiştir.

Hidrojeokimyasal alışmalar sayesinde, bölgedeki mevcut su kaynaklarının su kimyaları ve zamansal değişimleri belirlenmiş aynı zamanda ağır metal kirlilik potansiyelleri açığa çıkarılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda Kurşunlu sahasının etrafındaki kaynak suları örneklenmiş, bölgenin jeolojisi, hidrojeolojisi ve cevher mineralojisi ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Bölgedeki Sb, Hg ve As bakımından zengin olduğu tespit edilen kayaç örnekleri ile aynı bölgedeki su örneklerinden ağır metal analizleri yapılmıştır.

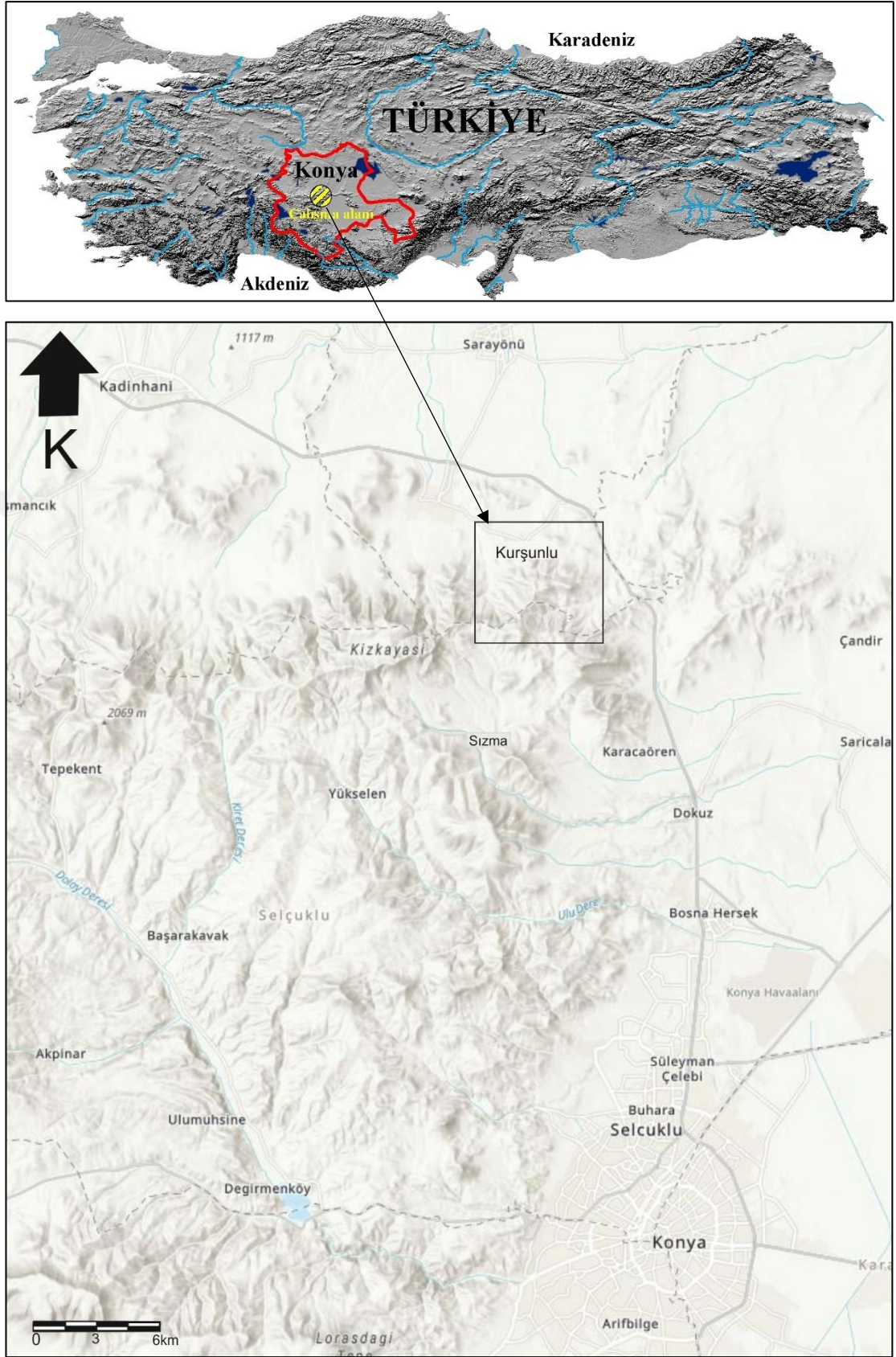
Bu alışmalar sayesinde madencilik ve hidrojeoloji alanlarında daha verimli çalışmaların yapılmasına imkan vererek, kaynakların sürdürülebilirliği sağlanabilecektir.

1.2 Çalışma Alanının Konumu

İnceleme alanı, Konya ili'nin yaklaşık 30 km batısında Sarayönü ile sınırları içerisinde bulunan L28C3 paftası içerisinde Kurşunlu ile Bahçesaray mahalleleri arasında yer alır (şekil 1.1). Sarayönü ile merkezinden yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunan Kurşunlu sahasına, doğudan ve kuzeyden Konya–Afyon karayolu (E90), güneyden ise Beyşehir–İlgın karayolu (E881) ile ulaşım rahatlıkla sağlanabilmektedir.

1.2.1 Morfoloji

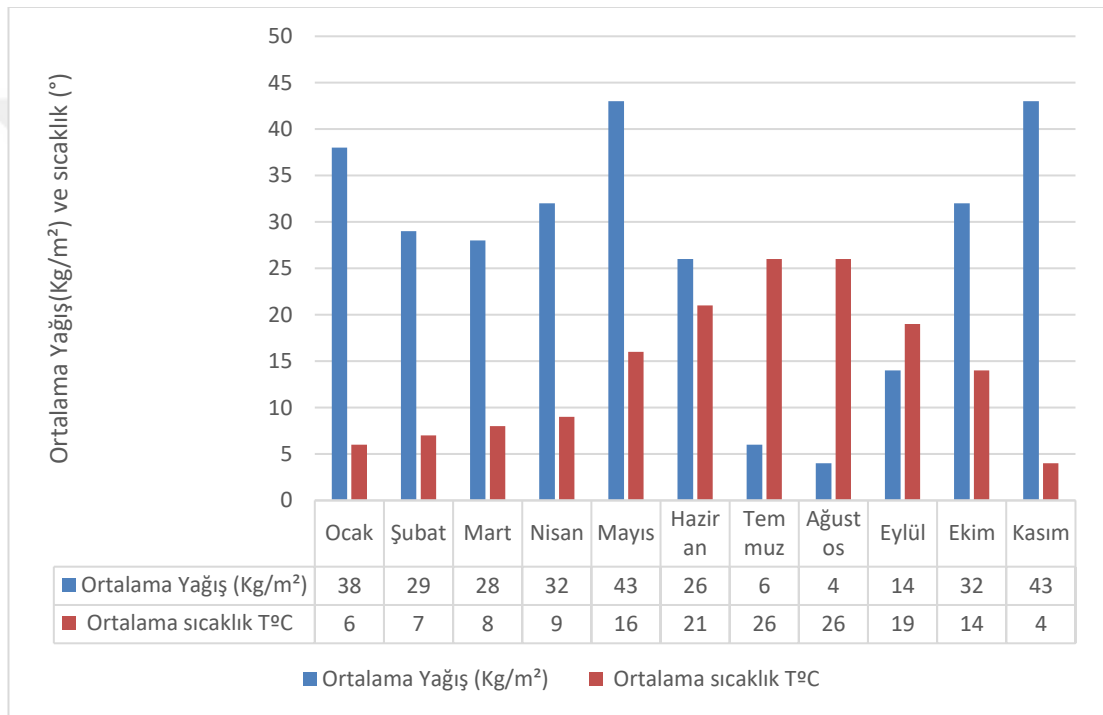
Çalışma alanının batı kesimleri yüksek kotlu tepelerle çevrilmiştir. Bölgenin doğu ve kuzey kesimleri ise fay düzlüğü olarak tanımlanan genellikle düşük eğim miktarına sahip geniş düz ovalarla kaplanmıştır. Kale tepe (1570m), ıkarman tepe (1920m) ve Ardılılı tepe (2002m) gibi bölgenin önemli yükseltileri KB-GD yönünde uzanan Sultandağları boyunca sıralanır.



Şekil 1.1. Çalışma alanının 1/100.000 ölçekli Türkiye pafta indeksi'ndeki konumu (MTA 2020' den değiştirilerek alınmıştır).

1.2.2 İklim ve bitki örtüsü

Çalışma alanı ve yakın çevresinde karasal iklim koşulları hüküm sürer. Yazları kurak, kışları ise soğuk ve yağışlıdır. Bölgede kısa boylu ağaçlardan oluşan maki türü bitkiler ve seyrek olarak bulunan meşe, çam gibi derin kök salabilen ağaçlar gözlenir. Çalışma alanının uzun dönem ortalama yıllık yağış miktarı 24,6 kg/m², yıllık ortalama sıcaklık değeri ise 12,6°C dir (Şekil 1.2). En yüksek yağış Mayıs ayında en az yağış ise Ağustos ayında ölçülmüştür. Bu tez kapsamında su örneklerinin alınma sürecinde mevsimsel değişimler göz önünde bulundurularak Eylül ve Mayıs ayları tercih edilmiştir.



Şekil 1.2. Konya iline ait 2010 - 2019 yılları arasında ölçülen ortalama aylık yağış ve sıcaklık verileri (www.mgm.gov.tr, 2019).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez kapsamında yürütülen çalışmalar, bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak literatür tarama, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.1 Literatür Tarama

Literatür çalışmaları kapsamında inceleme alanı ve çevresinde önceki yıllarda yapılmış doktora ve yüksek lisans tez çalışmaları, Tübitak ve diğer kurum raporları, makaleler, özel şirket raporları ve rapor özelliği taşıyan diğer veriler derlenmiştir. Derlenen literatür çalışmaları kendi aralarında tez konusuna göre sınıflandırılmış ve literatür özetleri çıkartılmıştır. Ayrıca bölgeyi temsil eden farklı ölçeklerde jeolojik, hidrojeolojik, topoğrafik ve sayısal haritalarda bu çalışma kapsamında temin edilmiştir.

2.2 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları, jeolojik haritaların güncellenmesi, cevherleşmenin jeolojik yerleşiminin tespiti, hidrojeolojik arazi ölçümleri, kayaç ve su numune alımları şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Harita güncelleme çalışmaları, 2018 yılının yaz döneminde genel jeoloji verilerinin toplanması ile başlanmış ve 2019 yılının sonbahar dönemine kadar devam etmiştir. Haritalama çalışmalarında, temel materyal olarak 1/10.000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında ilk olarak bölgenin topoğrafik özellikleri incelenmiş, dere yataklarının konumu, drenaj ağlarının yerleşimi ve türleri çalışılmıştır. Çalışmanın sonraki evresi mevcut hidrojeolojik ve jeolojik haritaların güncellenmesi, su kaynaklarının mevcut konumlarının belirlenmesi, su ve kayaç örnekleme noktalarının kesinleştirilmesi ve analizleri için örnekleme tarihlerinin belirlenmesi, şeklinde yürütülmüştür. Hidrojeolojik çalışmalar kapsamında, farklı örnekleme dönemleri boyunca elektriksel iletkenlik, sertlik, pH, toplam çözünmüş katı madde içeriği gibi bazı fiziko-kimyasal parametreler arazide yerinde ölçülmüştür.

Sızma-Kurşunlu polimetalik cevherleşmenin geniş yayılım gösterdiği Kurşunlu/Konya yöresinde bulunan tamamı kaynak sularından oluşan mevcut sulardan hidrojeokimyasal analizler için toplam 16 adet su örneği alınmıştır. Örnekleme işlemlerinde bölgesel mevsimsel yağışlar göz önünde bulundurularak, en az yağış alan kurak ayları temsilen 2018 Eylül ve en çok yağış alan ay olan 2019 Mayıs ayı tercih edilmiştir. Hidrojeokimyasal analiz sonuçlarının kayaç jeokimyası ile karşılaştırılması için, su kaynaklarına yakın bölgelerden 14 adet farklı kayaçtan örnekleme gerçekleştirilmiştir.

Su numuneleri, 500 mililitrelik çift kapaklı polisentetik pet şişeler kullanılarak toplanmıştır. Numuneler aynı gün içerisinde laboratuvar iletişim merkezine teslim edilmiş ve teslim edilen numuneler üzerinde numunelere asit ekleme gibi analize yönelik işlemler bu merkez tarafından gerçekleştirilmiştir. Alınan örneklerin pH değeri, toplam çözünmüş madde miktarı, sıcaklıkları, iyon iletkenlikleri arazide yerinde ölçülmüştür. Ölçümlerde taşınabilir Hegen marka pH metre kullanılmıştır. Toplanan su örneklerinin anyon-kasyon ve ağır metal analizleri Fire assay metoduna göre ACME Kanada laboratuvarında yaptırılmıştır. Kayaç numunelerinin jeokimyasal analizleri ise ICP-MS cihazı kullanılarak Fire-assay metoduyla ölçülmüştür.

Polimetalik (Sb-Hg-As) cevherleşmesinin jeokimyasal analizlerinin yapılması için, bölgede yer alan kayaç türlerinden kayaç numunelerinin toplanması arazi çalışmasının diğer bir aşamasını oluşturmuştur. Bu çalışma kapsamında aynı zamanda, çalışma alanındaki maden zuhurlarının tespit edilmeye çalışılmış ve haritalanmıştır.

Sızma-Kurşunlu Polimetalik (Sb-Hg-As) cevherleşmesine ait cevherli opak numuneler, Ankara Üniversitesinde ince ve parlak kesit şeklinde hazırlanmış ve BK-SOIF marka üstten aydınlatmalı mikroskop yardımı ile incelenmiştir.

Çalışma alanından alınan 14 adet kayaç numunesi ALS-İzmir laboratuvarında 8 saat kurutma işleminin ardından çeneli kırıcı ve bilyalı değirmende 80 mesh boyutunda toz halinde homojenleştirilen bu numunelerden 50 gr lık kısmı ICP cihazıyla ve fire-assay yöntemi ile yapılmak üzere ALS-Kanada laboratuvara gönderilmiştir.

2.3 Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları, 2019-2020 yılları arasında kalan dönemde belli bir sistematik dahilinde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak saha çalışmaları ve gözlemleri önceki çalışmalar ile birlikte değerlendirilerek bölgenin jeolojik haritası revize edilmiştir. Araziden alınan su ve kayaç örnekleri etiketlenmiş, sınıflandırılmış ve analize hazırlanmıştır. Laboratuvarlardan gelen analiz sonuçları ofis programları ve jeoistatistiksel programlarda yaygın olarak kullanılan SPSS veri tabanı formatında düzenlendikten ve toplanan veriler konumsal veriler şeklinde sınıflandırıldıktan sonra özellik sınıf yapısına bağlı veri tabanı içerisinde oluşturulan alanlara ait SPSS veri türü seçimi yapılarak veri kayıt ve değerlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Hidrojeolojik verilerin yorumlanmasında Aquachem yazılımı kullanılmış ve su kimyası verileri jeoistatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Hidrojeolojik veriler, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları Kurumu tarafından geliştirilen içme suyu kalite standartları (TS-266) dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bölgede gözlenen Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (OAKK) ve Afyon Zonu (AFZ)'na ait birlikler, Üst Kretase'den Eosen'e kadar etkin olan yaygın bir mağmatik aktivitenin etkisinde kalmıştır. Bu mağmatik aktivite ile beraberinde polimetallik (Sb, Hg, W, Sn, Pb, Cu, Zn, Au ve Ag) cevherleşmelerin oluşumunu sağlamıştır (Çağatay, 1980). Bu verilerden dolayı bölgeyi kapsayan çok fazla jeolojik çalışma yapılmıştır (Lefebvre, 2011). Bu çalışmalara ait özet bilgiler kronolojik sırada aşağıda verilmiştir.

Sharples (1908); Bölgedeki ilk incelemelerden birisi olan bu çalışma kapsamında yazarlar, civa (Hg) cevherinin şist ile mermer dokanağında, mermer içi kırık sistemleri boyunca yerleştiğini ifade eder. Çalışma, mermer içerisindeki cevherin ayrıca raplasman tipinde olup genellikle silis ile beraber saçınımlı ya da yama halde gözlemlendiğine dikkat çekmiştir.

Pilz (1937); Bölgedeki civa ve kurşun cevherinin fillitik şistler ile mermer dokanaklarında gözlemlendiğinden söz eder. Pilz çalışmasında ayrıca ilk defa bölgedeki bakır türü cevherleşmenin varlığına dikkat çekmiştir.

Kovenko (1939); Sızma Hg-Sb Yatağının metazomatik ve ornatma tipi damarlara ilişkin sınıflandırma yapmıştır. Civa zuhurlarının saçınımlı olduğu ve bölgede düzensiz kütleler halinde bulunduğundan dolayı ekonomik olmayacağını belirtmiştir.

Aygen (1956); Sızma Hg Yatağında gözlenen kontak tipindeki mineralizasyonun, ekonomik bir cevher potansiyeli taşımadığını belirtmiştir.

Kaden (1966); Sızma Hg Yatağının birinci zaman (Paleozoyik) metamorfik kayaların dokanak zonlarında yöre kayalarının içerisinde uygun yerlerde yataklandığından bahsetmiş ve bölgedeki şistleri glokafon şist olarak tanımlamıştır.

Barnes (1971); Sızma yöresindeki civa cevher zonlarının yüzey ve yeraltı imalat haritalarını çıkartmıştır. Ayrıca Büyük Ocak olarak bilinen yörenin en büyük civa üretimin yapıldığı ocak çevresinden ise ilk defa bate yöntemi ile dere kumu numunesi olarak arama perspektifini ortaya koymuştur.

Yıldız ve Bailey (1978); Türkiye’de bugüne kadar bilinen ve işletilen civa madenlerini çalışmışlardır. İlk defa Sızma ve Ladik yöresindeki civa madenlerinin 1000-1900 kotları arasında işletildiğini ve Sızma yöresindeki civa madenlerinin Türkiye’nin bilinen ve işletilen en büyük civa yatağı olduğunu belirtmişlerdir. Bölgede civa madeni üretiminin milattan önce 6000’li yıllara kadar uzandığını ancak bilinen kayıtlı üretimin Etibank tarafından 1969 yıllarda başladığını ifade etmişlerdir. 1969-1976 yılları arasında 20.000 ton civa üretimi yapılmıştır. Sızma yöresindeki civa üretimini Büyük Ocak, Çalica ve Medrese Ocakları olarak sınıflandırmışlardır. 1974 yılında Büyük Ocakta 4000 ton üzerinde civa üretimi yapılmıştır. Bölgedeki civa madeninin şistler ile mermer dokanaklarında geliştiğini ve yaklaşık olarak 20° eğime sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bölgenin en derin ocağı olan Medrese ocağında civa madeninin 900 m. kotuna kadar devam ettiğine dikkat çekmişlerdir.

Çağatay (1980); Sızma Hg Yatağı’na ait cevherli yan kayaçlar üzerine yapmış olduğu ince ve parlak kesit incelemeleri sonucunda cevherleşmelerin kuvvetli tektonizmanın izlerini taşıdığını vurgulamıştır. Arazi çalışmaları ile bölgedeki KD-GB yönlü faylar ile K-KB, G-GD doğrultulu fayları detaylı olarak tespit eden yazar ayrıca cevherleşmeler civarında bulunan tipik mafik minerallerine dayanarak yatağı granodiyorit kayaçlar ile ilişkilendirmiştir.

Eren (1993); Sarayönü ve Ladik bölgesinde yaptığı çalışmalarda Sultandağı birlikteliğini paraotokton-otokton ve allokton birimlerden oluştuğundan söz eder. Karadağ migmatitlerinin Geç Permian dönemindeki bir yay gelişimi sonucu oluştuğunu ifade etmiştir.

Kurt (1994); Sızma-Konya bölgesinin dışında Lâdik- Kadınhanı arasında kalan bölgenin petrografik ve jeokimyasal incelemesini yapmış, en yaşlı birimler olarak kabul ettiği Esirağıl ve Bağrıkurt Formasyonlarına ait fillit, metakumtaşı ve metakuvarsitlerin ya pasif ya da aktif kıta kenarında oluştuğunu; metavolkanik kayaçların dalma- batma zonu, daykların ise okyanus ortası sırt bazaltı karakteristikleri gösterdiğini açıklamıştır. Mineral kimyası ve kayaç majör analizleri ile bölgedeki metamorfizmanın önce yeşilşist fasiyesinde, daha sonra ise mavişist fasiyesine kadar olmak üzere en az iki ayrı fazda geliştiğini öne sürmüştür.

Akçay (1998); İlk defa Sızma Polimetallik yatağının jeostatistiksel yöntemlerle civa yatakları çevresinde element dağılım profillerini ve altın-gümüş ve baz metal potansiyelini çalışmıştır. Sızma yöresinde altın içeriklerinin çoğunlukla analiz edilebilecek sınıır altında olduğunu öne süren yazar, buna karşın gümüşün değışken değerler sunmakla birlikte 39 ppm' e kadar ulaşabildiğini söylemiştir. Çalışmada element dağılımlarını yorumlayabilmek için beş faktörlü bir istatistiksel değerlendirme yapılmış, yüksek Cu ve Fe faktör yükleri (0.807 ve 0.846) ile temsil edilen birinci faktör Cu zenginleşmesini ve onunla ilişkili olan hidrotermal alterasyonu açıklamıştır. Yazar ikinci ve beşinci faktörler fillit, şist, metaporfir ve karbonatlı kayalardan kaynaklanan litolojik etkilere işaret etmiştir.

Göngör (2013); İnceleme alanın batısında yaptığı çalışmada Sarayönü-Hüyük-Akşehir hattının üç farklı dönemde birbirini üzerleyen nap ve bindirme zonlarını ayrıntılı bir şekilde çalışmıştır. Bu istifin Beyşehir Birlikteliğinin devamı olduğu Eosen dönemine kadar devam eden nap olayları nedeniyle mekânsal olarak farklılık göstermesine karşın bölgedeki birimleri Beyşehir Birliği olarak tanımlamıştır.

Brooks vd. (2017); Sardes-Gediz çayında yapmış oldukları çalışmada, altın üretiminin Anadolu'da çok eskiden beri amalgamasyon yöntemi ile yapıldığını, amalgamasyon yönteminde kullanılan civanın ise çok eskiden beri Sızma- Lâdik zinober (HgS) yataklarından elde edildiğini vurgulamışlardır.

Kaya (2018); Yüksek lisans tezi kapsamında yapılan çalışmada, Sızma-Kurşunlu yöresindeki civa cevherinin Kurşunlu köyünün batısında yer alan eski civa tesisi çevresinde depolanıp işlenmesi nedeniyle doğacak çevresel etkiler araştırılmıştır. Kurşunlu köyünün batısında yer alan civa madenini atıkların, su kimyası, toprak jeokimyası ve kayaç jeokimyası çalışmaları sayesinde çevreye olan etkisini araştırmıştır. Sızma yöresinden çıkan civa madeni Kurşunlu köyünün batısında yer alan Konya-Afyonkarahisar yolu üzerindeki tarihi civa tesisinde izabe yöntemi ile civa zenginleştirilmesi 1930-1960 yılına kadar yapılmaktadır. Civa ve diğer ağır metallerin çevreye olumsuz etkisi, toksik madde zehirlenmesi şeklinde ortaya çıkmıştır.

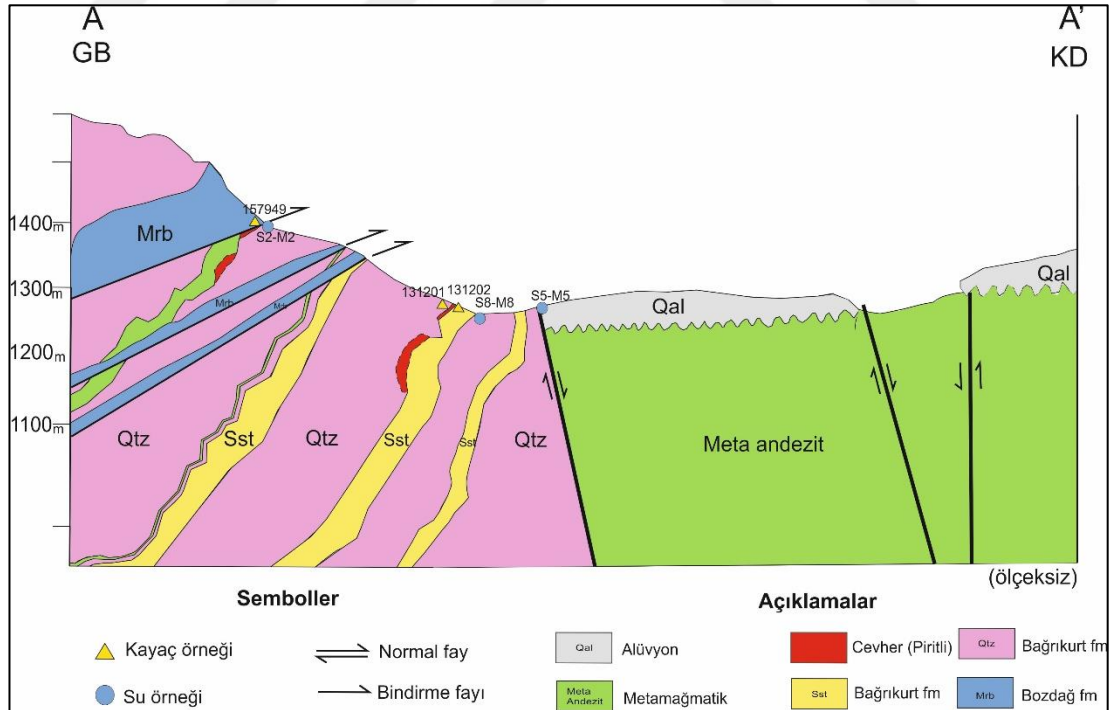
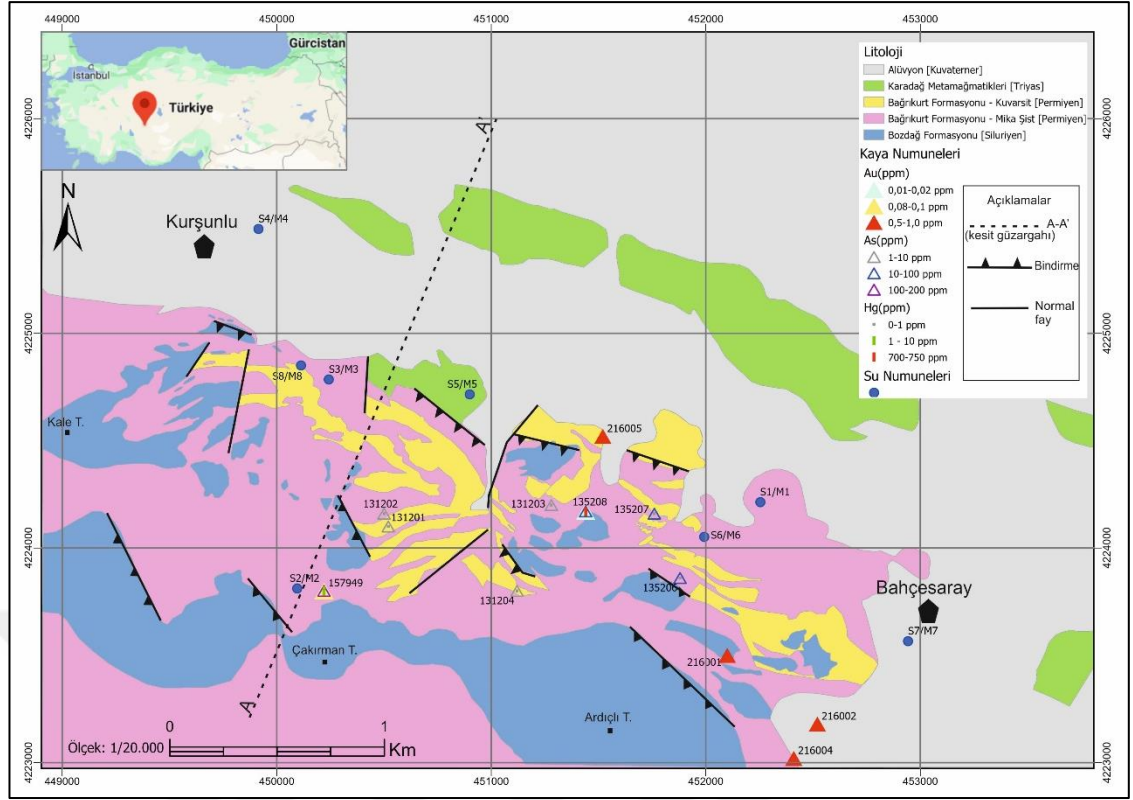
4. ÇALIŞMA ALANIN BÖLGESEL JEOLJİSİ VE STRATİGRAFİSİ

Çalışma alanında Paleozoyik yaşlı birimlerden, Pliyo-Kuvaterner yaşlı çok genç birimlere kadar uzanan bir istif söz konusudur (Üstündağ, 1977). Çalışma alanının temelini Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler (Bozdağ Formasyonu) oluşturur. Bu birimler karbonatlı ve yer yer dolomitleşmiş mermerlerden oluşmaktadır. Bu birimin üzerine meta-çört, meta-kumtaşı, kuvarsit, fillat ve şistler yer alır. Temel birimler, Triyas yaşlı yer yer foliasyona uğramış Karadağ metamağmatikleri tarafından açısız uyumsuzlukla üzerlenir (Şekil 4.1). Bölgede incelenen birimler tabandan tavana doğru aşağıda sıralanmıştır (Üstündağ, 1979).

Çalışma alanının temeli, Silüriyen-Karbonifer yaşlı (Wesner, 1968) Bozdağ Formasyonu'na ait dolomit, dolomitik kireçtaşları ve siyah renkli mermerlerden oluşmaktadır. Bu birimlerin üzerine uyumlu olarak, Karbonifer-Permiyen yaşlı Bağrıkurt Formasyonu gelmektedir (Aydın, 1996). Bağrıkurt Formasyonu meta-çört, meta-kumtaşı ve kuvarsit ara düzeyli gri, kahve, yeşil renkli fillit ve şistlerden oluşmuştur. Mika şistler, yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiştir (Kurt, 1994). Bu metamorfik birimler harita ölçeğinde farklı fasiyeslere sahip olması nedeniyle ilk defa bu tez çalışması kapsamında mika şistler içerisindeki kuvarsitler ayrılmıştır (Şekil 4.2, 4.3). Tüm bu birimler Triyas yaşlı Karadağ metamağmatikleri tarafından kesilmiştir (Yıldız, 1978).

Karadağ metamağmatikleri, çalışma alanında sınırlı bir alanda gözlenir. Birimin en iyi tip kesiti Ladik civarındadır (Yıldız, 1978). Bu birim başlıca feldispat, daha az oranda da muskovit, kuvars ve sfen minerali içerir (Wiesner, 1968).

Çalışılan sahanın GD'sunda kireçtaşlarını kestiği belirtilen kuvarslı mikrodiorit ve diyabaz daykları cevherleşmenin oluşumu açısından önem taşırlar (Wiesner, 1968). Bu birim aynı zamanda metaporfir olarak isimlendirilmiştir (Şekil 4.4).



ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	GRUP	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER	Güncel Holosen			Qal	Gevşek tutturulmuş kum, kötü boylanmalı çakıl ve kil boyutlarında taneler
MESOZOYİK	TRİYAS	ALT	ARDIÇLI GRUBU	KARADAĞ METAMAĞTİKLERİ	Meta andezit	Siyah koyu gri renkli meta-andezit, bu birimler bindirme halinde üzerleyen Bozdağ fm ait mermer ve kuvarsitler. İçerisinde mercek yada damar şeklinde pirit, arsenopiritler
PALEOZOYİK	PERMİYEN	ÜST	SIZMA GRUBU	BAĞRIKURT FM	Sst	Kahverenkli yer yer sarımsı Metakumtaşı fillit içerisinde mercek yada damar şeklinde pirit, arsenopiritler Fillit, şist, metakumtaşı, metaçört metakonglomera, metakumtaşı fillit
	SİLURİYEN	ALT		BOZDAĞ FM	Mrb	Siyah, koyu ve açık gri, krem ve beyaz arası değişik tonlarda rekristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, dolomitik mermer

Şekil 4.3. Kurşunlu yöresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Eren (2000)'den değiştirilerek alınmıştır).

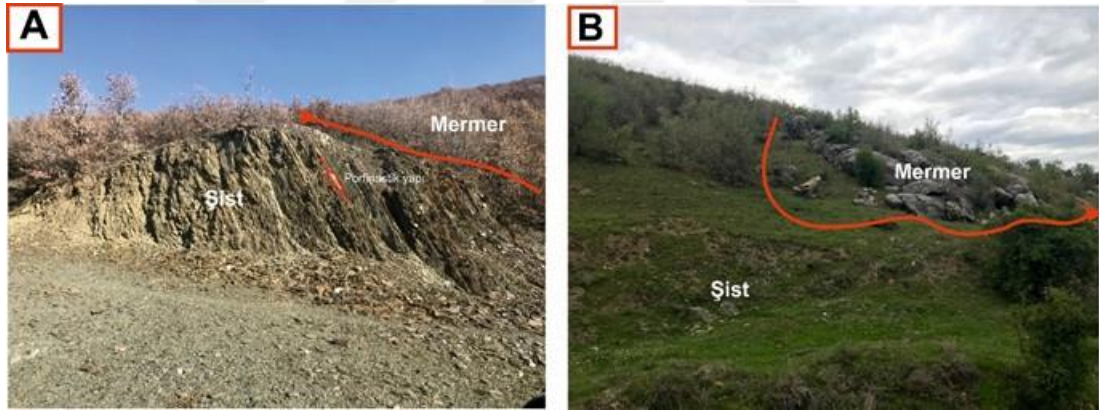
4.1 Bozdağ Formasyonu

Çalışma alanının temelini Paleozoyik yaşlı Bozdağ Formasyonu oluşturur. Çalışma alanının sınırlarının batısında kalan Konak köyü ile Biçer kasabası arasında tip kesiti en iyi gözlenir. Koyu gri renkli dolomit ve kireçtaşları yer yer mermerleşmiştir. Genel olarak birim siyah renkli mermerlerden oluşur. Esas olarak karbonatlı kayaçlardan oluşan birimin taban kesimlerinde dolomitik seviyeler bulunmaktadır (Wiesner, 1968). Dolomitlerin yanı sıra birim içerisinde kuvarsitlerde gözlenmektedir. Yoğun rekristalize olan kesimleri beyaz, süt beyazı renklerde gözlenirken özellikle tepelerde daha silisli ve koyu gri siyah renk tonlarında gözlenmektedir. Silisli olan üst kotlarda tabaka yapıları daha belirgindir.

4.2 Bağırkurt Formasyonu

Bozdağ Formasyonu üzerine uyumlu olarak meta-çört, meta-kumtaşı ve mika şistlerden oluşan Geç Paleozoyik (Karbonifer-Permiyen) yaşlı Bağırkurt Formasyonu gelir (Şekil 4.3).

Çalışma alanında yaygın olarak gözlenen fillatlar ve mika şistler, yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş metamorfikler mika şist olarak tanımlanmıştır (Yıldız, 1978). Formasyonun hakim litolojisi olan fillatlar, genellikle yeşil, koyu yeşil ve ayrışma yüzeylerinde kahve renklidir. Bağırkurt Formasyonunda yaygın olarak gözlenen şistler; muskovit, klorit ve serizitlerle temsil olunan lepidoblastik seviyeler ile kuvarsın oluşturduğu granoblastik bir dokuya sahiptir (Şekil 4.4). Kayaçtaki plajiyoklaslar yer yer porfiroblast halde olup, kayaç ayrıca porfiroblastik bir doku da sunar. Mineralojik bileşimi göz önüne alındığında bu kayaçlar “klorit muskovitşist” olarak adlandırılabilir (Şekil 4.4).

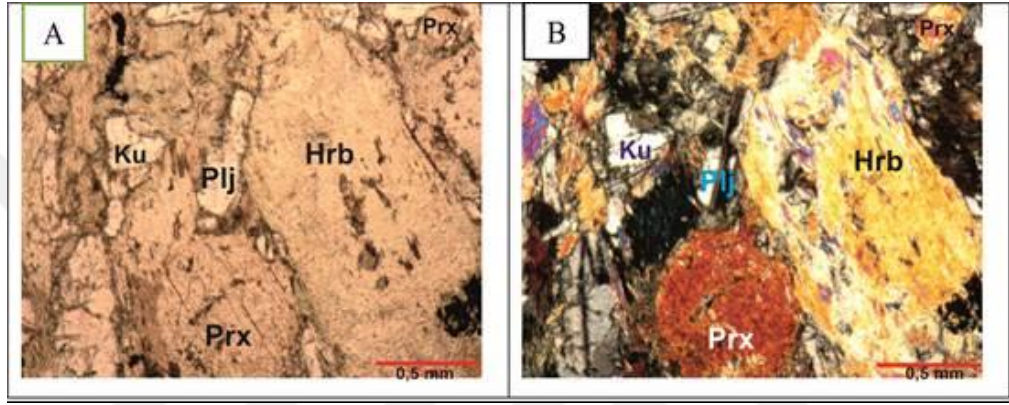


Şekil 4.4. (a) Paleozoyik yaşlı Bağırkurt Formasyonuna ait muskovit şist ile birim içerisinde allokon konumlu mermer bloğu ve şistlerde porfiroblastik yapılar. (b) Mermer-şist dokanağından görünüm.

4.3 Metatrakiandezit (Karadağ Metamağmatikleri)

İnceleme alanının kuzeyinde Karatepe ve çevresinde yaygın olarak gözlenen Triyas yaşlı bu birimlerin taze yüzeyleri gri renkli altere olan kesimleri ise mor ve kahve renkli olarak gözlenir. Bölgede ortağ bileşimli meta andezitler keratorfir, andezitporfir olarak tanımlanmışlar (Kurt, 1994). Ayrıca çalışmanın yakın kesimlerinde metaspilit ve metadoleritik dayklardan oluşan metavolkanikleri ‘Karadağ metaporfiriti’ olarak ilk defa Eren (1993) metavolkanik olarak tanımlamıştır. Metavolkaniklerin taze yüzeyleri yeşilimsi gri olup genellikle ince taneli feldispatça zengin bir hamurdan oluşur.

Feldispatlar 0,5-1,5 cm boyutlarındadır. Birim içerisinde foliasyon düzlemleri gözlenir. Düşük dereceli metamorfizma izleri taşıyan bu kayalarda şistozite iyi gelişmiştir (Kurt, 1994). Kayaçta ayrıca piroksen karakteristiktir. Piroksenlerin kırık yapıları boyunca kısmen epidot ve klorite dönüştüğü gözlenir (Şekil 4.5). Karadağ metavolkanizmasının yaşı kesin olarak bilinmemekle birlikte bu birim Karbonifer-Permian yaşı Bağlıkurt Formasyonunu kesmesi nedeniyle birimin yaşının en erken Geç Paleozoyik yada Mesozoyik yaşı olabileceği düşünülmektedir Eren (1993). Bu birimin ada yayı volkanizması ile ilişkili olduğunu vurgulamaktadır (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. Paleozoyik yaşlı metamorfikler için polarizan mikroskobu görüntüsü. (a) tek nikol, (b) çift nikol görüntüsü. (Hb: Horbelend, Plj:Plajiolas Prx: Piroksen, Kp: Kuvars kırıntısı).



Şekil 4.6. Kuzeyden güneye Karadağ formasyonu üzerine bindirme ile yerleşen Bağlıkurt formasyonuna ait görünüm.

4.4 Alüvyon

Çalışma alanında yamaç molozu ve alüviyal şeklindeki genç çökellerden oluşmaktadır. Kendinden önceki tüm birimleri uyumsuzlukla örter. Genellikle kuzey yamaçlarda çakıl ve konglomera boyutundaki yamaç molozu olarak çökelen bu birim inceleme alanının güneyinde ise kum, kil ve silt gibi litolojilerden oluşur. İnceleme alanının güneyinde kuru dere yataklarında izlenen alüvyonlar, Kuvaterner yaşlıdır (Kaya, 2018).

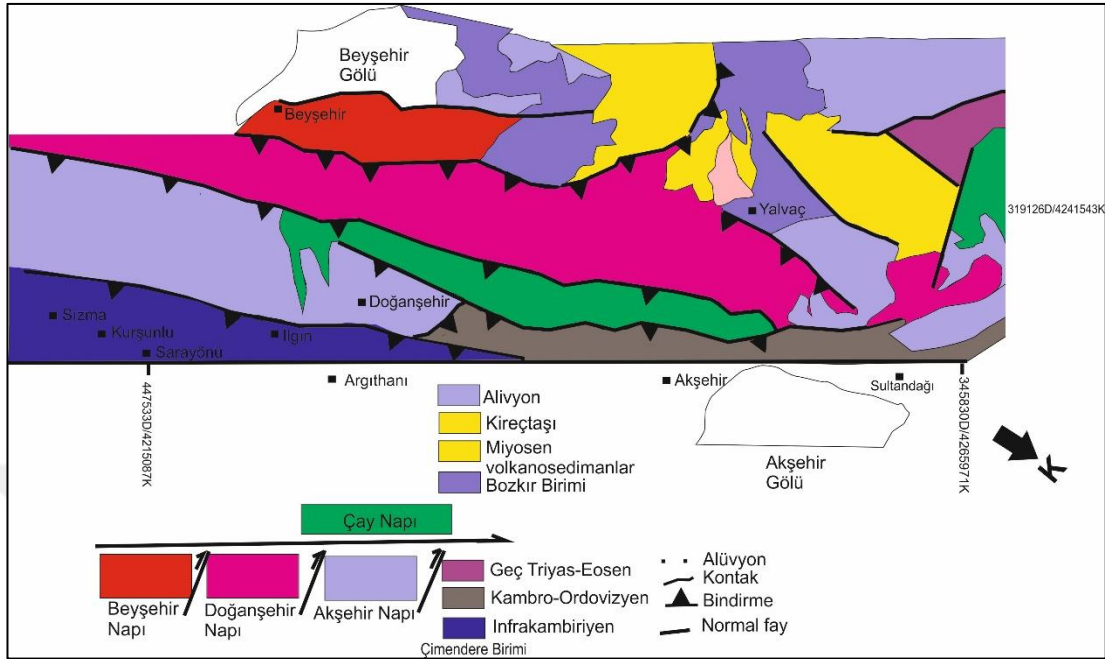
4.5 Yapısal Jeoloji

Çalışma alanı, Anatolid-Torid platformu olarak bilinen Türkiye'nin güneydoğusu boyunca yer alan doğu akdenizde önemli bir tektonik dilimini oluştururlar. Türkiye'nin ana tektonik kuşağı olan İzmir-Ankara-Erzincan sutur zonu Neotetisin kuzey kolunun kapanması sonucu oluşur (Ketin 1966; Özgül 1976, 1974; Şengür ve Yılmaz 1981; Okay vd., 2001; Moix vd., 2008).

Çalışma alanında yüzlek veren Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler bölgede etkili olan tektonizma nedeniyle yoğun kıvrımlı kırıklı yapı kazanmıştır. Çalışma alanındaki birimlerin stratigrafik gelişimi, gözlenen uyumsuzluklar ve tektonik yapılar, yöredeki kayaçların Kimmeriyen (Eren vd., 2004; 2007), Alpin ve Neo-tektonik hareketlerden etkilendiklerini göstermektedir. Bölgenin en önemli tektonik unsuru Sultan Dağları birliğidir (Şekil 4.7).

Sultan Dağı birliği'nin yaşı ve karakteri hakkında farklı araştırmacılar tarafından değişik görüşler ileri sürülmüştür. Sultan Dağları KB trendli dağ silsilesinden oluşan yaklaşık 100 km uzunluğunda ve 20 km genişliğinde bir alanı kapsar. Orta Torosların batı bölümünde yer alır. Tektonostratigrafik birimlerin birbirleriyle kontakları harita üzerinde gösterilmiştir. KD-GB yönünde uzanan Sultan Dağlarına paralel kırıklar özellikle KB olan kesimlerinde topoğrafik olarak eğimler yine bu yönde orta diklikler gözlenirken GD kesimlerinde ise Sarayönü ve Yarıkkaya boyunca eğimler GD yönündedir (Eren, 2004; Güngör, 2016). Bu kayaçlar yaşları Kambiriyen den Tersiyer'e kadar değişen geniş bir aralıkta uzanmaktadır. Çimendere birliğinin stratigrafik olarak en üstünde Lutesiyen yaşlı Celeptaş formasyonu yer alır. Bu birimin

üzerine son nap yerleşiminin Orta Eosen dönemindeki Çay napı'nın bu birimlerin üzerine itilmesi sonucunda meydana geldiğini göstermektedir (Güngör, 2013).



Şekil 4.7. Sultan Dağı Birliğine ait genelleştirilmiş yapısal jeoloji haritası (Güngör (2013)'den değiştirilerek alınmıştır).

Oligo-Miyosen'e ait birimler tektonizma sonrasıdır. Kinematik veriler bölgedeki napların Neotetisin kapanması sonucunda KD ve GD yönlü makaslama zonlarının kenarında Sultan Dağları oluşmuştur. Sultan Dağını K-G napların Orta Toroslar üzerine Üst Kretase-Orta Miyosen dönemindeki yerleşmiştir (Güngör, 2016). Bölgede yapılan yeni kinematik veriler Sultan Dağlarının D-B makaslama diliminin en üstünde yer alan Anamas-Akseki otoktonunun kuzey parçasını oluşturmaktadır. Özgül (1976) Bozkır birliğinin bir parçası olan Beyşehir napları üzerinde Çelik ve Delaloye tarafından amfiboller üzerinden yapılan petrografik, tektonizma ve jeotermobarometrik çalışmalarla tanımlanmıştır. Amfiboller alkali ve yarı alkali karakter göstermektedir ve tipik olarak okyanus adası bazaltlarından oluşmuştur.

Çalışma alanında Bozdağ birimleri nap halinde Triyas yaşlı Kara Dağ metavolkaniklerinin üzerine Oligo-Miyosen döneminde naplar halinde tektonik dokanakla yerleşir (Koçyiğit 1981, 1984; Özgül 1974; Akgün ve Sözbilir 2001; Akkiraz vd., 2011). Genişlemeyi neotektonik dönemde hakim KD, KB-K ve D-B trendinde grabenler, oblik bileşenli normal faylar, Üst Pliyosen başlayan ve yaklaşık

yatay tabakalı birimlerden oluşan bu grabenler Miyosen-Orta Pliyosende ters faylar ve doğrultu atımlı faylarla kesilmiştir (Göngör, 2013).

4.6 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Çalışma alanının batısında yer alan topoğrafik yükseltiler bölgenin beslenme alanını doğusunda yer alan geniş düzlükler ise boşalım alanını oluşturur. Bölgede gözlenen drenaj ağları, geçirimsiz birimler üzerinde genelde iyi gelişmiş ince dentritik, geçirimli ve yarı geçirimli birimler üzerinde ise vadi yoğunluğu düşük kaba dentritik drenaj ağları şeklinde görülür.

Kara Tepe ve çevresinde yüksek eğimden dolayı radyal drenaj ağları gelişmiştir. Yüksek kesimlerdeki küçük debili soğuk su kaynaklarının çoğu fay hatlarına bağlı olarak gelişen kırık sistemlerinden veya bağlantısız akiferlerden oluşmaktadır.

İnceleme alanındaki litolojik birimler su taşıma ve geçirgenlik özelliklerine bağlı olarak geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olmak üzere üç farklı hidrojeolojik sınıfta tanımlanmıştır.

4.6.1 Geçirimli birimler

İnceleme alanında akifer oluşturan en önemli birimlerden birisi bölgesel olarak çalışma alanının temelini oluşturan Paleozoyik yaşlı mermerlerdir. Birim içerisinde düşey yönde gelişen çatlaklı, kırıklı ve karstik boşluklu kısımlar hidrojeolojik açıdan geçirimlidir. Triyas yaşlı Kara Tepe metavolkanikleri geçirimsiz olmakla beraber, bölgede gelişen tektonik hareketler sonucu kırılğan bir yapı kazanmıştır. Birim kırıklı ve çatlaklı üst kuşaklarda geçirimlidir ve bölgede düşük verimli akiferleri oluşturur.

4.6.2 Yarı geçirimli birimler

İnceleme alanındaki Bağrıkurt Formasyonu'na ait kuvarsitlerden oluşan metamorfik birimlerin faylanmaya, çatlaklı ve kırıklı yapıya bağlı şekilde ikincil geçirimliliğin arttığı bölümlerde çatlakların derinliği ile orantılı olarak düşey yönde yarı geçirimlidir.

4.6.3 Geçirimsiz birimler

İnceleme alanındaki Paleozoyik yaşlı mika şist ve fillatlarda oluşan Bozdağ formasyon

ait şistli seviyeler geçirimsizdir ve hidrojeolojik anlamda yerel bariyerdir. Alüvyon birime ait killi seviyeler inceleme alanının diğer bir geçirimsiz birimini oluşturur. Kayaçlarda gelişen alterasyonlar ve sedimantasyon sonucu oluşumları devam eden killerin tektonik etkenlerden dolayı gelişmiş ikincil süreksizlik boşluklarında çökelerek kayaçların su depolama, iletimlilik vb. özelliklerini düşürdüğü söylenebilir.



5. SIZMA YÖRESİNDEKİ POLİMETALİK (Hg-As-Au) CEVHERLEŞMELER

5.1 Tarihçe

Türkiye'nin en büyük civa yatağı olma özelliğine sahip Sızma yöresindeki ocakta civa (Hg) cevherleşmesi, 2 m kalınlığında 20 m genişliğinde ve 50 m derinliğe kadar ulaşan merccek ya da elips şeklindedir (Kaaden, 1956). Medrese madeni ise yörenin en derin madeni olma özelliğine sahiptir. Bu madende 900 m kotuna kadar civa üretimi yapılmıştır (Şekil 5.1). Sızma-Kurşunlu-Ladik Yöresi Hg-Sb Madeni milattan önce (MÖ) 6000'li yıllardan itibaren çeşitli milletler tarafından çıkarılmıştır. Sızma civa (Hg) madeni Türkiye'de bilinen en eski civa madeni özelliği taşımaktadır. Bu maden 8000 yıldan daha eskiye kadar işletildiği bilinmektedir (Holl, 1966). Bölgedeki ilk modern madencilığe ise 1974'li yıllarda başlanmıştır. Yeraltı işletme metodları ile çıkarılan civa (zinober) cevheri Etibank döneminde yıllık 1650 ton'a kadar çıkarılmıştır (Şekil 5.2). Civa madeni 1000 m. ile 1900 m. arasında işletilmiştir. En büyük üretim ise 1975 yılında Etibank tarafından yapılmıştır. Büyük Ocak, Çalıca ve Medrese ocaklarından toplam yıllık 6000 ton civa üretimi yapılmıştır (Şekil 5.3). Sızma-Ladik yöresinde bugüne kadar 1 milyon ton üzerinde civa madeni işletilmiştir (Holl, 1966). Sızma yöresinde en zengin üretim Büyük Ocak olarak bilinen yeraltı işletmesinde yapılmıştır. Bu işletmede özellikle 1850 m. - 1650 m. arasında yaklaşık 300.000 ton civa üretimi yapılmıştır (Yıldız ve Bailey; 1978). Büyük Ocaktaki civa cevheri 20° eğimle 1000 m. kotuna kadar inmektedir (Çizelge 5.1).



Şekil 5.1. Sızma yöresi Büyük Ocak mevkiinde yapılan civa (Hg) üretimi (Resim: Yıldız ve Bailey 1978).



Şekil 5.2. Türkiye bilinen en eski civa (Hg) işletmesi (Sızma Resim: Yıldız ve Bailey 1978).



Şekil 5.3. Son 10 yıldır üretim yapılmayan Büyük ocağın genel görüntüsü.

Çizelge 5.1. Sızma yöresinde 1969 yılından itibaren yapılan civa üretimi yıllık miktarları (Yıldız ve Bailey, 1978).

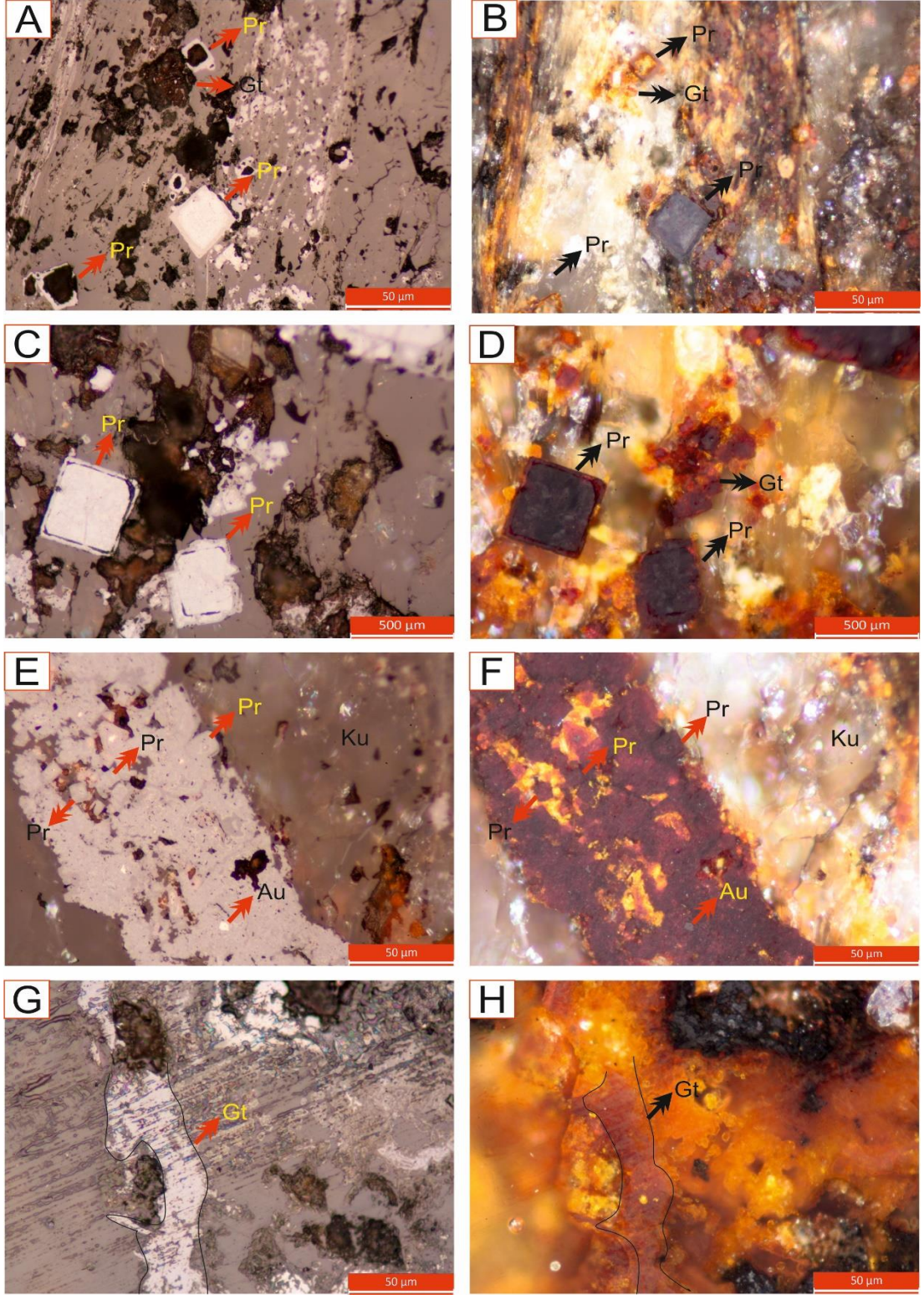
1969 _____	1,374 ton
1970 _____	2,593 ton
1971 _____	3,551 ton
1972 _____	2,839 ton
1973 _____	3,255 ton
1974 _____	5,680 ton
1975 _____	2,985 ton

5.2 Kurşunlu Yöresindeki Altın-Gümüş ve Baz Metal Potansiyeli

Çalışma alanı sınırları içerisinde civa ocağı bulunmamaktadır. Ancak civa ocağının yakın çevresinde bulunan küçük boyutlu ve işletilmemiş (Au-Ag)-As ve Cu zuhurları bulunmaktadır. Bu zuhurların en büyüğü Kurşunlu ile Bahçesaray köyleri arasında yer alır. 2018 ve 2019 yıllarında gerçekleştirilen arazi çalışmaları kapsamında inceleme alanının D-KD ile B-GB doğrultusu boyunca gözlenen kireçtaşı ile şist dokanakları boyunca alınan sistematik numuneler neticesinde polimetalik cevher zonları belirlenmiştir.

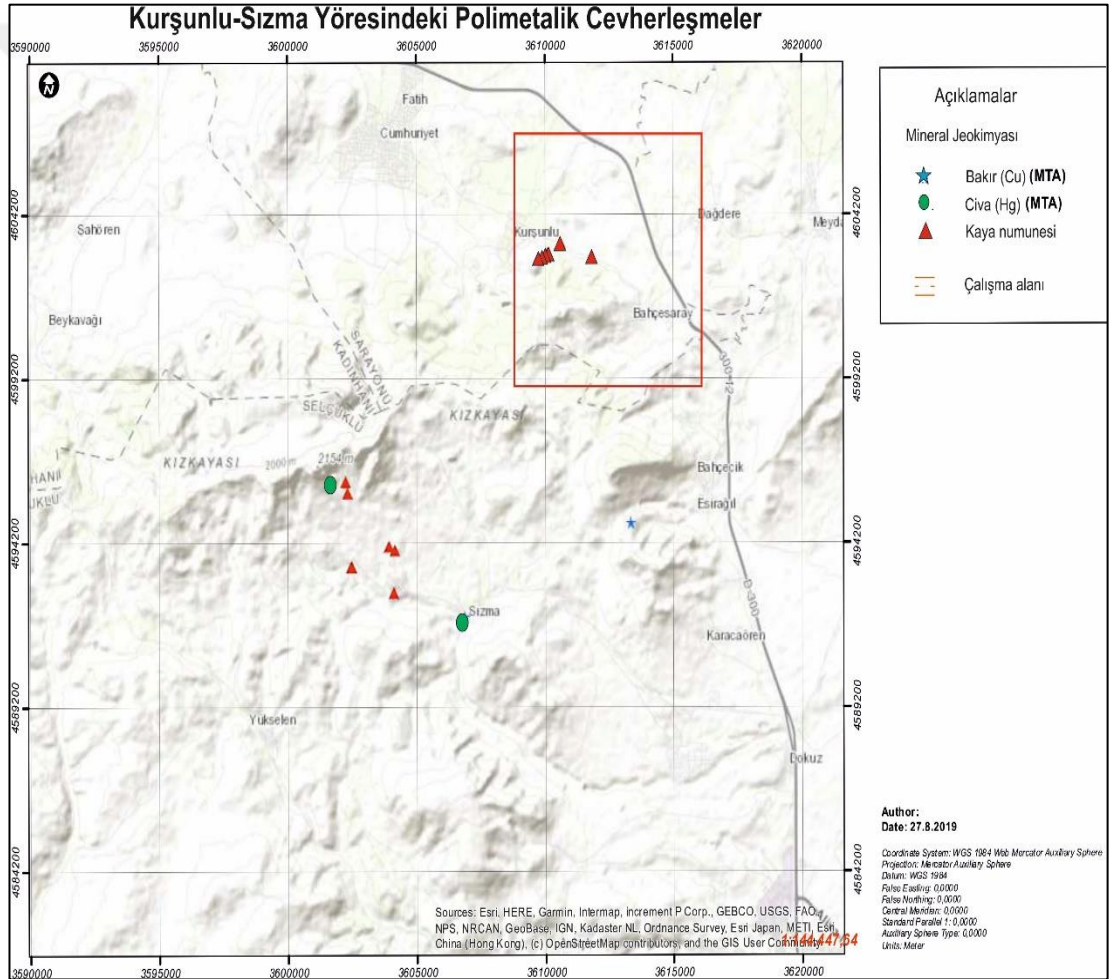
Cevherleşmelerin kuvars mikrodiorit ve diyabaz dayklarının sokulumu neticesinde geliştiği düşünülmektedir (Yıldız, 1978). Diyabaz dayklarının yerleşimi KB-GD doğrultusu boyunca en az 2 km uzunluğundadır. Cevherli zonlar cm den metre mertebesinde değişmekte olup çoğunlukla faylı ve milonitik zonlar içerisinde mermer-fillat ardalanmalı yan kayaç içerisine yerleşmiştir (Yıldız, 1978).

Sızma-Kurşunlu polimetalik sahasındaki cevherleşmeler pirit ve götit minerallerinden oluşmuştur (Şekil 5.4). Yan kayaçta ise killeşme ve silisleşmeler gözlenir. Bölgedeki cevherleşmeler genel olarak ikiye ayrılır. a) muskovit şistlerin foliasyon düzlemleri ya da onları kesen epijenetik kırık ve çatlaklar boyunca gözlenir (Şekil 5.4) b) breşler halindedir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Polarizan mikroskopunda çekilen cevherli numunelere ait kesit görüntüleri (a-b) sulfitli cevher mineralleri kuvars içerisinde 20X (Tek Nikol) (b) 10X (Analizör) (c) Piritler mika şiştlar içerisinde kataklastik deformasyon izleri taşıyor 20X (Tek Nikol) (d) Oksitli mineraller mika şiştlar içerisinde 10X (Analizör) (Gt: Götit,Pr:pirit, Ku: kuvars) (e) Oksitli mineraller kuvars içerisinde 10X (f) Oksitli mineraller kuvars içerisinde (Analizör) 10X (g) Oksitli mineraller kuvars içerisinde 10X (Tek Nikol) (h) Oksitli mineraller kuvars içerisinde (Analizör) 10X (Gt: Götit,Pr:pirit, Ku: kuvars).

Çalışma alanı ve Sızma yöresinden alınan 14 adet kayaç numunesinin jeokimyasal analizleri Kanada ALS laboratuvarında ICP cihazında fire-assay yöntemiyle 41 element analizi ve Au-AA24 metodları kullanılarak hassas altın ölçümü yapılmıştır. 5 örnekte 1000 ppb değerlerine yakın Au (altın) değeri tespit edilmiştir. 3 adet kayaç numunesinde ise 50 ppm üzerinde As (arsenik) değeri saptanmıştır (Şekil 5.5). 1 adet numuneden 741 ppm civa değeri gelmiştir (Çizelge 5.2). Bu veriler ışığında bölgedeki cevherleşmenin polimetalik karakterde olduğu anlaşılmaktadır. Ancak 1970’li yıllarda yapılan üretim verilerini dikkate alındığında civa ve arsenik cevherleşmelerinin altınla pozitif korelasyon gösterdiği bilinmektedir (Yıldız, 1978). Cevherler ana sıyrılma fayını dik ya da belli bir açıyla kesen dik açılı normal faylarla ilişkilidir (Akçay, 1998).



Şekil 5.5. Sızma yöresinden alınan 14 adet kayaç numune dağılımı haritası (Cu: bakır, Hg: civa, Kaya numuneleri).

Çizelge 5.2. Sızma yöresinden alınan kayaç numunelerinin koordinatları ve kıymetli metal analiz sonuçları.

Numune_No	DOĞU	KUZEY	KOT(m)	Au(ppm)	As(ppm)	Hg(ppm)
157949	450220	4223800	1294	0,087	144,50	3,10
131201	450520	4224106	1282	0,005	5,40	0,62
131202	450500	4224167	1310	0,005	1,50	0,09
131203	451280	4224209	1296	0,005	7,40	0,21
131204	451120	4223807	1282	0,005	8,60	0,13
216001	452100	4223506	1289	0,794	0,01	0,01
216002	452520	4223185	1278	0,694	0,01	0,01
216004	452410	4223022	1265	0,839	0,01	0,01
216005	451520	4224526	1296	0,952	0,01	0,01
216006	451550	4222822	1216	0,87	0,01	0,01
135206	451880	4223861	1306	0,005	14,70	0,32
135207	451760	4224163	1286	0,005	67,20	0,05
135208	451440	4224170	1285	0,012	14,20	741
132208	452720	4222579	1306	0,005	148,50	6,89

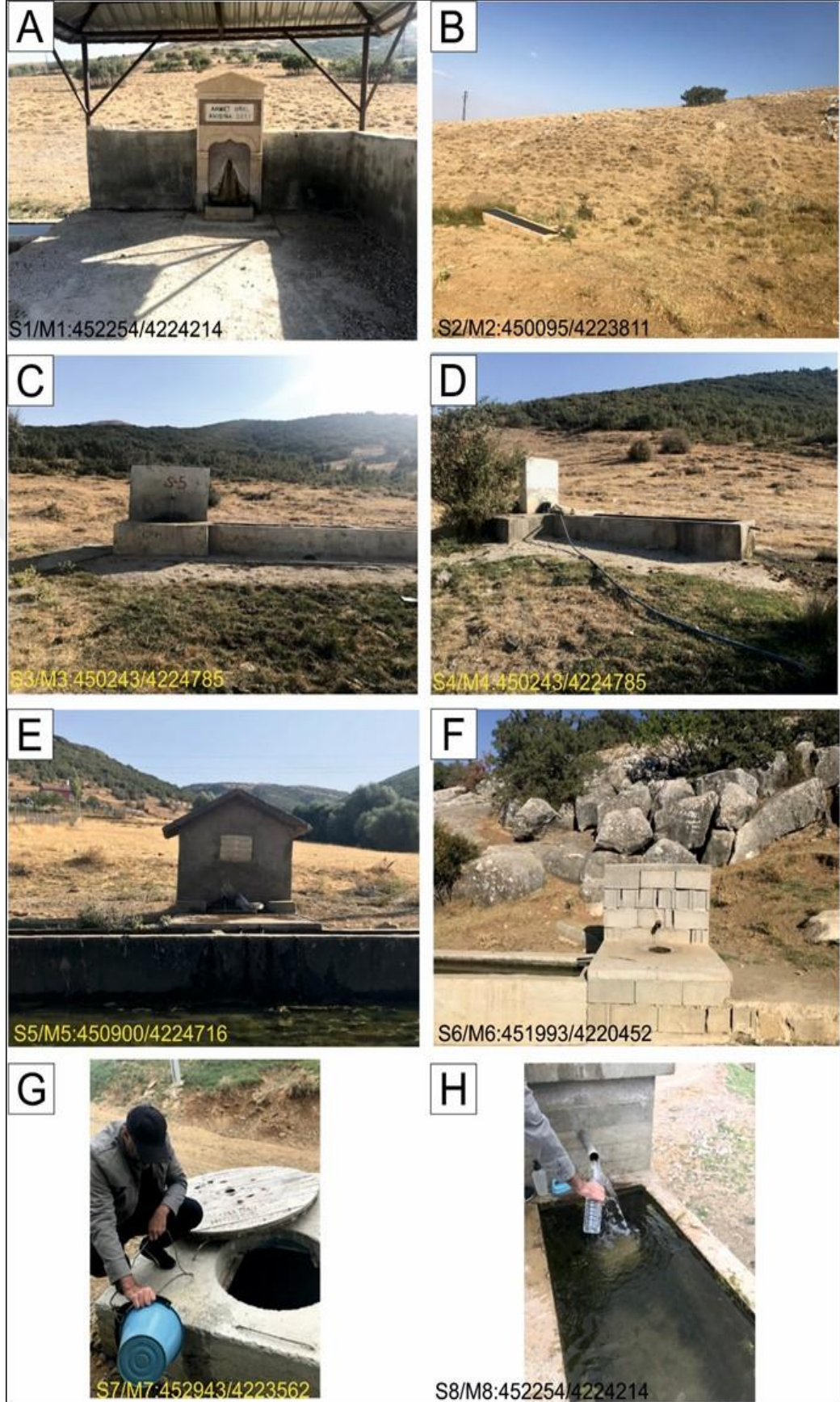
6. SIZMA YÖRESİNDEKİ SU KİMYASI ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, inceleme alanında 8 farklı su noktasından alınan yeraltı suyu örneklerinin analizleri hidrojeokimyasal açıdan değerlendirilmiştir (Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1). Örnekleme noktaları 7 adet kaynak suyu ve 1 adet sığ keson kuyudan oluşur. Analiz sonuçlarının daha verimli yorumlanabilmesi için, kurak dönemde alınan su örnekleri için “S” yağışlı dönemde alınan su örnekleri içinse “M” adlamaları kullanılmıştır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. Örnekleme noktalarının konum, yükselti ve açıklama bilgileri.

Numune No	Doğu	Kuzey	Yükseklik(m)	Açıklama
S1 (Kurak dönem) M1(Yağışlı dönem)	452254	4224214	1299	Kaynak suyu
S2 M2	450095	4223811	1398	Kaynak suyu
S3 M3	450243	4224785	1290	Kaynak suyu
S4 M4	449915	4225486	1231	Kaynak suyu
S5 M5	450900	4224716	1293	Kaynak suyu
S6 M6	451993	4224052	1230	Kaynak suyu
S7 M7	459493	4223566	1290	Kaynak suyu
S8 M8	450113	4224850	1289	Kaynak suyu

Çalışma alanından alınan su numuneleri yaklaşık D-B yönünde 10 km²'lik alanı temsil etmektedir. Alınan su numunelerinin tamamı, bölgede temeli oluşturan mermerlerle temsil edilen Bozdağ Formasyonu ile fillat ve şist ardalanmalı Bağrıkurt Formasyonlarının dokanağından veya kırık sistemlerden açığa çıkan su kaynaklarından alınmıştır. Kaynak suları özellikle Bağrıkurt Formasyonunun mika şist seviyelerinde faylı zonlar boyunca veya topoğrafik eğimin aniden yükseldiği dere yatakları boyunca açığa çıkmıştır.



Şekil 6.1. Örnekleme yapılan su kaynaklarının görünümü.

6.1 Su Kimyası Değerlendirmesi

Bu bölümde örnekleme noktası olarak seçilen 7 adet kaynak suyu ve 1 adet keson kuyudan alınan su örneklerinin analiz sonuçları ve arazide yerinde ölçüm değerleri su kimyası açısından değerlendirilmiştir. Örnekleme çalışmaları için en kurak ve en yağışlı ayları temsilen Eylül 2018 ve Mayıs 2019 tarihleri seçilmiştir (Çizelge 6.2). Örnekleme dönemlerinde sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş katı madde (TÇKM) gibi fiziko-kimyasal parametrelerin ölçümleri arazide yerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara ek olarak, anyon, katyon ve ağır metal analizlerinin yapılabilmesi için örnek alım işlemleri tamamlanmıştır.

Çizelge 6.2. Örnekleme dönemlerine göre gerçekleştirilen ölçüm ve analiz türleri.

Çalışma türü	Örnekleme, ölçüm ve analiz dönemleri	
Fiziko-kimyasal parametrelerin ölçümleri	Eylül 2018	Mayıs 2019
Anyon - katyon analizi	Eylül 2018	Mayıs 2019
Ağır metal analizi	Eylül 2018	Mayıs 2019

6.1.1 Suların Hidrojeokimyasal Değerlendirmesi

Bu başlıkta, su örneklerinin analiz sonuçları hidrojeokimyasal açıdan değerlendirilmiştir.

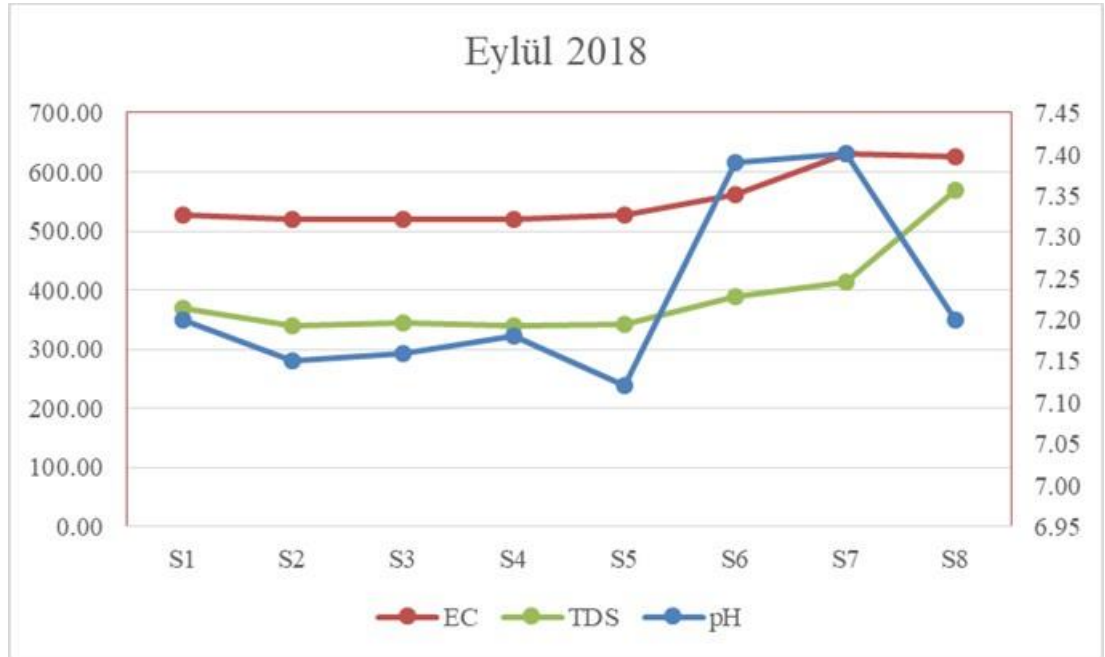
Arazide yerinde ölçülen fiziko-kimyasal parametrelerin ortalama değerleri Eylül 2018 ve Mayıs 2019 örnekleme dönemleri için sırasıyla; pH 7,23 - 7,22, elektriksel iletkenlik (EC) 554,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 536 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve toplam çözünmüş katı madde (TÇKM) 389 mg/L - 372 mg/L arasında değişmiştir (Çizelge 6.3). Yapılan ölçümlerde zamansal veya konumsal olarak homojen bir dağılım veya sistematik bir artış belirlenememiştir. Bunun nedeni su kaynaklarının sığ ve kısa dolaşım sistemine sahip olmaları ve mevsimsel yağışlardan etkilenmeleri olabilir (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3. Su kaynaklarına ait bazı su kalite parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri.

Parametre	Eylül 2018			Mayıs 2019		
	En az	En çok	Ortalama	En az	En çok	Ortalama
T°C	15,70	18,10	17,12	9,40	13,10	11,70
Ph	7,12	7,40	7,23	7,07	7,38	7,22
EC (µS/cm)	520	632	554,50	408	620	536
TÇKM (mg/L)	340	570	389	270	550	372
Cl ⁻ (mg/L)	2,00	15	4,76	2,40	25	7,93
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	9,30	37,30	20,53	11,80	151	47,95
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	154	378	322,15	124	394	289,15
Ca ²⁺ (mg/L)	46,80	116,95	95,53	47,35	153,42	93,42
Na ⁺ (mg/L)	3,35	27,74	9,52	3,18	41,91	11,00
Mg ²⁺ (mg/L)	3,67	19,07	10,34	3,98	22,84	11,78
K ⁺ (mg/L)	0,32	5,99	1,20	0,09	2,89	0,78

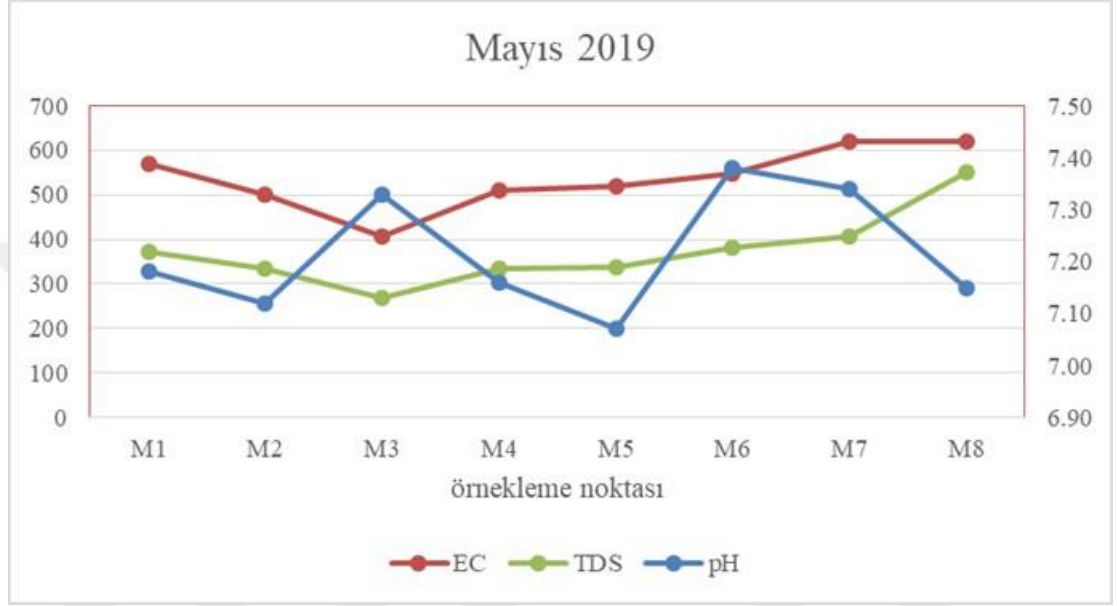
6.1.2 Hidrojen İyonu Konsantrasyonu, pH

Su örneklerinin pH değerleri incelendiğinde Eylül 2018 örnekleme dönemi için en düşük değer S5 kaynağında, en yüksek değer ise S7 keson kuyusunda sırası ile 7,12, ve 7,40 olarak ölçülmüştür (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Eylül 2018 örnekleme dönemine ait pH, EC (µS/cm) ve TÇKM (mg/L) değerleri.

Mayıs 2019 örnekleme döneminde ise en düşük ve en yüksek pH değerleri M5 ve M7 su kaynaklarında sırası ile 7,07 ve 7,40 olarak ölçülmüştür. Ortalama pH değeri, Eylül 2018 örnekleme döneminde 7,23 iken bu değer Mayıs 2019 örnekleme döneminde 7,21 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.3). Su kaynaklarının pH değerleri Mayıs 2019 örnekleme döneminde M3 haricinde düşme eğilimi göstermektedir. Ancak pH değerlerindeki bu düşüş ihmal edilebilecek kadar küçüktür.



Şekil 6.3. Mayıs 2019 örnekleme dönemine ait pH, EC (µS/cm) ve TÇKM (mg/L) değerleri.

pH, sudaki hidrojen iyonu derişimin bir ölçüsüdür. Sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Aşındırıcı ve kabuk bağlayıcı özellik pH değerine bağlanabilir. Yağışlı dönemde genel olarak pH değerlerinin azalmasının nedeni mevsimsel yağışlara bağlı olarak su seviyelerindeki artmaya bağlı olabilir. Kaynak sularının sık ve kısa dolaşım sistemine sahip olmaları mevsimsel yağışlardan etkilenme potansiyellerinin artmasına neden olacaktır.

Su kaynaklarına ait pH değerleri kaynakların konumsal dağılımları ile birlikte incelendiğinde bölgenin batısında Kurşunlu köyü civarında pH değerlerinin daha yüksek, doğusundaki Bahçesaray köyü kesimlerde ise pH değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi Kurşunlu ile Bahçesaray köyleri arasındaki bölgede yeraltı sularında yüksek kalsiyum miktarlarında görülen artış olabilir. Bu bölgede yaygın olarak bulunan karbonatlı kayalarla temas eden yeraltı suları karbonik asitçe zenginleşmiş olabilir. pH değerlerinin Kurşunlu ile Bahçesaray köyleri

arasındaki bölgede artış göstermesinin bir diğer nedeni bu alanlardaki yerleşim yerlerinin varlığı da olabilir. Noktasal veya alansal kirleticiler bu artışa neden olmuş olabilir. Ancak pH değerleri arasındaki konumsal farklar önemsenmeyecek kadar küçüktür.

Suyun pH'ında, sudaki çözünmüş halde bulunan karbonat, bikarbonat ve karbondioksit miktarlarının da etkisi vardır. Bu oranların artışına bağlı olarak suyun bazik özelliği azalır. Serbest haldeki asitler ile karbonik asitlerin sayesinde suyun asiditesi artar (Türker, 2006). Yeraltı sularındaki serbest karbondioksitin suda çözünmesi sonucunda karbonik aside dönüşür. Bu olay sayesinde suyun çözündürücülüğü ve aşındırıcılığı artar. Suyun pH değeri, aşındırıcı ve kabuk bağlayıcı özelliğiyle doğrudan ilişkilidir (Hem, 1985).

Çalışma alanındaki suların pH değerlerinin genel olarak 7,07 - 7,40 aralığında gözlenmesi suların zayıf çözücü, kabuklaştırıcı ve düşük bazik özelliğe sahip olduklarını göstermektedir.

6.1.3 Elektriksel İletkenlik, EC

İletkenlik, sudaki iyon miktarı ile doğru orantılıdır. Suyun iletkenliği sudaki iyonların toplam ve bağıl konsantrasyonlarına, hareketliliğine, değerliklerine ve ölçüm sıcaklığına bağlıdır (Hem, 1985). Suyun iletkenliği ölçülerek, sudaki iyon miktarı yaklaşık olarak tayin edilebilir. Yeraltı sularının iletkenliği su kayaç temas süreci ile doğrudan ilişkilidir. Suların yeraltında dolaşım süresi ne kadar uzun olursa kayaçla temas süresi de o oranda artacaktır. Su kayaç temas süresinin uzun olması kayaçtan daha çok iyonun çözünmesine neden olur. İyon içerikleri artan yeraltı suyunun EC değerlerinin yükselmesi beklenir.

EC değerlerine göre, Eylül 2018 örnekleme döneminde en düşük değerler S2 ve S3 su kaynaklarında 520 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en yüksek değer ise nispeten daha uzun hidrolik dolaşım sistemine sahip olan S7 de (keson kuyu) 632 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. Mayıs 2019 örnekleme döneminde ise en düşük EC değeri su kayaç etkileşimi en kısa olan ve mevsimsel yağışlardan daha çok beslenen M3 su kaynağında 408 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en yüksek EC değeri ise M8 kaynağında 620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak belirlenmiştir. Eylül 2018 örnekleme döneminde ortalama EC değeri 554,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak hesaplanmıştır. Mayıs 2019

örnekleme döneminin ortalama EC değerleri 524 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. İnceleme konusu sular EC değerleri açısından iyi su kalitesi özelliğine sahiptir ve zamansal olarak su kalitesinde herhangi bir değişim meydana gelmemiştir (Çizelge 6.4).

Suların nispeten yakın EC değerlerine sahip olması, suların su-kayaç temas sürelerinin benzer veya suların izlediği yol boyunca çözünürlükleri ve iyon içerikleri aynı kayalarla temas etmesi sonucu ortaya çıkar. EC değerlerinin düşük olması, su kaynaklarının su-kayaç etkileşimlerinin kısa ve sık dolaşım sistemine sahip olduklarının bir göstergesidir. Yağışlı dönemde EC değerleri M1 su kaynağının dışında azalma eğilimi gösterir. Su sıcaklığı azaldıkça EC değerlerinin azalması da normaldir çünkü suyun sıcaklığı ve EC değerleri arasında pozitif lineer bir korelasyon bulunur. Bu sonuç kaynakların mevsimsel yağışlardan daha çok beslenen soğuk su kaynakları olduklarına işaret eder.

Çizelge 6.4. EC değerlerine göre su örneklerinin kalite sınıflandırması (Güler, 1997).

EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Tanımlama	Eylül 2018	Mayıs 2019
0-250	Çok iyi	-	-
250-750	İyi	S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8	M1-M2-M3-M4-M5-M6-M7-M8
750-2000	Kullanılabilir	-	-
2000-3000	Şüpheli	-	-
>3000	Kullanılmaz	-	-

Çalışma alanındaki EC değerlerinin konumsal dağılımı incelendiğinde, bölgenin doğu ve güneydoğusunda kalan Bahcesaray kesiminde yeraltı sularının EC değerlerinin daha düşük, Kurşunlu'nun güney ve güneydoğusundaki sularının EC değerlerinin ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç Kurşunlu'nun güney ve güneydoğusunda yer alan kayaların çözünürlüklerinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

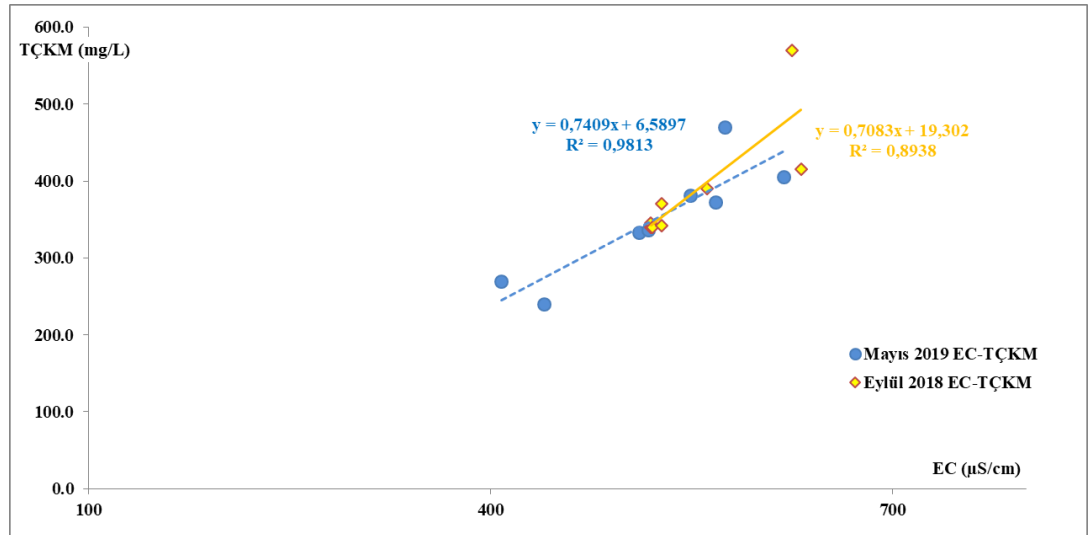
6.1.4 Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM)

TÇKM, su numunesi içerisindeki çökebilir ve çökelemeyen katı maddelerin toplamıdır (Doğan, 1981). TÇKM suların yeraltı dolaşım sistemine, kayaç-su etkileşimine ve bölgedeki yağış koşullarına bağlıdır. Su örneklerinin TÇKM değerlerine bakıldığında Eylül 2018 örnekleme döneminde en düşük TÇKM değeri S2

ve S4 su kaynaklarında 340 mg/L, en yüksek TÇKM değeri ise S8 kaynağında 570 mg/L olarak ölçülmüştür. Kurak dönem için ortalama TÇKM değeri 389 mg/L, yağışlı dönem içinse 373 mg/L olarak belirlenmiştir. Mayıs 2019 örnekleme döneminde en düşük değer M3 su kaynağında 270 mg/L, en yüksek değer ise M8 su kaynağında 550 mg/L olarak tespit edilmiştir., Fetter (1988) tarafından yapılan sınıflamaya göre her iki örnekleme döneminde su kaynaklarının tamamı tatlı su olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 6.5). Söz konusu suların tamamı TÇKM özelliği açısından kıta içi su kaynakları sınıflamasına göre de I. sınıf su kalitesi özelliğine sahiptir. Yağışlı dönemde sadece M1 su kaynağının TÇKM değeri artmıştır. Bu sonuç inceleme kapsamındaki suların TÇKM değerleri ile EC değerleri arasında pozitif doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir (Şekil 6.4).

Çizelge 6.5. TÇKM değerlerine göre su örneklerinin kalite sınıflandırması (Fetter, 1988).

Sınıflama	TÇKM(mg/L)	Eylül 2018	Mayıs 2019
Tatlı sular	<1000	S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8	M1-M2-M3-M4-M5-M6-M7-M8
Acı sular	1000-10000	-	-
Tuzlu sular	10000-30000	-	-
Çok tuzlu sular	>30000	-	-



Şekil 6.4. EC ve TÇKM arasındaki doğrusal ilişkiyi gösterir grafik.

Şekil 6.4 incelendiğinde kurak dönemde korelasyon çizgisinin kısaldığı ve buharlaşmanın tesiri ile grafiğin sağ tarafına doğru yöneldiği görülmektedir. Bu sonuç inceleme alanında mevsimsel sıcaklık farklarının su kaynakları üzerinde etkili

olduğunu göstermektedir. Grafikte yağışlı dönemde EC değerlerinin korelasyon çizgisinin daha uzun olduğu ve EC değerlerini temsil eden x eksenine yakınlaştığı görülmektedir. Bunun nedeni sisteme giren daha taze yağış sularının su kaynaklarına olan etkisi olabilir.

6.1.5 Sertlik

Sertlik, suların en önemli iyon özelliklerinden biri olup başta kalsiyum, magnezyum, bikarbonat iyonları olmak üzere, Ca-Mg sülfat, Ca-Mg nitrat ve +2 veya daha yüksek değerliğe sahip metal katyonlarından (Sr^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+}) ileri gelmektedir (Şener, 2012).

Su örneklerinin toplam sertlik değerlerine bakıldığında Eylül 2018 örnekleme döneminde en düşük sertlik değeri S7 örneğinde 246,42 mg/L, en yüksek sertlik değeri ise S1 örneğinde 430,03 mg/L olarak tespit edilmiştir. Mayıs 2019 örnekleme döneminde en düşük değer M7 örneğinde 104,61 mg/L, en yüksek değer ise M1 örneğinde 328,71 mg/L olarak ölçülmüştür. Eylül 2018 örnekleme döneminin ortalama sertlik değerleri 384,22 mg/L iken bu değer Mayıs 2019 örnekleme döneminde 242,40 mg/L olarak ölçülmüştür.

Su kaynaklarının sertlik değerleri yağışlı dönemde önemli miktarlarda düşüş göstermektedir. Bunun nedeni yağışlı dönemde bikarbonat değerlerinde gözlenen düşüş olabilir. Yağışlı dönemde M1 su kaynağı haricinde diğer su kaynaklarının tamamında bikarbonat değerleri düşme eğilimi gösterir. Bu sonuç su kaynakları üzerinde karbonatlı kayaçların etkin olduğunu ve su kaynaklarında karbonat sertliğinin var olduğunu göstermektedir. Sular sertlik sınıflamasına göre değerlendirildiğinde, kurak dönemde S7 ve yağışlı dönemde ise M2-M3-M4-M5-M6-M7-M8 sert sular, diğer sular ise çok sert su olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 6.6). Yağışlı dönemde suların sertlik değerlerinde ve sınıflama sisteminde iyileşme görülmesinin nedeni sisteme giren daha taze yağış suları olabilir.

Çizelge 6.6. Sertlik değerlerine göre su örneklerinin kalite sınıflandırması (Doğan, 1981).

Sertlik (mg/L)	Tanımlama	Eylül 2018	Mayıs 2019
0-75	Yumuşak	-	-
75-100	Orta sertlikte su	-	-
100-300	Sert su	S7	M2-M3-M4-M5-M6-M7-M8
>300	Çok sert su	S1-S2-S3-S4-S5-S6-S8	M1

6.2 Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri

Bu bölümde su kaynaklarının iyon içerikleri, iyon dağılımları ve iyon dizilimleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

6.2.1 Suların iyon dağılımları

Yeraltı suları hidrolik çevrim süresince temas ettikleri kayalardan negatif ve pozitif yüklü iyonları çözer. Toplam çözünmüş iyon miktarı ve bu iyonların su içerisindeki oranları suyun hidrojeolojik özelliklerini belirler. Hidrolik çevrim içerisinde sürekli hareket halinde olan suların kimyasal özellikleri de zamansal farklılıklar gösterebilir. Eylül 2018 ve Mayıs 2019 örnekleme dönemlerinde 7 kaynak suyundan ve 1 adet keson kuyudan alınan su örneklerinin su kimyası analiz sonuçları Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8 de verilmiştir.

İncelenen sulara ait Eylül 2018 örnekleme dönemindeki bazı kimyasal parametrelerin değerleri; Cl⁻; 2,00 – 15,0 mg/L, SO₄²⁻; 9,30 – 37,3 mg/L, HCO₃⁻; 154 – 378 mg/L, Ca²⁺; 46,80 – 116,95 mg/L, Na⁺; 3,35 – 27,74 mg/L, Mg²⁺; 3,67 – 19,07 mg/L, K⁺; 0,32 – 5,99 mg/L arasında değişim gösterir (Çizelge 6.7). Mayıs 2019 örnekleme döneminde bu parametrelerin değerleri ise; Cl⁻; 2,40 – 25 mg/L, SO₄²⁻; 11,8- 151 mg/L, HCO₃⁻; 124 – 394 mg/L, Ca²⁺; 47,35 – 153,42 mg/L, Na⁺; 3,18 – 41,9, Mg²⁺; 3,98 – 22,84 ve K⁺; 0,09 – 2,89 mg/L arasında ölçülmüştür (Çizelge 6.8).

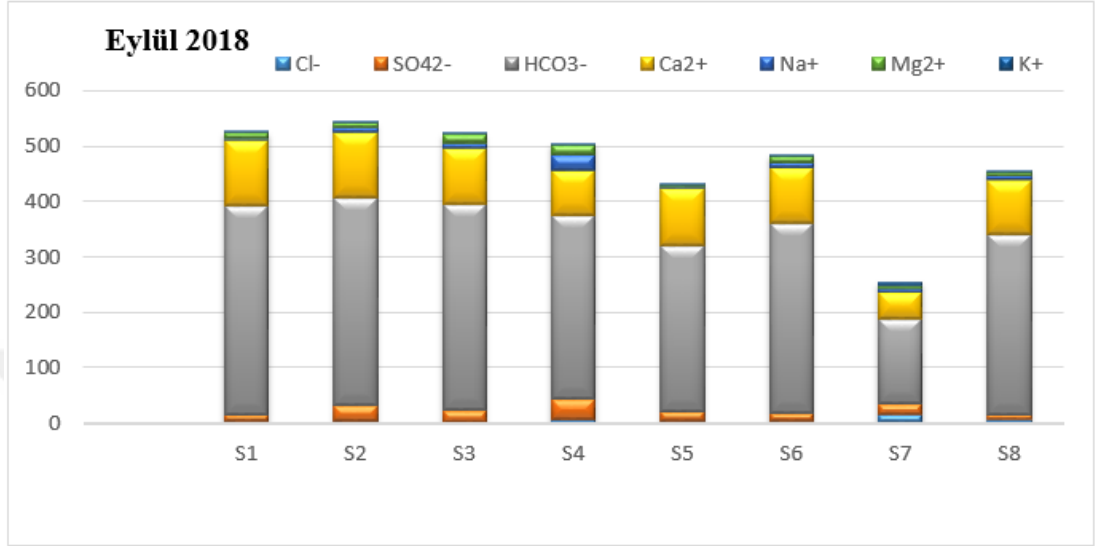
Çizelge 6.7. Çalışma alanındaki suların Eylül 2018 örnekleme dönemine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.

Örnek	T°C	pH	EC	TÇKM	SRT	Alkalinite	Bikarbonat	Sülfat	Klorür	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR
No			(µS/cm)	(mg/L)	(mgCaCO ₃ /L)	(mg/CaCO ₃ /L)	(mg/HCO ₃ /L)	(mg/SO ₄ ²⁻ /L)	(mg/Cl ⁻ /L)	(mgCa ²⁺ /L)	(mg Mg ²⁺ /L)	(mg K ⁺ /L)	(mg Na ⁺ /L)	
S1	15,7	7,2	528	370	430,03	309,84	378	12,5	2,3	116,95	10,43	0,39	3,35	0,41
S2	16,46	7,15	520	340	427,57	307,38	375	29,2	3,6	115,52	8,72	0,49	8,84	1,12
S3	17,1	7,16	520	345	423,47	303,28	370	21,7	2	103,31	15,96	0,5	8,45	1,09
S4	17,4	7,18	521	340	391,5	271,31	331	37,3	5,6	81,89	19,07	0,97	27,74	3,9
S5	17,1	7,12	528	342	365,27	245,08	299	18	2,4	102,74	3,67	0,32	4,1	0,54
S6	17,6	7,39	562	390	401,34	281,15	343	15,6	2,2	99,66	12,29	0,6	9,63	1,28
S7	18,1	7,4	632	415	246,42	126,23	154	19,9	15	46,8	5,4	5,99	7,17	1,4
S8	17,5	7,2	625	570	388,22	268,03	327	9,3	5	97,4	7,18	0,35	6,91	0,95

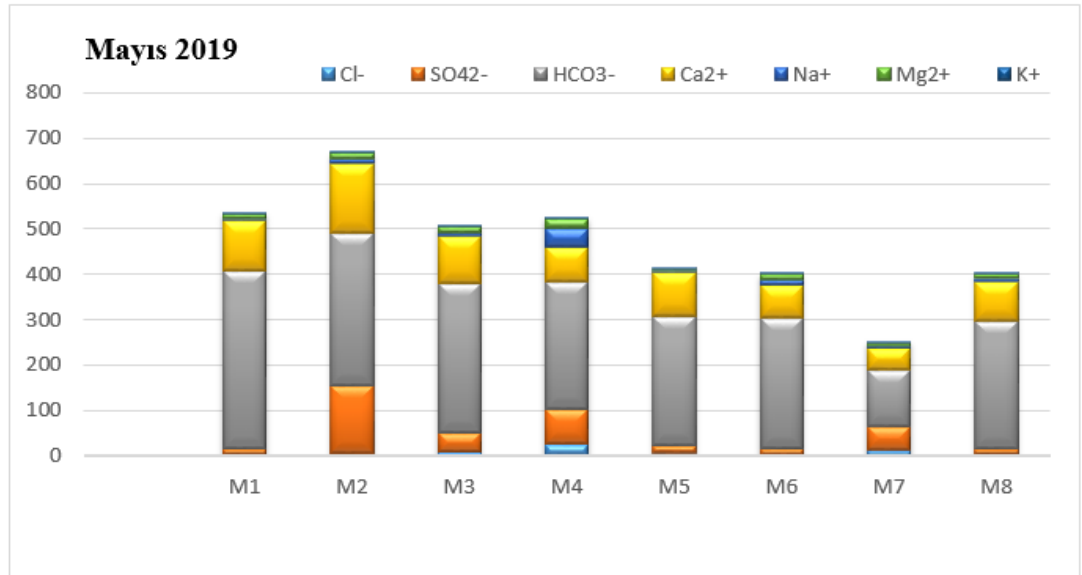
Çizelge 6.8. Çalışma alanındaki suların Mayıs 2019 örnekleme dönemine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.

Örnek	T°C	pH	EC	TÇKM	SRT	Alkalinite	Bikarbonat	Sülfat	Klorür	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR
No			(µS/cm)	(mg/L)	(mgCaCO ₃ /L)	(mg/CaCO ₃ /L)	(mg/HCO ₃ /L)	(mg/SO ₄ ²⁻ /L)	(mg/Cl ⁻ /L)	(mgCa ²⁺ /L)	(mg Mg ²⁺ /L)	(mg K ⁺ /L)	(mg Na ⁺ /L)	
M1	9,4	7,18	568	373	328,71	323	394	12,6	2,4	111,35	10,13	0,35	3,18	0,4
M2	11,1	7,12	502	335	284,02	276	336	151	4,5	153,42	14,66	0,09	7,96	0,86
M3	11,7	7,33	408	270	273,57	268	327	44,1	8,2	104,98	14,6	0,29	7,27	0,94
M4	12,4	7,16	511	333	234,63	229	279	78,5	25	76,18	22,84	1,37	41,91	5,95
M5	10,1	7,07	518	336	237,97	233	284	17,8	5,1	95,94	3,98	0,33	4,09	0,57
M6	11,6	7,38	549	381	239,09	235	286	14,9	2,8	71,48	12,62	0,61	11,91	1,83
M7	13,1	7,34	619	405	104,61	102	124	52,9	12	47,35	6,83	2,89	53,67	1,08
M8	11,5	7,15	620	550	236,6	232	283	11,8	3,5	86,67	8,54	0,34	6,06	0,87

Su kimyası analiz sonuçları incelendiğinde Eylül 2018 ve Mayıs 2019 örnekleme dönemlerinde tüm numunelerin genel olarak hakim katyonun Ca^{+2} , hakim anyonun ise HCO_3^- olduğu tespit edilmiştir. S7 haricinde su kaynaklarının tamamında Mg^{+2} ikinci hakim katyon durumundadır (Şekil 6.5 ve Şekil 6.6).



Şekil 6.5. Eylül 2018 örnekleme dönemine ait suların iyon değişimleri (mg/L).



Şekil 6.6. Mayıs 2019 örnekleme dönemine ait suların iyon değişimleri (mg/L).

İyon bolluk dizilimleri çoğu örnekte örnekleme dönemleri boyunca benzer olmakla birlikte bazı örneklerde iyon dizilimleri değişiklikler göstermiştir. Eylül 2018 örnekleme döneminde S7 su kaynağında Ca^{+2} den sonraki hakim katyon $\text{Na}^{+2}+\text{K}^{+}$ ve

ikinci sıradaki hakim katyon ise Cl^- iyonudur. Benzer şekilde Mayıs 2019 örnekleme döneminde M4 su kaynağında ikinci sıradaki hakim katyon $\text{Na}^{+2}+\text{K}^{+}$ olarak tespit edilmiştir. Bu değişimlerin nedeni iyonlar arasında gelişen iyon değişimi olabileceği gibi sisteme daha taze suların girmesi ve sülfat indirgenmesi gibi etkenlerden dolayı da suların kimyasal özellikleri zamansal olarak değişimlere uğrayabilir.

İnceleme alanındaki su kaynaklarının tamamı hidrojeokimyasal açıdan Ca-HCO_3 su fasiyesi özelliğine sahiptir. Örnekleme dönemleri boyunca su fasiyes tiplerinde değişiklik olmamıştır. Genel olarak Ca^{+2} , Mg^{2+} ve HCO_3 iyonları daha fazla çözünmüş ve baskın duruma geçmişlerdir (Çizelge 6.9). Bu sonuçlar bize özellikle kireçtaşı, dolomit, mermer gibi karbonat kökenli akiferleri işaret etmektedir.

Çizelge 6.9. Eylül 2018 ve Mayıs 2019 örnekleme dönemlerine ait iyon dizilimleri ve su tipleri.

İyon dizilimi (meq/L)	Su tipi	Eylül 2018	Mayıs 2019
$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} / \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-} > \text{Cl}^{-}$	Ca-HCO_3	S1-S2-S3-S4-S5-S6- S8	M1-M2-M3- -M5-M6-M7-M8
$\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} > \text{Mg}^{+2} / \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-}$	Ca-HCO_3	S7	
$\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} > \text{Mg}^{+2} / \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-} > \text{Cl}^{-}$			M4

Yağışlı dönemde su kaynaklarının Na^{+} iyon değerleri 3,18 mg/L - 41,9 mg/L arasında değişim göstermiştir. Sular Na^{+} iyonu özelliği açısından kıta içi su kaynakları sınıflamasına göre I. Sınıf su kalitesi özelliğine sahiptir. Su kaynaklarının Na^{+} iyon içeriklerinin kökeni olarak, çalışma alanında yer alan mika şist bileşimli kayaçların hidrolik akım yolu çevresinde çözünürlüğünün artması veya suların bölgede bulunan Triyas yaşlı metavolkanik birimlerle teması sırasında Na^{+} iyonunca zenginleşmesi olabilir.

Su kaynaklarının kurak ve yağışlı dönem için en düşük ve en yüksek Cl^- değerleri sırası ile 2,00 mg/L - 15,00 mg/L ve 2,4 mg/L - 25,00 mg/L arasında ölçülmüştür. Cl^- iyonu yeraltı suları için iyi bir izleyicidir. Normal şartlar altında zamansal olarak su kaynaklarının Cl^- iyonu miktarlarında artış beklenir. İnceleme kapsamındaki M5, M7 ve M8 su kaynaklarının Cl^- iyonu derişimleri yağışlı dönemde daha düşük değerler almıştır. Bunun nedeni bu suların başka su kaynaklarıyla karışmaları veya sisteme

daha taze mevsimsel yağış sularının girmesi olabilir. Söz konusu suların Cl^- iyonu bakımından genel olarak kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre I. Sınıf su kalitesi sınıfına girer.

Su kaynaklarının her iki örnekleme döneminde hakim anyonu konumundaki HCO_3^- iyonu derişimleri 154 mg/L - 394 mg/L arasında değerler almıştır. Yağışlı dönemde M1 haricinde HCO_3^- değerlerinin tamamı düşme eğilimi gösterir. Su kaynaklarının sıcaklık ve TÇKM değerlerinin de yağışlı dönemde düşme eğilimi göstermeleri de dikkate alındığında, su kaynaklarının yağışlı dönemde sıcaklığa bağlı olarak çözme yeteneklerinin azaldığı söylenebilir. Su kimyasında gözlenen bu değişimlerde, mevsimsel yağışların bu dönemde artmasının katkısı oldukça fazladır. Suların dolaşım sistemi içerisindeki hareketine bağlı olarak HCO_3^- iyonlarının kökeni, inceleme alanında geniş bir alanda gözlemlenen kireçtaşları ve temelde yer alan Paleozoyik yaşlı mermerler ile olan su-kayaç etkileşimi olabilir.

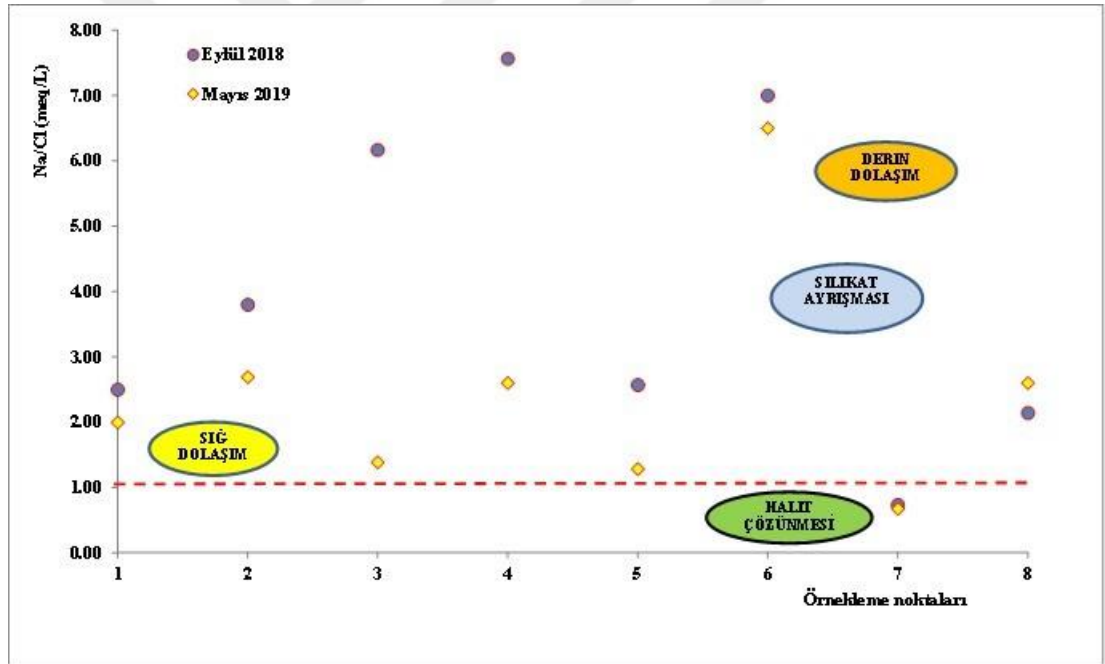
Kurak ve yağışlı dönem için en düşük ve en yüksek SO_4^{-2} değerleri sırası ile 9,30 mg/L - 37,30 mg/L ve 11,8 mg/L - 151,00 mg/L arasında ölçülmüştür. Yağışlı dönemde M2, M3, M4 ve M7 su kaynaklarının SO_4^{-2} iyonu miktarlarında önemli bir artış gözlenmiştir. SO_4^{-2} iyon miktarlarındaki bu artışın nedeni Bağrıkurt ve Bahçecik Formasyonları içerisinde yer alan mercer veya damar şeklindeki pirit ve arsenopiritin bu sulara daha yüksek oranlarda çözünmesi olabilir. Söz konusu sular SO_4^{-2} iyonu bakımından genel olarak kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre I. Sınıf su kalitesi özelliği gösterir.

Örnekleme dönemleri boyunca su kaynaklarının hakim katyonu durumundaki Ca^{+2} doğal sulara en bol bulunan katyonlardan birisidir. Su kaynaklarının en düşük ve en yüksek Ca^{+2} iyon derişimleri kurak ve yağışlı dönemler için sırası ile 46,80 mg/L - 116,95 mg/L ve 47,35 mg/L - 153,42 mg/L arasında değişim gösterir. Su kaynaklarında Ca^{+2} iyonu bölgede geniş yayılım gösteren Silüriyen yaşlı Bozdağ Formasyonu'na ait rekristalize kireçtaşları, dolomitik kireçtaşları ve mermerler ile olan su kayaç teması sonucu zenginleşmiştir.

İnceleme konusu suların en düşük ve en yüksek Mg^{+2} iyon derişimleri ise kurak ve yağışlı dönem için sırası ile 3,67 mg/L - 19,07 mg/L ve 3,98 mg/L - 22,84 mg/L

aralığında tespit edilmiştir. Mg^{+2} değerleri yağışlı dönemde M1 ve M3 haricinde yükselme eğilimi gösterir. Sularda gözlenen Mg^{+2} bölgede gözlenen dolomit ve şistlere ait seviyeler ile temas süresince veya Karatepe meta-andezitlerine piroksen, amfibol gibi minerallerin çözünmesi sonucu yeraltı sularında zenginleştiği söylenebilir.

K^+ , feldispat, mika, feldispatoid ve kil minerallerinde yaygın olarak gözlenir. Bu minerallerin alterasyona uğraması sonucu potasyum açığa çıkar. Çalışma alanındaki suların K^+ değerleri her iki örnekleme dönemi boyunca 0,09 mg/L - 5,99 mg/L aralığında değişim gösterir (Şekil 6.7). Potasyumun yeraltı sularındaki başlıca kaynağı feldispatlar ve mikalardır. İnceleme alanında yer alan Bahçecik Formasyonu'na ait meta-andezitlerle yeraltı sularının temasının bir sonucu olarak su kaynaklarında zenginleştiği söylenebilir.

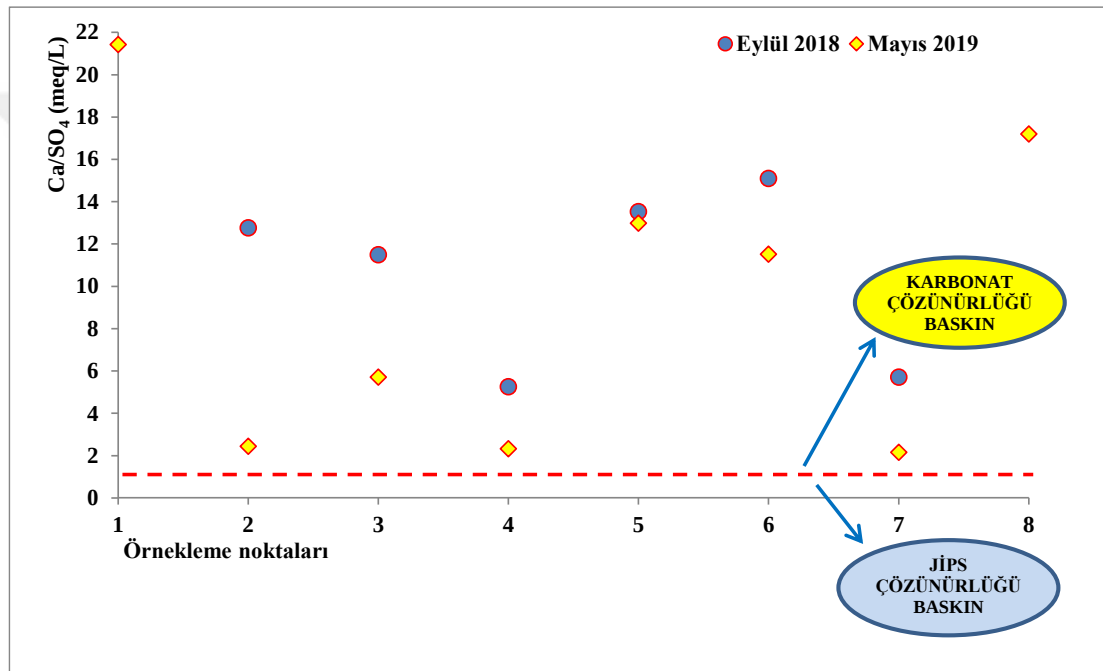


Şekil 6.7. İnceleme alanındaki suların Na^+/Cl^- grafiği.

Sonuç olarak inceleme kapsamındaki suların düşük iyon derişimine ve elektriksel iletkenlik değerlerine sahip olması su kaynaklarının sığ ve kısa dolaşım sistemine sahip yeraltı suları olduklarını göstermektedir. Bu sular kısa süreli su kayaç temas özelliğine sahiptir. Mevsimsel yağışlardan yoğun olarak etkilenirler ve suların sıcaklık değerleri çözünme sürecindeki en önemli etkenlerden birisidir. Na^+ ve Cl^- iyonları birbirleri ile kıyaslandığında heterojen bir dağılım sergiler. Na^+/Cl^- oranları S7 ve M7

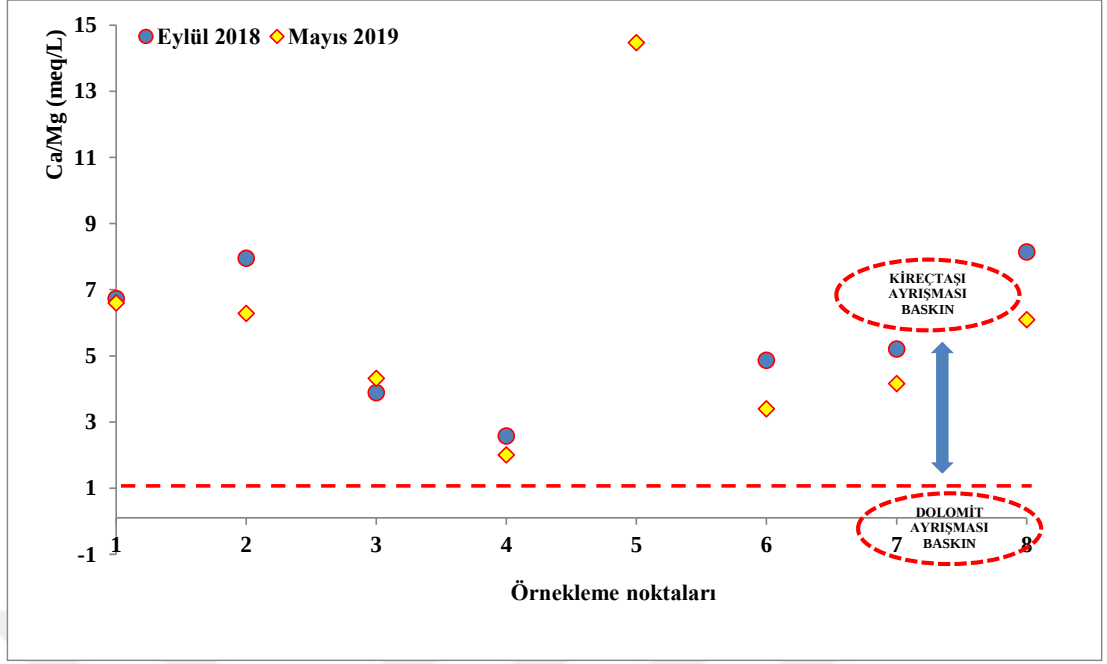
haricinde diğer su kaynaklarında 1 değerinin üzerinde hesaplanmıştır. Bu sonuç jips çözünürlüğünün çok az olduğunu Cl^- iyonunun baskın olarak karbonatlı kayaçların çözünmesi sonucu sulara zenginleştiğini gösterir.

Ca^{+2} ve SO_4^{-2} iyonlarının birbirlerine oranı dikkate alındığında, iyon dağılımlarının sistematik bir dağılım içermediği gözlenir (Şekil 6.8). Grafikteki $\text{Ca}/\text{SO}_4^{-2}$ oranının neredeyse tamamının 1 değerinin üzerinde gelmiş olması jips çözünürlüğünün çok az olduğunu gösterir. Suların Ca^{+2} iyonunun baskın olan karbonatlı kayaçların çözünmesi sonucu zenginleştiğini ve karbonatlı kayaçların varlığını açıklar.



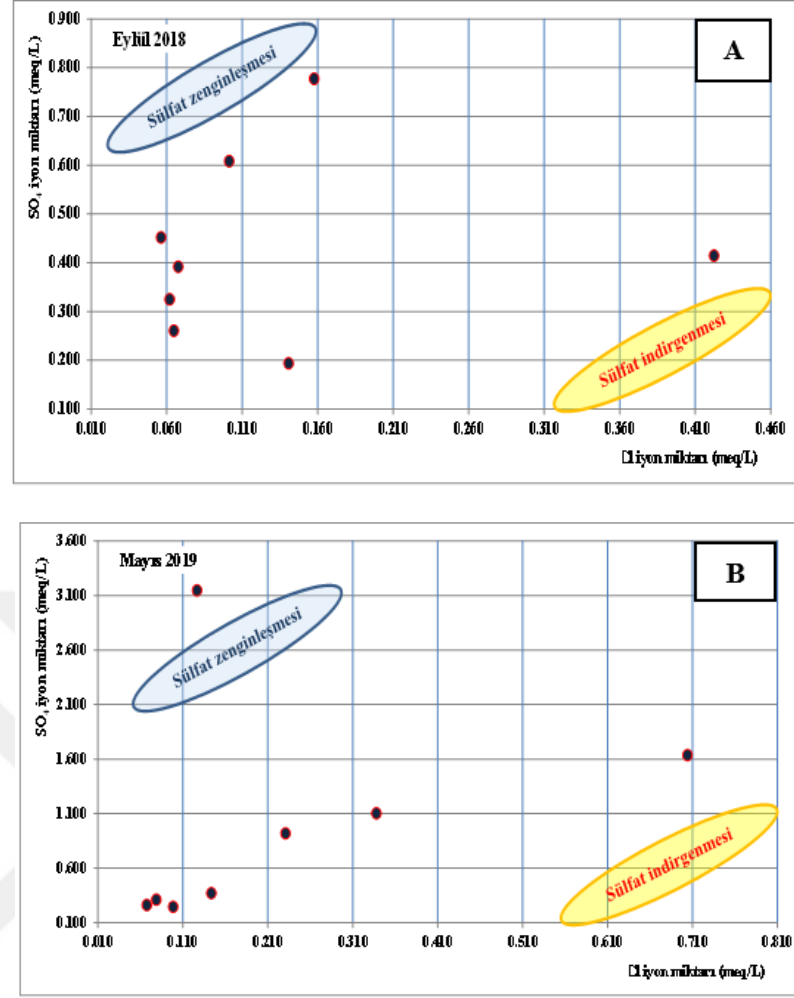
Şekil 6.8. İnceleme alanındaki suların $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$ grafiği.

$\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ iyon oranları yeraltı sularında kalsit ve dolomit çözünürlüğünün baskınlığını yansıtan bir değerdir. Eğer $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2} = 1$ ise dolomit çözünürlüğü, 1'den yüksek bir değere sahipse kalsit eklenmesini işaret eder. Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının oranı 2'den büyük ise yeraltı suyundaki silikat minerallerinin ayrışması sonucu zenginleştiğini belirtir (Maya ve Loucks, 1995; Bozdağ, 2010). İnceleme alanındaki sularında genel olarak $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2} = 1$ çizgisinin üzerinde yer alır (Şekil 6.9). Suların bir kısmı ise 7 ve daha yüksek değerlerde çıkmıştır. Söz konusu bu yüksek değerler sulara büyük çoğunluğunda silikat çözünmesinin fazla olduğunu gösterir. $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ çizgisinin 1 değerinin altında kalan sular hidrolik dolaşım süresince genellikle dolomitik kayaçlarla temas etmiş olabilir.



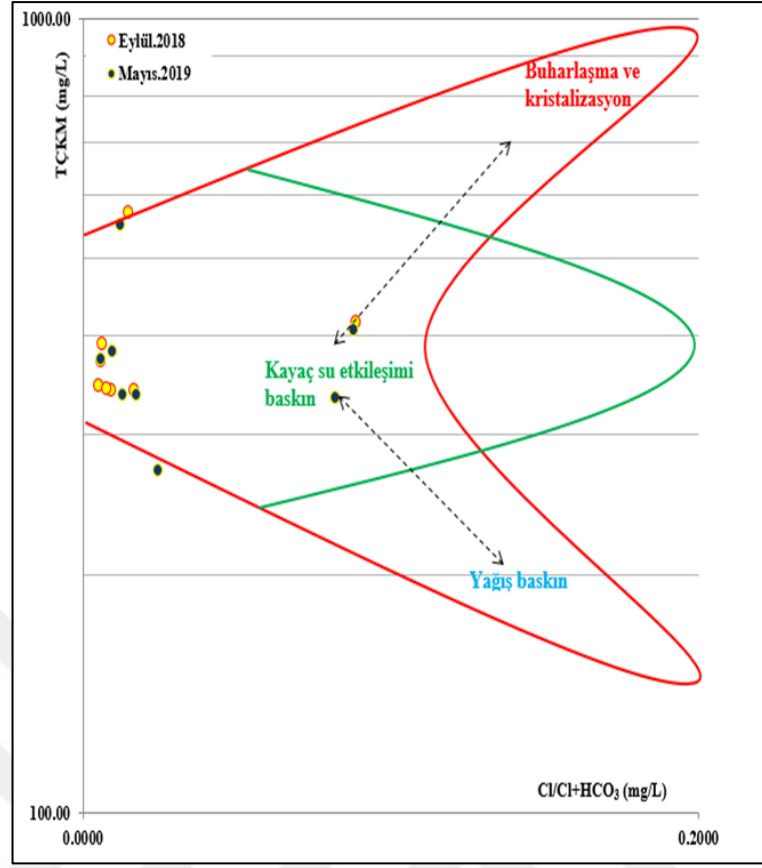
Şekil 6.9. İnceleme alanındaki suların $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ grafiği.

Su kaynaklarının SO_4^{-2} ve Cl^- iyonlarının birbirlerine olan oranlarını gösterir grafik incelendiğinde SO_4^{-2} iyonlarının genel olarak baskın oldukları ve grafiğin sol üst tarafında yer aldıkları görülmektedir (Şekil 6.10 ve Şekil 6.11). SO_4^{-2} iyonu iyon dizilimlerinde genel olarak Cl^- iyonun önünde yer almıştır. İnceleme alanında yer alan kayaçların içerisinde sıklıkla gözlenen mercer veya damar şeklindeki pirit ve arsenopiritin çözünmesinin bir sonucu olarak hidrojeolojik sistem içerisinde SO_4^{-2} iyonları zenginleşmiştir.

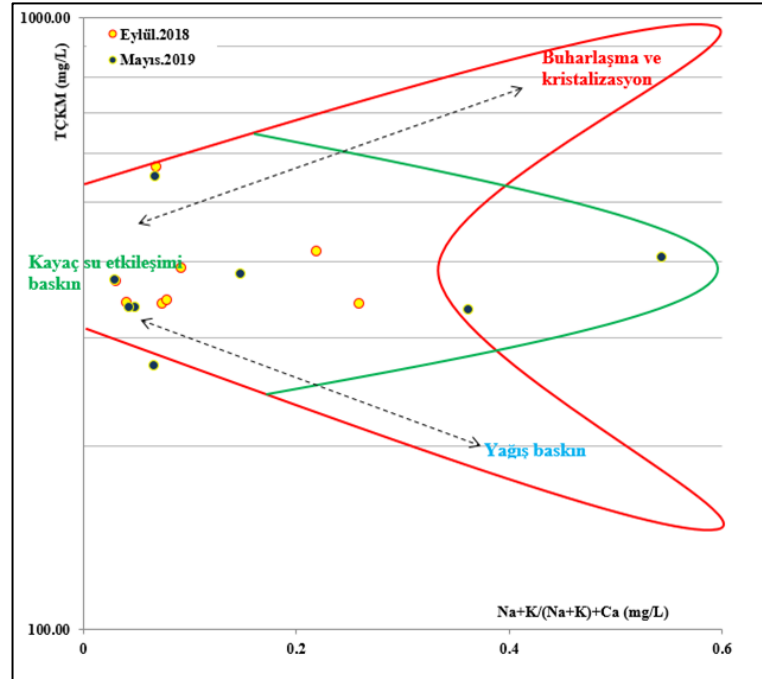


Şekil 6.10. (a) İnceleme alanındaki suların SO_4^{2-} - Cl^- grafikleri (Eylül), (b) İnceleme alanındaki suların SO_4^{2-} - Cl^- grafikleri (Mayıs).

Su kimyası değerlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılan Gibbs (1970) diyagramı, buharlaşma, yağış ve kayaç-su etkileşimi arasındaki ilişkiyi yorumlayan bir grafikdir. Gibbs diyagramı daha çok sığ dolaşım sistemine sahip su kaynaklarının değerlendirmesinde TÇKM ile hakim anyon ve katyonların birbirleri içerisindeki oranlarını karşılaştırır (Şekil 6.11 ve Şekil 6.12).



Şekil 6.11. İnceleme alanındaki suların Gibbs (1970) grafiği.



Şekil 6.12. İnceleme alanındaki suların Gibbs (1970) grafiği.

Çalışılan yeraltı sularına ait Gibbs grafiğinde sularda gözlenen anyon ve katyon içeriklerinin daha çok su kayaç etkileşimi ile baskın olarak zenginleştiği ve bu süreçte buharlaşma ve kristalizasyonun etkisinin azda olsa bulunduğu söylenebilir. Buharlaşmanın etkisini gösterdiği alanda üç örnek girmiştir. Anyonların çözünmesine bağlı olarak su kayaç etkileşiminin daha fazla olduğu görülmektedir.

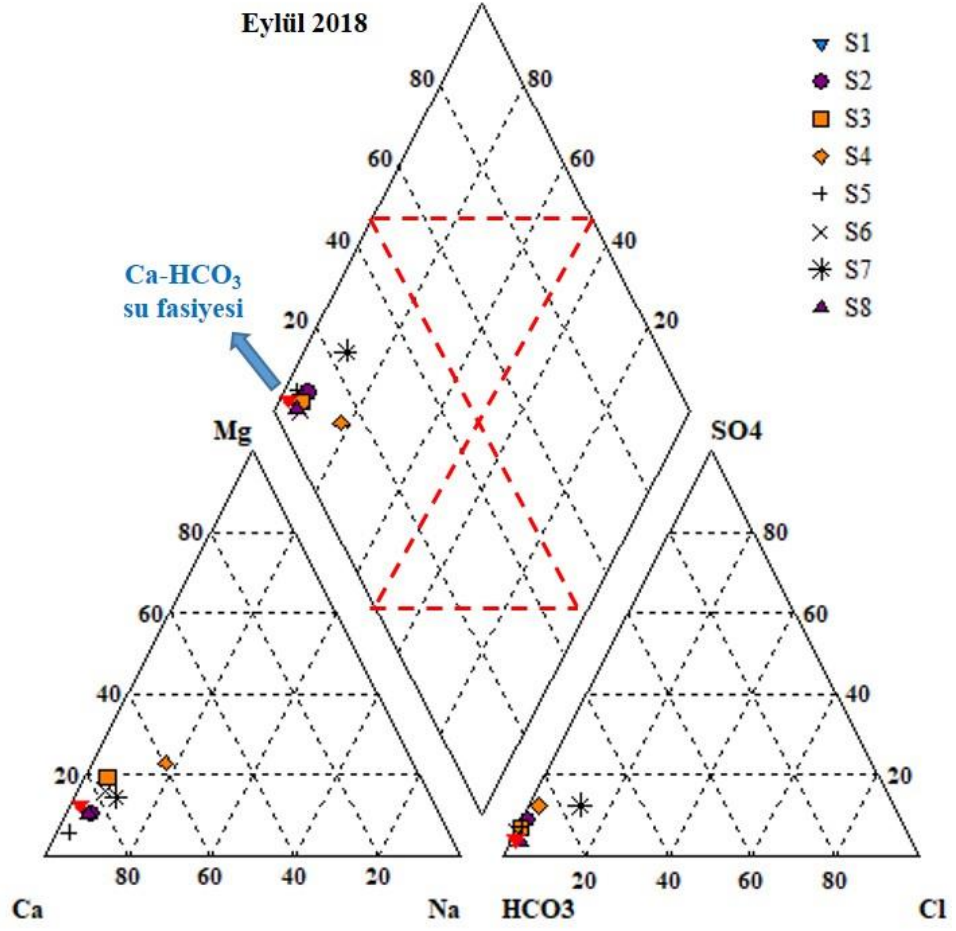
6.2.2 Suların Kimyasal Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Bu bölümde inceleme alanındaki suların litolojik ilişkileri ve dolaşım sistemi boyunca meydana gelen hidrojeokimyasal değişimleri, birden çok analizi aynı grafik üzerinde gösterilmesini sağlayan üçgen diyagram (Piper) ve yarı logaritmik (Schoeller) diyagramlar kullanılarak incelenmiştir.

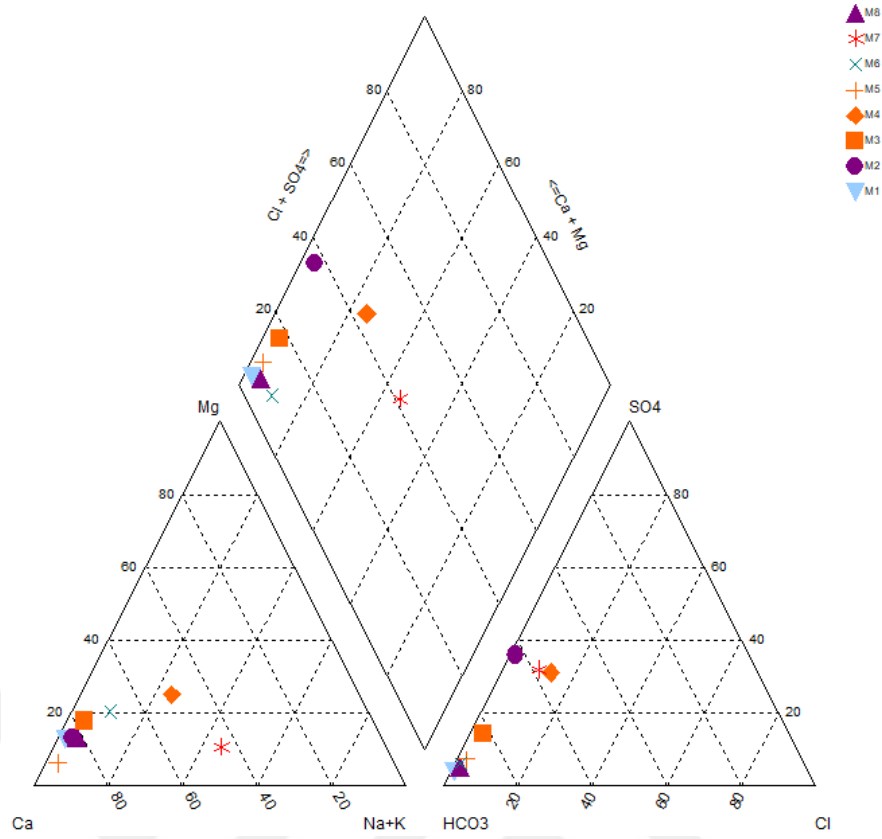
Piper diyagramı suların genel anyon-katyon içeriğini dikkate alarak su fasiyeslerinin ve kökenlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle hidrojeokimyasal açıdan farklı kökenli suların birbirleri ile etkileşimleri sonucu ortaya çıkan karışım sularının tespit edilmesinde oldukça faydalı sonuçlar verir.

Su kaynaklarının Eylül 2018 ve Mayıs 2019 örnekleme dönemlerine ait Piper diyagramları Şekil 6.13 ve Şekil 6.14’de verilmiştir. Eylül 2018 örnekleme döneminde tüm sular diyagramın 5. bölgesinde toplanmıştır. Bu sular karbonat alkalinitesi karbonat olmayan alkaliniteden fazla olan Ca-HCO_3 fasiyesine ait sulardır (Şekil 6.13).

Mayıs 2019 örnekleme döneminde tüm su kaynakları kurak dönemde olduğu gibi diyagramın 5. bölgesinde toplanmıştır (Şekil 6.14). Bu sular karbonat alkalinitesi karbonat olmayan alkaliniteden fazla karbonat sertliği yüksek Ca-HCO_3 tipli sulardır. Bu suların Ca-HCO_3 fasiyesi göstermeleri suların karbonat kökenli bir akiferden beslendiklerini gösterir. Piper diyagramı üzerinde suların aynı bölgede yoğunlaşmaları suların aynı kökenli veya benzer bir akiferden beslendiklerini ifade eder.

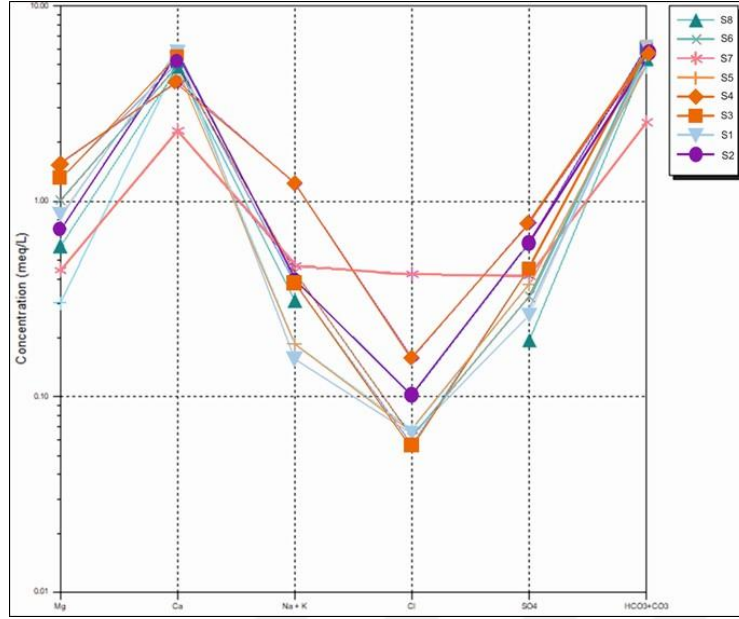


Şekil 6.13. İncelenen suların Eylül 2018 örnekleme dönemine ait Piper diyagramı.



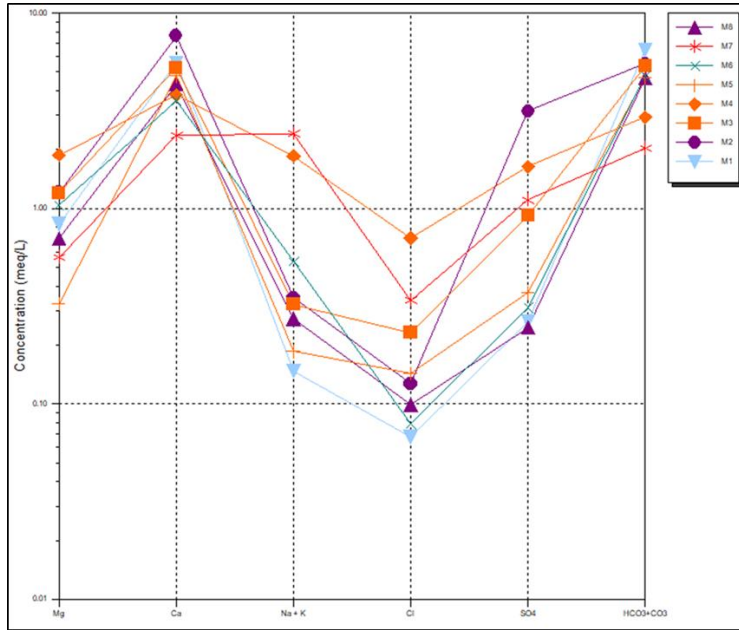
Şekil 6.14. İncelenen suların Mayıs 2019 örnekleme dönemine ait Piper diyagramı.

Schoeller diyagramı su kaynaklarının meq/L cinsinden anyon ve katyon iyon miktarlarına dikkate alınarak çizilmiştir. İncelenen sularının yarı logaritmik Schoeller diyagramındaki dağılımlarına bakıldığında S4 ile S2, S1 ile S5, S7 ile S8 ve M1 ile M4, M1 ile M3 ve M6, M5 ile M7 numaralı suların kendi aralarında benzer iyon içeriklerine sahip oldukları gözlenmiştir. Bu sular aynı havzadan beslenen aynı veya benzer kökenli yeraltı suları olma özelliği taşırlar (Şekil 6.15, Şekil 6.16). Kurak dönemde S7 ve S8, yağışlı dönemde ise M7 ve M4 numaralı suların grafiğin üst kısmında yer alması, bu suların diğer sulara oranla daha uzun dolaşım sistemine sahip olduklarını ve su kayaç etkileşimlerinin daha uzun süreli olarak gerçekleştiğini göstermektedir. Grafiğin alt kesimde kümelenen sular ise, daha genç, beslenme alanına daha yakın ve daha sık dolaşım sistemi ile temsil edilmektedir.



Şekil 6.15. Çalışma alanındaki suların Eylül 2018 örnekleme dönemine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı.

Schoeller grafiğine göre, SO_4^{-2} iyonu değerlerinin diğer iyonlara oranla en düşük değerler almadığından dolayı su kaynaklarında sülfat indirgenmesi gerçekleşmediğini göstermektedir. Bu sonuç su kaynaklarında alg veya benzeri türden bakteri faaliyetlerinin bulunmadığını ve kaynakların bakteri açısından temiz olduklarına işaret etmektedir.



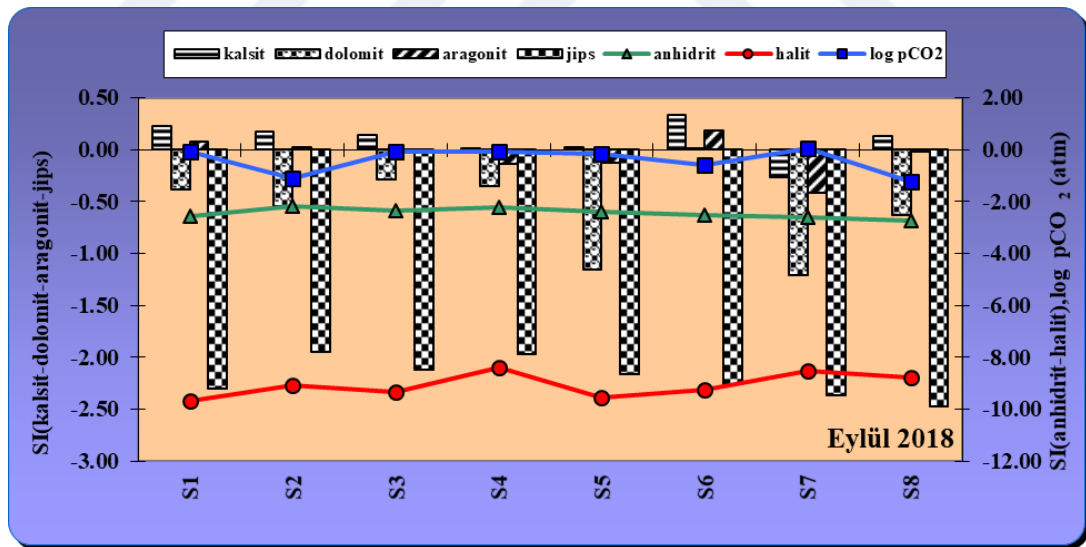
Şekil 6.16. İnceleme alanındaki suların Mayıs 2019 örnekleme dönemine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı.

6.2.2 Doygunluk indislerinin hesaplanması

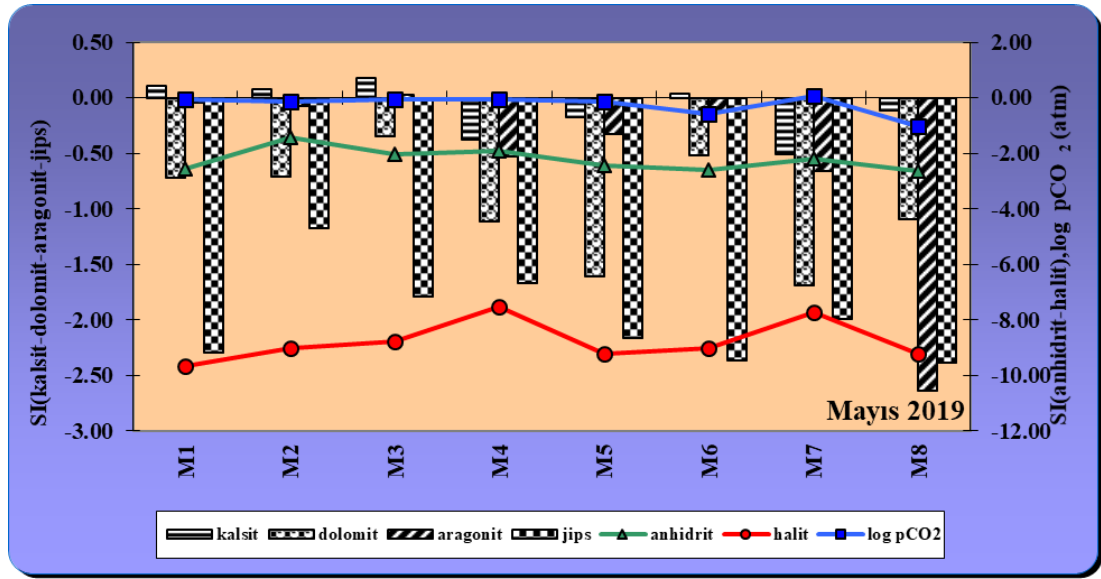
Yeraltı suyu dolaşımı sırasında akifer sisteminde suyun etkileşime girdiği kayaç, cevherli kesimlerde oluşan etkileşimler, suların dolaşımı süresince hidrojeokimyasal ortamları belirlememizi sağlar. Doygunluk indisleri sayesinde su kaynaklarının çeşitli mineraller bakımından doygunluk durumları anlaşılabilir ve çözme veya çöktürme potansiyelleri yorumlanabilir.

Çalışma kapsamında incelenen sularının anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit, jips ve halit gibi minerallerinin doygunluk durumları değerlendirildiğinde, bu suların kurak dönemde kalsit ve aragonitçe doygun olup bu mineralleri çöktürebilme, anhidrit, dolomit, jips ve halit gibi minerallerce doygun olmayıp bu mineralleri çözebilme özelliklerine sahip olduğu söylenebilir (Şekil 6.17).

Yağışlı dönemde ise su kaynakları sadece kalsit minerali için doygun olup kalsiti çöktürebilme, anhidrit, aragonit, dolomit, jips ve halit gibi minerallerce doygun olmayıp bu mineralleri çözebilme özelliklerine sahip olduğu söylenebilir (Şekil 6.18).



Şekil 6.17. Suların Eylül 2018 örnekleme dönemlerine ait doygunluk indeksleri.



Şekil 6.18. Mayıs 2019 örnekleme dönemlerine ait doygunluk indeksleri.

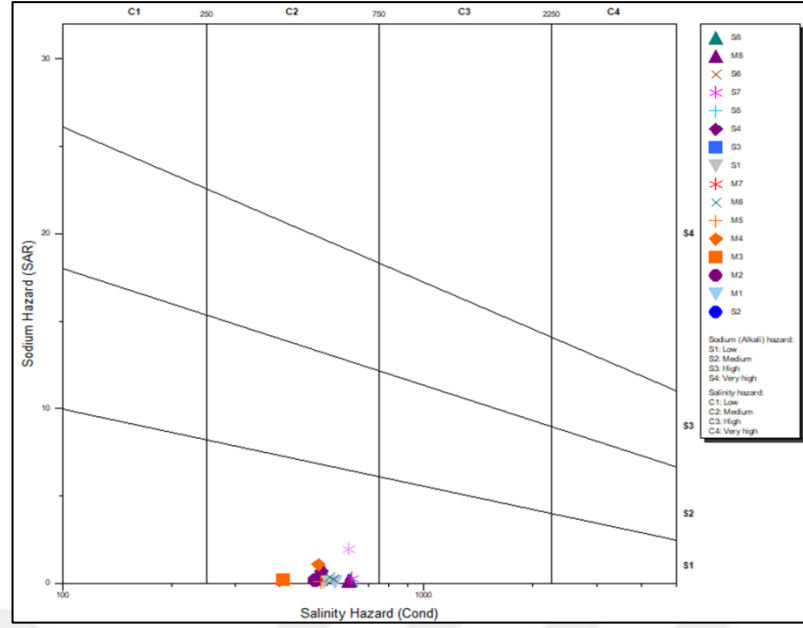
6.2.3 Suların sulama suyu özelliklerine göre sınıflandırılması

İnceleme alanında bulunan su kaynakları bölge halkı tarafından yaygın olarak içme ve sulama suyu amaçlı kullanılmaktadır. Bu nedenle, su kaynaklarının sulama suyu olarak kullanılabilirliği ABD Tuzluluk Laboratuvarı (US, 1954) ve Wilcox (1955) diyagramları kullanılarak değerlendirilmiştir.

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre yapılan sınıflamada su örneklerine ait Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve elektriksel iletkenlik değerleri kullanılmıştır (Çizelge 6.19). ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramında su kaynaklarının tamamı orta tuzlu düşük sodyumlu sular olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 6.10 ve Şekil 6.19). Sulama suyu olarak herhangi bir risk tespit edilememiştir.

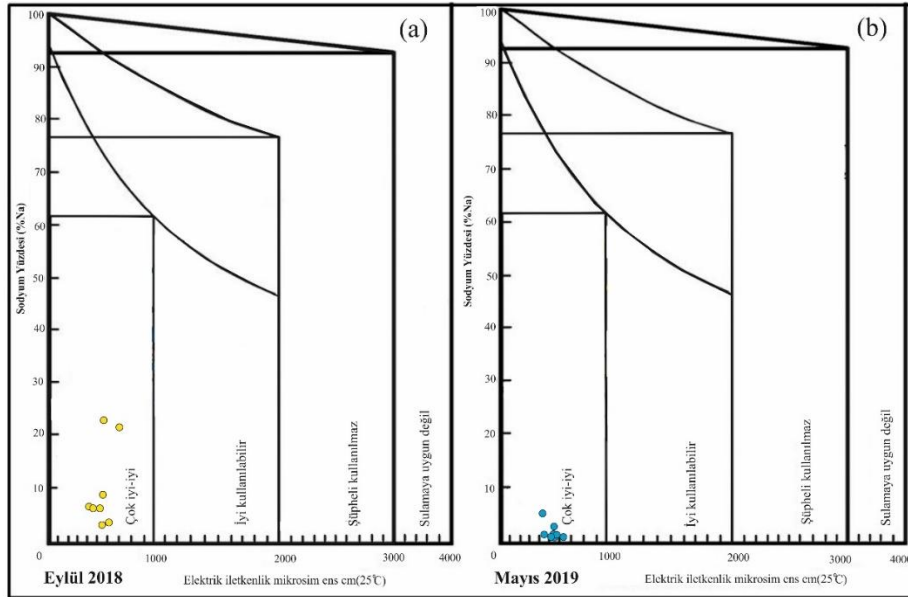
Çizelge 6.10. İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre sınıflaması (US, 1954).

Sulama suyu sınıfı	Eylül 2018	Mayıs 2019
C1-S1		
C2-S1	S1-S2-S3-S4-S5-S6-S7-S8	M1-M2-M3-M4-M5-M6-M7-M8
C3-S1		
C3-S2		
C4-S1		



Şekil 6.19. Eylül 2018 ve Mayıs 2019 dönemlerine ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı (1954) diyaqramları.

Sulama sularının kalitesini gösterir bir diğer önemli diyaqram Wilcox diyaqramıdır. Diyaqramda EC ve sodyum yüzdesi (%Na) değerleri kullanılır. Diyaqramda sulama sınıfları çok iyi, iyi kullanılabilir, şüpheli kullanılamaz ve sulamaya uygun değil olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Yağışlı ve kurak dönemlerde alınan numunelerden yapılan analiz sonuçlarına göre çizilen Wilcox diyaqramına göre çalışma alanındaki tüm sular çok iyi sulama suyu sınıfındadır (Şekil 6.20).



Şekil 6.20. (a) Eylül 2018 ve Mayıs 2019 (b) dönemlerine ait Wilcox (1955) diyaqramları.

6.2.4 Ağır metal içeriklerinin değerlendirilmesi

Ağır metal, fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm^3 den daha büyük olan ve moleküler ağırlıkları 63.5 ve 200.6 gr olan metaller için kullanılır (Duffus, 2002). Toksik maddeler ve arsenik türü metaller bakımından kirlenmiş bölgelerde yeraltı suları kirlenmesinin yanı sıra bu sulardan sulanan tarım arazileri, yetiştirilen bitkiler ve hatta balıklarda bu kirlenmeye maruz kalmaktadır (Rahman vd., 2008). Kronik arsenik ve civa zehirlenmesi genellikle kanser ve ciğer hastalıkları gibi rahatsızlıklara sebep olmaktadır (Josef vd., 2007). Bu yüzden dünya sağlık örgütü (WHO), sularda kabul edilebilir sınır değerleri belirlemiştir. Bu değerler Hg için ise $1 \text{ } \mu\text{g}$, As içinde $10 \text{ } \mu\text{g}$ üst sınır değerleridir (Duffus, 2002; Kaya, 2018).

İnceleme kapsamındaki suların ana iyonları dışında eser miktarda bulunan bazı element değerleri (Al, As, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Fe, Mo, Ni, Pb, Hg, Se, V ve Zn) Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına göre kalite kriterlerinde yer alan suların sınıflandırılmasında ki sınır değerlerle karşılaştırılmıştır (Çizelge 6.11 ve 6.12). Değerlendirme kapsamında suların tamamı I. sınıf sular yeşil, II. sınıf sular sarı, III. sınıf sular pembe, IV. sınıf sular kırmızı renkle temsil edilmiştir.

Eylül 2018 örnekleme dönemleri ağır metal içerikleri açısından değerlendirildiğinde Si değerlerinin bütün örneklerde sınır değerlerin çok üzerinde olduğu görülmektedir. Sularda gözlenen yüksek Si değerleri bölgede yer alan mafik ve meta volkanik kayaların yapısında bulunan silikatların kimyasal parçalanması sonucu zenginleşmiş olabilir. Su kaynaklarının tamamı Si ve Sb içeriği açısından II. Sınıf su kalite özelliğine sahiptir.

Eylül 2018 örnekleme döneminde Al, S7 numaralı suda sınır değerlerin ($200 \text{ } \mu\text{g Al/L}$) üzerinde saptanmıştır. Yerkabuğunda bol miktarda bulunmasına rağmen serbest halde nadir bulunan Al yüksek konsantrasyonlara maruz kalındığında sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. As açısından sadece S1 numaralı su IV. Sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir. Diğer su kaynakları ise sınır değerin ($10 \text{ } \mu\text{g As/L}$) altında kalmıştır (Çizelge 6.10).

Si yine bütün örnekleme noktalarında sınır değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. S7, Cr ve Pb açısından III. Sınıf su kalite özelliğine sahipken Si ve P'nin sınır değerleri aştığı

gözlenmiştir. S1, S7 ve S4 numaralı su kaynaklarının ağır metal değerleri açısından içme suyu olarak kullanılabilmesi sakıncalıdır (Çizelge 6.10).

Mayıs 2019 örnekleme dönemleri incelendiğinde suların benzer metal içeriklerine sahip oldukları görülmektedir (Çizelge 6.12). Si, değerleri su kaynaklarının tamamında sınır değerin üzerindedir. As açısından M1, M4 ve M6 suların IV. Sınıf su kalitesi özelliğine sahiptir. Diğer su kaynakları ise sınır değerin (100 µg As/L) altındadır (Çizelge 6.11).

Si bir önceki örnekleme dönemine benzer şekilde örnekleme noktaları sınır değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. M7, Cr ve Pb açısından III. sınıf su kalite özelliğine sahipken bir önceki dönemde olduğu gibi Si ve P'nin sınır değerleri aştığı belirlenmiştir. M1, M4 ve M6 numaralı su kaynaklarının ağır metal değerleri açısından içme suyu olarak kullanılması sakıncalıdır (Çizelge 6.11).

Eylül 2018 ve Mayıs 2019 örnekleme dönemleri ağır metal içerikleri açısından değerlendirildiğinde Si ve Sr değerlerinin bütün örnekleme noktalarında sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 6.11 ve Çizelge 6.12). Si ve Sr değerlerinin yüksek oranda görülmesinin nedeni inceleme alanında yer alan kayaçların yapısında bulunan silikatların su kayaç teması süresince yüksek oranlarda çözülmesi olabilir. Özellikle magmatik kayaçların bulundukları sahalarda Si değerleri artış göstermektedir. Bölgede yer alan hidrolik sistem içerisinde Si içeriği yüksek derin dolaşimli çözücü özelliği fazla sıcak su kaynaklarının yüzeye çıkarken hidrolik akım yolları boyunca soğuk su kaynaklarıyla karışması sonucu incelenen sular yüksek Si içeriğine sahip olabilirler.

Genel olarak değerlendirildiğinde suların mafik kayaçlarla veya bu kayaçların metamorfizması sonucu oluşmuş başkalaşım kayaçlarıyla teması sonucu çözebileceği elementlerce (Cu, Fe, Ti, Cr, Ni) zenginleştikleri belirlenmiştir. Bu sonuca dayanılarak inceleme alanında bulunan metamorfik kayaçların özellikle mafik bileşimli kayaçlar olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.11. Eylül 2018 örnekleme dönemine ait ağır metal analiz sonuçları (*=%).

ppb	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	ppb	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Ag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	Ni	1,9	0,2	0,2	4,3	0,2	2	0,2	0,2
Al	1	1	1	1	1	1	1246	0,05	P	10	10	10	10	10	10	12	12
As	596,4	0,5	4,4	76,6	0,5	87,5	1,4	1	Pb	18,2	6,5	10	3,2	8,7	0,2	9,4	9,4
Au	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,91	0,05	Pd	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
B	16	28	22	33	17	24	16	0,05	Pr	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ba	10,32	17,07	22,54	53,32	21,99	140,66	1272,56	15,94	Pt	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Be	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	Rb	0,45	0,44	0,21	2,78	0,21	0,81	0,24	0,24
Bi	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	Re	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca*	116,95	115,52	103,31	81,89	102,74	99,66	246,8	97,4	Rh	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01
Cd	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	Ru	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Ce	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	S	6	11	8	14	8	7	8	4
Cl*	1	2	1	4	1	1	17	14	Sb	2,28	0,46	0,67	3,59	0,37	1,39	16,77	0,44
Cr	18,9	18,2	19,7	16,6	15,7	17,3	41,4	14,4	Sc	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs	0,52	0,01	0,01	1,45	0,01	0,22	18,78	0,01	Se	0,5	0,7	0,8	0,9	0,7	0,5	20,9	1,8
Cu	0,2	0,8	0,3	0,5	0,2	0,2	5,7	5	Si*	4692	8560	11043	7998	6701	6326	2506	6333
Dy	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Sm	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Er	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Sn	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05	0,05	0,22	0,05
Eu	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Sr	322,47	325,81	317	400,12	247,22	302,68	2080,46	257,84
Fe	10	10	10	10	10	10	10	10	Ta	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Ga	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1,78	0,05	Tb	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Gd	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Te	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Ge	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	Th	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hf	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	Ti	10	10	10	10	10	10	10	10
Hg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Tl	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
Ho	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Tm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
In	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	U	1,85	1,13	1,49	3,02	1,08	1,9	0,02	1,52
K	0,39	0,49	0,5	0,97	0,32	0,6	0,35	0,35	V	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1,4	0,3
La	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	W	0,02	0,02	0,02	0,1	0,02	0,06	0,61	0,02
Li	6,4	4	13,2	19,2	2,9	7,9	5,9	5,9	Y	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Lu	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Yb	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg*	10,43	8,72	15,96	19,07	3,67	12,29	7,18	7,18	Zn	15,2	1,8	0,5	6,6	1	0,6	0,6	4,4
Mo	0,7	0,05	0,6	1,8	1,7	0,4	0,4	0,4	Zr	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Na*	3,35	1,6	8,45	27,74	4,1	9,63	6,91	6,91									
Nd	0,01	8,84	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01									
	I.Sınıf su					2.sınıf su					3. sınıf su					4.sınıf su	

Çizelge 6.12. Mayıs 2019 örnekleme dönemine ait ağır metal analiz sonuçları (*=%).

ppb	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	ppb	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Ag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1	Ni	1,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,2	0,2
Al	1	1	1	1	1	1	29	0,05	P	10	10	10	10	10	10	10	10
As	545,5	0,6	2,4	439,3	0,5	106,4	1,0,9	4,5	Pb	1,3	0,8	5,1	3,2	5,5	0,2	18,2	2,2
Au	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05	Pd	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
B	16	26	16	28	12	27	22	16	Pr	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ba	9,84	50,72	23,24	43,26	19,03	140,39	124,82	32,56	Pt	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Be	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	Rb	0,46	0,16	0,18	2,84	0,17	0,93	17,53	0,26
Bi	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	Re	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca*	111,355	163,42	114,98	86,18	105,94	91,48	47,35	96,67	Rh	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,06	0,01
Cd	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	Ru	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Ce	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	S	7	54	17	29	9	8	19	6
Cl*	2	3	2	25	2	1	10	3	Sb	2,38	0,36	0,55	0,53	0,28	1,58	7,63	0,22
Cr	12,8	13,9	14,1	11,7	10,5	11,6	16,7	11,7	Sc	1	1	1	2	1	1	1	1
Cs	0,43	0,01	0,01	0,31	0,01	0,20	1,51	0,01	Se	0,5	1,2	1,5	0,5	0,9	0,5	96,1	0,5
Cu	0,3	1,6	0,5	0,6	0,3	0,3	0,6	0,8	Si	5272	8417	9763	14199	7999	7432	5907	6810
Dy	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Sm	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Er	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Sn	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,22	0,05
Eu	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Sr	296,04	445,51	327,30	445,19	256,03	302,81	320,65	308,06
Fe	10	10	10	10	10	10	10	10	Ta	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Ga	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1,78	0,05	Tb	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Gd	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Te	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Ge	0,05	0,05	0,05	0,17	0,05	0,05	0,05	0,05	Th	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hf	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	Ti	10	10	10	10	10	10	10	10
Hg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Tl	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
Ho	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Tm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
In	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	U	0,69	1,53	2,60	0,88	0,73	1,82	0,88	2,42
K	0,35	0,09	0,29	1,37	0,33	0,61	2,89	0,34	V	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2,1	0,3
La	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	W	0,02	0,02	0,02	0,12	0,02	0,06	0,09	0,02
Li	6,6	3,3	10,8	18,7	3,0	8,5	9,00	6,9	Y	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Lu	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	Yb	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg*	10,13	14,66	14,60	22,84	3,98	12,62	6,83	8,54	Zn	7,4	1,3	0,5	1,00	0,5	0,6	1,8	1,2
Mo	0,8	1,2	0,8	1,6	0,8	0,7	1,8	0,8	Zr	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Na*	3,18	7,96	7,27	41,49	4,09	11,91	5,67	6,00									
Nd	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01									
I.Sınıf su					2.sınıf su					3. sınıf su					4.sınıf su		

Çizelge 6.12 incelendiğinde Si ve Sr elementlerinin bütün örnekleme dönemleri boyunca tüm su kaynaklarında sınır değerlerin üzerinde konsantrasyona sahip oldukları görülmektedir. Kurak dönemde S1’de Si ve Sr yanı sıra As ve Zn da sınır değerlerin üzerinde zenginleşmiştir. S7 ise Al, Ba ve Sb elementlerinde sınır değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Yağışlı dönemde M1, M4 ve M6 da Si, Sr ve As sınır değerlerin üzerinde ölçülmüştür. Bu dönemde M7 de Si ve Sr yanı sıra Pb da sınır değerlerin üzerinde tespit edilmiştir (Çizelge 6.13).

Çizelge 6.13. Su kaynaklarında sınır değerlerin üzerinde gözlenen ağır metaller.

Su kaynağı	Eylül 2018	Mayıs 2019
S1/M1	Si, Sr, As, Zn	Si, Sr, As
S2/M2	Si, Sr,	Si, Sr,
S3/M3	Si, Sr,	Si, Sr,
S4/M4	Si, Sr,	Si, Sr, As
S5/M5	Si, Sr,	Si, Sr,
S6/M6	Si, Sr,	Si, Sr, As
S7/M7	Si, Sr, Al, Ba, Sb	Si, Sr, Pb
S8/M8	Si, Sr,	Si, Sr,

Özellikle madenlerin ve cevherleşmelerin yoğun olarak gözlemlendiği inceleme alanında kısa süreli su kayaç etkileşiminin bir sonucu olarak su kaynakları, ağır metal içerikleri açısından zenginleşebilmektedir. Özellikle As, Zn ve Pb gibi oldukça toksit ağır metallerce zenginleşmiş S1, S7, M4 ve M6 su kaynaklarının ekosistem içerisinde yaşayan canlılar tarafından içme suyu olarak uzun süreli kullanımı, canlılar açısından yüksek risk teşkil edebilecektir (Çizelge 6.14).

Çizelge 6.14. Yürürlükte olan su standartları (TKKY, 2005).

Parametre	Türk Standartları TSE 2004	Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 1999 Birincil Standartlar İnorganik Maddeler (mg/l)	ABD Çevre Ajansı (EPA) 2002	Avrupa Birliği (EC) 1999
Al	0,20	0,20	0,20	0,2
As	0,10	0,01	0,01	0,01
Ba	0,30	0,70	1,00	-
Cd	0,1	0,01	0,01	0,005
Cr	0,05	0,05	0,05	0,05
F	1,50	1,50	0,7-2,4	1,5
Pb	0,05	0,05	0,05	0,01
Hg	0,01	0,001	0,002	0,001
NO ₃ ⁻	50,00	50,00	45,00	50
Se	0,01	0,01	0,01	0,01
Ag	0,01	-	0,05	-
Sb	0,01	0,05	0,006	0,005
Be	-	-	0,04	-
İkincil Standartlar (mg/l)				
Cu	3,0	-	1	-
Fe	0,2	-	0,3	-
Mn	0,1	0,5	0,05	200
Ph	6,5-9,2	6,5-8,5	6,5-8,5	-
SO ₄ ⁻²	250,0	250,00	250	0,5
TDS	1500,00	1000	500	
Zn	5	-	5	
İlave Parameteler (mg/l)				
Ca	200	-	-	-
Mg	50	-	-	-
Na	175	200	-	200
K ⁺	12	-	-	-
NH ₄ ⁻	0,5	1,5	-	0,5

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma alanının temelini kireçtaşı ve yer yer dolomitleşmiş mermerlerden oluşan Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler (Bozdağ Formasyonu) oluşturur. Bu birimin üzerinde meta-çört, meta-kumtaşı, kuvarsit, fillat ve şistler yer alır. Temel birimler, Triyas yaşlı yer yer foliasyona uğramış Karadağ metamağmatikleri tarafından açısal uyumsuzlukla üzerlenir.

Paleozoyik yaşlı mermerlerin ve kireçtaşlarının düşey yönde gelişen çatlaklı, kırıklı ve karstik boşluklu kısımları hidrojeolojik açıdan geçirimlidir. Triyas yaşlı Kara Tepe metavolkanikleri geçirimsiz olmakla beraber, bölgede gelişen tektonik hareketler sonucu kırılğan bir yapı kazanmıştır. Birim kırıklı ve çatlaklı üst kuşaklarda geçirimlidir ve bölgede düşük verimli akiferleri oluşturur.

Su kaynaklarına ait bazı fiziksel ve kimyasal parametrelerin değerleri; pH 7,07-7,40, elektriksel iletkenlik (EC) 408 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 632 $\mu\text{S}/\text{cm}$, toplam çözünmüş katı madde (TÇKM) 270 mg/L - 570 mg/L, toplam sertlik 104,61 mg/L - 430,03 mg/L arasında değişmiştir.

Su kaynakları daha çok kırık ve çatlaklı üst kuşaklardan yağış suları ile beslenen beslenen, su-kayaç temas süreleri kısa, sık dolaşım sistemine sahip yeraltı sularıdır.

Su kaynakları pH değerlerine göre zayıf çözücü, kabuklaştırıcı, düşük bazik özelliğe sahiptir. Kurşunlu köyü civarında pH değerlerinin daha yüksek, doğusundaki Bahçesaray köyü kesimlerde ise pH değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre su kaynakları pH, EC ve TÇKM özellikleri açısından I. kalite iyi-çok iyi su sınıfına sahiptir. Kurak dönemde S7, yağışlı dönemde M2-M3-M4-M5-M6-M7-M8 sert sular, diğer sular ise çok sert su olarak sınıflandırılmıştır. Su kaynakları üzerinde karbonatlı kayalar etkindir ve su kaynaklarında karbonat sertliği tanımlanmıştır.

Su kaynaklarının tamamında her iki örnekleme döneminde hakim katyon Ca^{+2} , hakim anyon ise HCO_3^- dir. S7 haricinde su kaynaklarının tamamında Mg^{+2} ikinci hakim katyon durumundadır. İnceleme alanındaki su kaynaklarının tamamı hidrojeokimyasal açıdan Ca-HCO₃ su fasiyesi özelliğine sahiptir. Örnekleme dönemleri boyunca su

fasiyes tiplerinde değişiklik olmamıştır. Genel olarak Ca^{+2} , Mg^{2+} ve HCO_3 iyonları daha fazla çözünmüş ve baskın duruma geçmişlerdir. Su kaynaklarının akifer kayaları özellikle kireçtaşı, dolomit, mermer gibi karbonat kökenli kayalardır. Su kaynaklarının tamamı aynı kökenli veya benzer karbonat kökenli bir akiferden beslenmektedir.

Su kaynaklarının sıcaklık, HCO_3^- ve TÇKM değerlerinin yağışlı dönemde düşme eğilimi göstermeleri dikkate alındığında, su kaynaklarının yağışlı dönemde sıcaklığa ve seyreilmeye bağlı olarak çözme yetenekleri azalmıştır.

Su kaynakları genel olarak kurak dönemde kalsit ve aragonitçe doğun olup bu mineralleri çökeltebilme, anhidrit, dolomit, jips ve halit gibi minerallerce doğun olmayıp bu mineralleri çözebilme özelliklerine sahiptir.

Su kaynakları her türlü bitki, sebze ve meyvenin sulanabilmesi için iyi-çok iyi sulama suyu kalitesine sahiptir.

Su kaynaklarının tamamı Si ve Sr ağır metal elementlerince zenginleşmiştir. S1, S7, M4 ve M6 aynı zamanda sınır değerlerin üzerinde As, Zn ve Pb gibi oldukça toksit ağır metaller içerir. Bu su kaynaklarının ekosistem içerisinde yaşayan canlılar tarafından içme suyu olarak uzun süreli kullanımı, canlılara zarar verebilecektir.

İnceleme alanındaki kaynak sularında Al, As, Cu, Hg, Pb, Zn, Sb ve Sr kirliliği gözlenmiştir. Arsenik ve Hg zehirlenmesi kanser, melanosiz, hiperkeratozis ciğer hastalıkları, kankren, hipertansiyon gibi pek çok ciddi rahatsızlıklara neden olmaktadır (Josef vd., 2007).

İncelenen su kaynaklarının yöre halkı ve diğer canlılar tarafından içme suyu olarak kullanılmaması için kamu kurum ve kuruluşları bilgilendirilmeli, bu kuruluşların önlem alınması sağlanmalıdır. Su kaynaklarının belirli bölgelere yapılacak kapalı sistem havuzlarda toplanarak, sulama suyu olarak daha verimli bir şekilde kullanılması, yörenin ekonomisi ve kaynakların sürdürülebilir devamı açısından sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Alloway, B.J.,1990. Heavy metals in soils, Glasgow: Blackie Academic & Professional Basımevi, Glasgow.
- Akçay, M., 1998. Lâdik-Sızma (Konya) civa yatakları çevresinde element dağılım profilleri ve altın-gümüş ve baz metal potansiyeli, 32. TJK, Ankara, Kongresi, Bildiriler Kitabı, 41, 37-47.
- Aydın, Y., 1996. Karadağ-Sızma (Konya) yöresindeki mavişist metamorfizmasının kökeni, 30. TJK, Kongresi, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 1, 186-194.
- Aygen, T., 1956. Balya bölgesi jeolojisinin incelenmesi, MTA Dergisi, Ankara.
- Bayari, S., Ozyurt, N. ve Kilani, S., 2009. Radiocarbon age distribution of groundwater in the Konya closed basin, Turkey Hydrogeology Journal, Ankara, 9, 347-365.
- Barnes, J.W., Nackowski, M.P. ve Bailey, E.H., 1971. Geology and ore deposits of the Sızma-Lâdik mercury district, CENTO, Cenova, 3, 53-63.
- Baykal, H. ve Baykal, T., 2008. Küreselleşen dünya’da çevre sorunları, MKÜ Basımevi, Hatay.
- Borand, M., N. 2012. Açık ve kapalı maden işletmeciliğinde çevresel etki, Doktora Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Brooks, W. E., Öztürk, H. Ve Cansu, Z., 2017. Amalgamation and Small- Scale Gold Mining at Ancient Sardis, Turkey, Archaeological Discovery Paper, Ankara, 5, 42-59.
- Çağatay, A., 1980. Batı Anadolu kurşun-çinko yataklarının Jeoloji-Mineroloji Etüdü ve Kökeni hakkında görüşleri, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Ankara, 3, 119-132.
- Çelik, M. ve Arslan, M., 1994. The chemistry of Illite minerals in the vicinity of mercury deposits (Sızma-Konya), 3. TJK, Ankara, 3, 17-23.
- Demirkol, C., Sipahi, H., Barka, A., Sönmez, Ş. ve Çiçek, S., 1977. Sultandağı’nın stratigrafisi ve jeolojik evrimi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, Ankara, Bildiriler Kitabı, 12, 520-630.
- Doğan, A., 1975. Sızma-Ladik (Konya) Civa Sahasının Jeolojisi ve Maden Yatakları Sorunlarının İncelenmesi, İ.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doğan, U., Koçyigit, A. ve Wijbrans, J., 2009. Kizilirmak nehri'nin evrimsel tarihi, 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Bildiriler Kitabı, 1, 806-807.

- Doğan, U., 2010. Fluvial response to climate change during and after the Last Glacial Maximum in Central Anatolia, Turkey. *Quaternary International*, Ankara, 1, 221–229.
- Doğan, U., 2011, Climate-controlled river terrace formation in the Kızılırmak Valley, Cappadocia section, Turkey: Inferred from Ar–Ar dating of Quaternary basalts and terraces stratigraphy. *Geomorphology*, 126, 66–81.
- Dirik, K. ve Göncüoğlu, M.C., 1996. Neotectonic characteristics of the Central Anatolia, *International Geology Reviews*, 23, 807-817.
- Dirik, K. ve Oğuz, E., 2000. Tuz Gölü ve civarının tektonomorfolojik evrimi. *Orta Anadolu-Türkiye*, T.P.J.D, Ankara, *Bildiriler Kitabı*, 2 27-46.
- Duffus, J.H., 2002. Heavy Metal-A Meaningless Term *Pure and Applied Chemistry*, 74, 793-807. <http://dx.doi.org/10.1351/pac/2002/74050793/research.pdf> *sequence*, Erişim tarihi: 10.06.2020.
- Eren, Y., 1993. Eldeş–Derbent–Tepeköy–Söğütözü (Konya) Arasının Jeolojisi, S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Fetter, C.W., 1988. *Applied Hydrogeology*, Second Edition, Merrill Publishing, Columbia.
- Güler, C., Kaplan, V. ve Akbulut, C., 2013. Spatial distribution patterns and temporal trends of heavy-metal concentrations in a petroleum hydrocarbon-contaminated site, *Environmental Earth Sciences Reviews*, 29, 943-962.
- Güngör, T., 2013. Kinematics of the central taurides during neotethys closure and collision, the nappes in the sultan mountains, *International Journal of Earth Science Reviews*, 16, 1381-1402.
- Hall, G.E.M., Vaive, J.E., Coope, J.A. ve Weiland, E.F., 1989. Bias in the analysis of geological materialc for gold using current methods, *Geochem Explor Reviews*, 34, 157- 171.
- Hem, J., 1985. Study and interperation of the chemical characteristics of natural water, *USGS Water Supply Reviews*, 254, 263-268.
- Josef, G., Thundiyil, Yuan Y., Smith A.H. ve Steinmaus C., 2007. Seasonal variation of arsenic concentration in wells in Nevada, *Environ Res Reviews*, 52, 367- 373.
- Kaaden, W. G., 1966. The significance and distribution of glaucophane rocks in Turkey, *Maden Teknik ve Arama Bülteni*, *Bildiriler Kitabı*, 36-67.
- Kavurmacı, M. 2016. Evaluation of groundwater quality using a GIS-MCDA-based model: a case study in Aksaray, Turkey. *Environ Earth Sci*, 75, 1258-1262.
- Kaya, T., 2018, Tarihi Sızma- Lâdik (Konya) Hg Madeni ve Bölgedeki Atıkların Çevreye Etkisinin İncelenmesi, OHU., Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. M.T.A. Dergisi, Bildiri Kitabı, 23-34.
- Kurt, H., 1994. Petrography and Geochemistry of the Kadınhanı (Konya) Area, Central Turkey, Glasgow Univ., PhD Thesis, Glasgow.
- Koçyiğit, A., 2003. Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri ve depremselliği, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, Bildiriler Kitabı, 1-25.
- Kovenko, V., 1939. Konya mıntıkasındaki Sızma köyü cıva madeninde yapılan gezintiye dair kısa not, MTA Dergisi, Bildiri Kitabı, 9, 919-925.
- Lefebvre, C., Meijers M.J.M, Kaymakçı, N., Peynircioğlu A.A., Langereis C.G ve Van Hinsbergen D.J., 2006, Reconstructing the geometry of central Anatolia during the late Cretaceous: Large-scale Cenozoic rotations and deformation between the Pontides and Taurides. Earth and Planetary Science Reviews, 21, 258-296.
- Pılz, R., 1937. Konya- Sızma cıva ve bakır madenleri hakkında rapor, MTA Dergisi, Bildiri Kitabı, 12, 544-568.
- Piper, A. M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Am. Geophys. Union 25, 914-928.
- Rahman M.A., Hasegawa H., Rahman M.M., Miah M.A.M. ve Tasmin A., 2008. Arsenic accumulation in rice, Ecotox and Environ Safety Reviews, 69, 317–324.
- Saçlı, A., 2009. Uluslararası çevre politikaları çerçevesinde çevre-teknoloji ilişkisi, Doktora Tezi, AÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sharpless, F.F., 1908. Anadolu Konya cıva madenleri, MTA Dergisi, Bildiri Kitabı, 23, 542-552.
- Şener, E., Davraz, A., 2013. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC Model, GIS and an Analytic Hierarchy Process (AHP) method: the case of Egirdir Lake Basin (Isparta, Turkey). Hydrogeology Journal, 21, 701-714.
- Taylor, J.K., 1987. Quality assurance of chemical measurements, Second Edition, Scrott Book Co, London, UK.
- TKKY, 2005. T.C. Resmi Gazete, 1615 sayılı gümrük yönetmenliğinin Toprak Kirliliğinin Kontrolü (TKKY) yönetmelik. (25831), 31.06.2005, 21.
- Türker, H.Ö., 2006. Sarıkaya (Yozgat) sıcak ve mineralli sularının hidrojeokimyasal incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, HÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Üstündağ, A., 1987. Sızma-Kurşunlu-Meydan-Bağrıkurt köyleri arasında karadağ çevresinin jeolojisi, Yüksek Lisans Tezi, S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Who/Unicef 2012, Estimated with data from Who/Unicef Joint Monitoring Programme (JMP) for Water Supply and Sanitation. Progress on Sanitation and Drinking-Water.

Wiesner, K., 1968. Konya civa yatakları ve bunlar üzerindeki etüdler: MTA Dergisi, Bildiri Kitabı, 70, 178-214.

Wilcox, L.V., 1955. Classification and use of irrigation water. Third Edition, US Geological Department, Agri Circ Book Co.. Utah, USA.

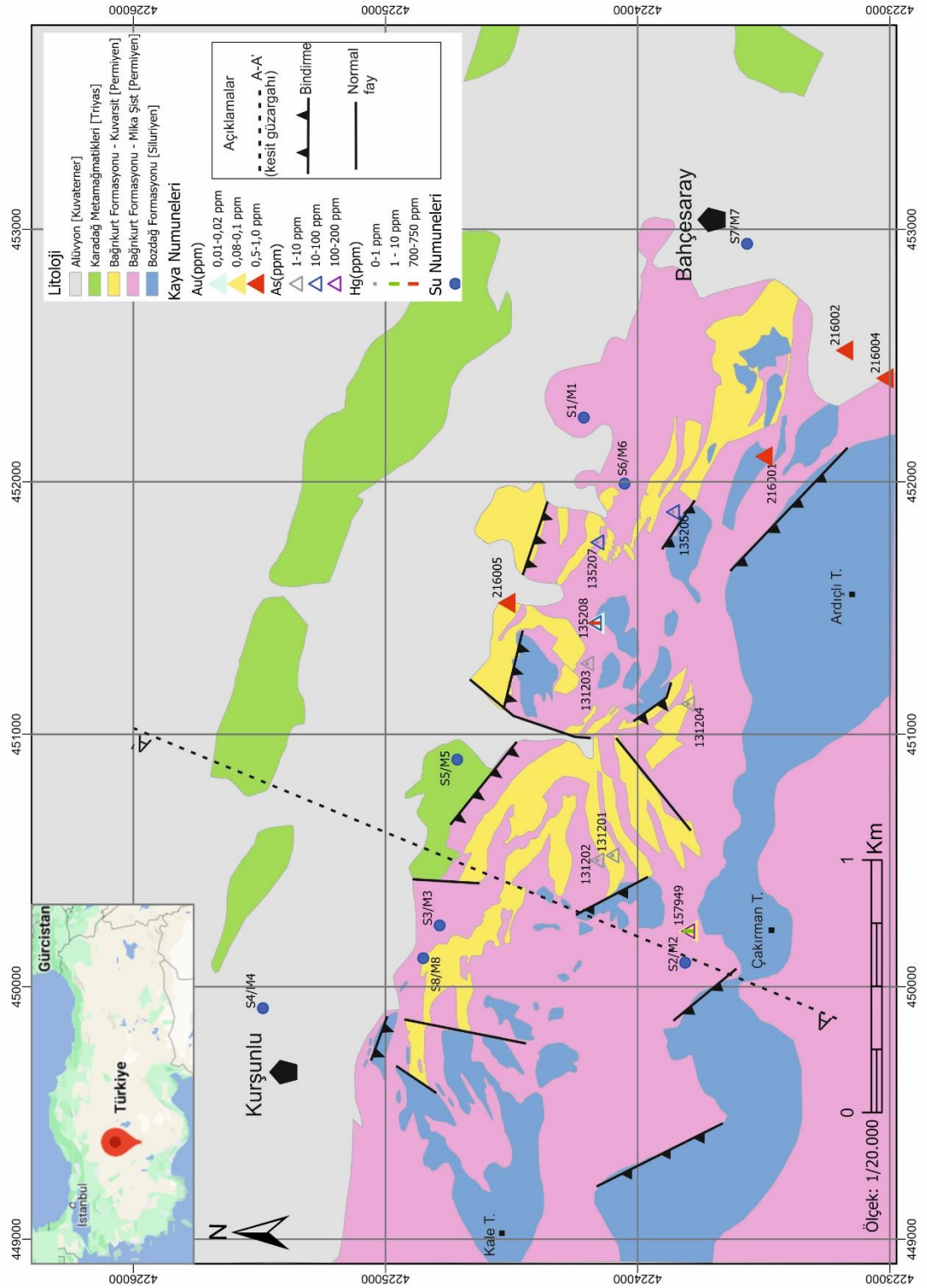
Yıldız, M., 1978. Türkiye'de bazı civa madenlerinin oluşum ve mukayesesi, MTA Dergisi, Ankara.

Yıldız, M ve Edgar H. Bailey., 1978. Mercury Deposits in Turkey,.Geological Survey Bulletin United States Government Printing Office, Washington., USA.



EKLER

EK A. Çalışma alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Nejla Ömür BOZAN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği
Bölümü, 1999-2014

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim
Dalı, 2017-2020.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. TÜİK Balıkesir Bölge Müdürlüğü/Jeoloji Mühendisi