

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BAĞIN (PALU-ELAZIĞ) KROM YATAĞI ÇEVRESİNDEKİ
SULARIN AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Neccar AKKAYA

Yüksek Lisans Tezi

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OCAK 2025

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**BAĞIN (PALU-ELAZIĞ) KROM YATAĞI ÇEVRESİNDEKİ SULARIN
AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Tez Yazarı
Neccar AKKAYA

Danışman
Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ

OCAK 2025
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Bağı (Palu-Elazığ) Krom Yatağı Çevresindeki Suların Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi

Yazarı: Neccar AKKAYA

İlk Teslim Tarihi: 17.01.2025

Savunma Tarihi: 31.01.2025

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	İmza Onayladım
Başkan:	Doç.Dr. Ayşe Didem KILIÇ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Özlem ERDEM Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Bağın (Palu-Elazığ) Krom Yatağı Çevresindeki Suların Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

31.01.2025

Neccar AKKAYA



ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasının gerçekleştirilmesinde değerli bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, güler yüzü ve samimiyetiyle kıymetli zamanını ayırıp sabırla dinleyen, her türlü konuda varlığını, sevgisini ve desteğinin benimle olacağına inandığım danışman hocam Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ' a teşekkürü bir borç bilirim. Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF.24.33 protokol numaralı proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı FÜBAP yönetimine teşekkür ederiz.

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve hayatımın her aşamasında yanımda olup bana güç veren değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Neccar AKKAYA

ELAZIĞ, 2025

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	2
1.2. İnceleme Alanının Konumu ve Coğrafik Özellikleri	2
2. MATERYAL VE METOD	8
2.1. Çalışma alanı	8
2.2. Cevherleşmeler	8
2.3. Çalışma Yöntemleri	9
3. HİDROLOJİ	13
4. SULARIN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	18
4.1. Suların Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi	18
4.2. Suların Kimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi	20
4.3. Suların Kimyasal Özelliklerine Göre Sınıflandırılması	26
4.4. Suların Sulamada Kullanım Özelliklerine Göre Sınıflandırılması.....	26
5. SUDA AĞIR METAL DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ	30
6. HİDROJEOLojİK SİSTEM VE RİSK ETMENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	35
6.1. Yerel Hidrojeolojik Sistem	35
6.2. Hidrojeolojik Risk Etmenlerinin Maden Üretimi Açısından Değerlendirilmesi	37
7. SONUÇLAR.....	39
KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Bağın (Palu-Elazığ) Krom Yatağı Çevresindeki Suların Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi

Neccar AKKAYA

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2025, Sayfa: ix + 41

Bu çalışma, Elazığ İli Palu ilçesi krom yatakları çevresindeki yeraltı ve yüzey sularındaki başlıca anyon ve katyonlar ile çeşitli ağır metal düzeylerinin belirlenmesini incelemiştir. Bu kapsamda Bağın krom sahası çevresinde gözlenen dereler, galeriler ve kaynak sularından 2024-Agustos ayında su örnekleri toplanmıştır. Bu örneklerde çok sayıda anyon+katyon analizleri ve beraberinde çeşitli iz element analizleri yaptırılmıştır. Alınan su örneklerinin anyon+katyon analizleri Elazığ İl Özel İdaresi Analiz laboratuvarında iyon analizöründe, iz element analizleri ise Acme (Kanada) ve YEBİM (Ankara Üniversitesi) Analiz Laboratuvarı'nda ICP-MS'de yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre yöredeki suların sınıflaması yapılmış ve buna göre bölgedeki suların Mg^{+2} , Ca^{+2} ve HCO_3^- 'ca zengin sular olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada, bölgedeki suların ağır metal seviyeleri kirlilik kriterleri açısından değerlendirilmiştir. Bölgedeki sulara 59-284 ppb Al, 0.7-2.5 ppb As, 7-223 ppb B, 29-58 Ba, 23.1-41 ppm Ca, 7.75-8.01 ppm Cl, 0.08-0.81 ppb Co, 2.2-9.1 ppb Cr, 2.4-6.5 ppb Cu, 20-388 ppb Fe, 0.26-0.45 ppm K, 0.1-1.1 ppb Li, 3.87-26.1 ppm Mg, 3-53.4 ppb Mn, 1.31-2.67 ppm Na, 0.3-16.2 ppb Ni, 4-5.3 ppm Si, 57-128 ppb Pb, 78-166 ppb Sr ve 11.9-25 ppb Zn içerdiği saptanmıştır. Bu sulardaki ağır metal seviyeleri, Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın içme suyu standartlarının altında değerler bulunmuştur. Yöredeki yüzey ve yeraltı suları, bölgedeki yoğun madencilik faaliyetlerine karşın bölgede herhangi bir ağır metal kirliliği anomalisi saptanmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüzey ve yeraltı suları, Elazığ, Palu, ağır metal kirliliği

ABSTRACT

Investigation of heavy metal pollution in the waters around the Bağın (Palu-Elazığ) chrome deposit

Neccar AKKAYA

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

January 2025, Pages: ix + 41

In this study, it was aimed to investigate the heavy metal pollution in the surface and underground waters around the chrome deposits of the Alacakaya district of Elazığ. In this context, the water samples were collected from streams, galleries and spring waters observed in the region in July, 2021. A large number of both cation and anion analyzes were performed on these samples. The anion analyzes of the water samples taken were done in the ion analyzer in the Elazığ İl Özel İdaresi Analysis Laboratory, and the cation analyzes were performed in the ICP-MS in the Acme (Canada) and YEBİM (Ankara University) Analysis Laboratories. According to the results of this analysis, the waters in the region were classified and according to this, the waters in the region were classified as Mg^{+2} , Ca^{+2} and HCO_3^- rich waters. In this study, heavy metal levels of the surface and underground waters in the region were evaluated in terms of pollution criteria. In the waters in the region, it was detected an average of 24.9 ppb Al, 0.6 ppb As, 13 ppb B, 40.7 Br, 15.6 ppm Cl, 0.04 ppb Co, 8.6 ppb Cr, 12 ppb Fe, 28.08 ppm Mg, 3.71 ppm Na, 0.81 ppb Ni, 4832 ppb Si, 0.03 ppb Pb, 21.9 ppb Sr, 0.03 ppb U and 1.85 ppb V. All of these waters were found to have values below the WHO's drinking water standards. No heavy metal pollution has been detected in the surface and underground waters of the region, despite the intense mining activities in the region.

Keywords: Elazığ, Palu, heavy metal pollution, surface and underground waters

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1.	İnceleme alanının yer bulduru haritası 3
Şekil 1.2.	Bağın krom ruhsat sahasının kapsadığı alanın uydu görüntüsü 4
Şekil 1.3.	İnceleme alanının aylara göre yıllık yağış haritası (Yağış değerleri Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır)..... 5
Şekil 1.4.	İnceleme alanının aylara göre yıllık sıcaklık ortalama değerleri (Veriler Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır). 6
Şekil 1.5.	Çalışma alanındaki belli başlı yükselti ve dere yataklarının haritada görünüşleri..... 7
Şekil 2.1.	Alacakaya krom yataklarının jeoloji haritası (Engin vd., 1983'den). 10
Şekil 2.2.	Bağın krom ocağının çevresinde su örnekleri alınan yerlerin 1/25.000 ölçekli topografik harita üzerinde gösterilmesi. 10
Şekil 2.3.	Bağın krom ocağının uzaktan görünüşü..... 11
Şekil 2.4.	Bağın krom ocağı ana galerinin görüntüsü. 12
Şekil 3.1.	Bağın krom ocakları ve çevresi için Thornthwaite yöntemine göre hazırlanmış yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (Güven, 2013). 15
Şekil 3.2.	İnceleme alanı 2 nolu örnek alım noktasındaki derenin görüntüsü 17
Şekil 3.3.	5 nolu örnek alım noktasına ait derenin görüntüsü 17
Şekil 4.1.	Bağın Krom ocağı çevresindeki akarsu, su akı yönleri ve örnekleme noktaları. 18
Şekil 4.2.	İncelenen sulara ait anyon ve katyon değişim histogramı..... 21
Şekil 4.3.	İnceleme alanındaki suların Piper diyagramı üzerindeki dağılımı 27
Şekil 4.4.	Alacakaya Bağın Bölgesi'ndeki sularının yarı logaritmik Schoeller diyagramları 27
Şekil 4.5.	İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı..... 28
Şekil 4.6.	İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagramı..... 29
Şekil 6.1.	Ana galeri boyunca dışarı atılan suyun galerideki görüntüsü 36
Şekil 6.2.	Ana Galerisi içerisinden dışarı atılan suyun galerideki görüntüsü..... 36

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Bağın Krom Ocağı çevresi 1991-2013 yılları arasındaki nem bilançosu değerleri (Thornthwaite formülüne göre hesaplanmıştır) (Güven, 2013'den alınmıştır).	14
Tablo 4.1. Çalışma alanındaki suların fiziko-kimyasal parametre değerleri ve bu suların bazı anyon ve katyon analiz sonuçları	22
Tablo 4.2. Toplam sertlik derecelerine göre suların sınıflandırılması.....	23
Tablo 4.3. Sularda bulunan iyonların dizilimleri ve su tipleri.....	23
Tablo 5.1. Çalışma alanındaki su örneklerinin hem ACME (A), hem de YEBİM'deki (B) ICP-MS cihazında ölçülen iz element analiz sonuçları.....	31

1. GİRİŞ

Yeryüzünün % 70'i suyla kaplı olmasına rağmen bunun sadece % 3'ü tatlı sulardan oluşmaktadır. Bu suyun temin edildiği doğal kaynaklar (göller, bataklıklar, nehirler, yer altı suları) içme suyu, tarım, sanayi ve enerji üretimi dahil olmak üzere çeşitli amaçlarla kullanıldıktan sonra farklı tipte ve değerde üretilen arıtılmamış veya uygun şekilde işlenmemiş atık su deşarjlarıyla sürekli kirletilmektedir (Islam vd., 2017). Bu kirleticilerden bazıları patojen mikroorganizmalar, fosfor ve azot bileşikler, hidrokarbonlar, ağır metaller, endokrin bozucular ve organik maddelerdir. Atık sularındaki mikrobiyal kirletici maddelerin ana kaynakları insan ve hayvan atıklarıdır. Bu kirleticilere ek olarak, biyobozunur özellikte olmayan ağır metallerin doğal ortamda kalıcılığı, besin zinciri yoluyla canlı organizmalarda birikme eğilimi ve biyoakümülyasyon yoluyla toksisitesi küresel bir endişe kaynağıdır (Lim vd., 2010; Akpor vd., 2014). Bu metaller ergime prosesleri, madencilik, evsel atıklar veya endüstriyel faaliyetler gibi farklı antropojenik alanlardan çevreye dağılırlar (USEPA, 2001) veya volkanik faaliyetler ve kayaçların ayrışması gibi olayların sonucunda meydana gelebilirler. Çevreyi kirleten en yaygın ağır metal kontaminasyonları Zn, Pb, Ni, Cu, Cr, Cd, As, Hg ve U'dır ve bu metaller yukarıdaki kirlilik alanlarından beslenen su ve toprakları doğal olarak kirlenmesine neden olurlar (USEPA, 2001). Son yıllardaki insan aktiviteleri ile temiz su kaynakları yoğun olarak kirlenmesine neden olmaktadır ve bu nedenle de içme suyu amaçlı temiz su kaynakları önümüzdeki dönemde daha da kirlenecek, doğal olarak bu temiz su kaynakları daha da önemli hale gelecektir ve bu konudaki endişeler daha da artacaktır (Fernández-Luqueño et al., 2013). Metallerce kirlenmiş içilebilir su kaynaklarının temizlenmesi ve rehabilitasyon işlemleri başlıca membran seperasyonu, solvent ekstraksiyonu, oksidasyon redüksiyonunu, filtrasyon, revers osmosis, fitoremediasyon ve iyon değişimi gibi değişik yöntemlerin varlığı bilinmektedir (Goswami et al., 2014). Bu yöntemlerin temiz suların temizlenmesindeki başarı ve üstünlükleri ile bu işlemler için harcanacak maliyetler hesaba katıldığında, aslında bu suların bu kirlilik etkenleri tarafından hiç kirletilmemesi dikkate alınacak en fizibil method olacağı düşünülmektedir. Bundan dolayı, dünyadaki sınırlı oranda gözlenen tatlı su kaynaklarının gelecek nesil için hayati öneme sahip, dünyada yaşayan tüm canlılar için vazgeçilmez bir kaynak olduğu asla unutulmamalıdır. Dünyada özellikle bazı ülkelerde doğal nedenlerle bazı ağır metal kirlilikleri sıkça rastlanmaktadır. Bu durum özellikle yüzey ve yeraltı su kaynaklarının başta As olmak üzere yeraltı su kirliliğine neden olmakta ve bu nedenlerle dünyada 100 milyon kişiden fazla insanların bu kirlenmeden dolayı zehirlendiği düşünülmektedir. Arseniğin değişik litolojik özelliklere bağlı olarak ortaya çıkan ve doğal çevreyi yoğun bir şekilde olumsuz olarak etkileyen zehirli bir metal olması nedeniyle (WHO, 2006), özellikle Hindistan ve Bangladeş gibi ülkelerde içme sularından kaynaklanan yüksek

oradaki As kirlenmesi bölgedeki yoğun insan nüfusunun önemli oranda sağlık problemlerine uğramalarına neden olmaktadır (Kabata-Pendias, 2011).

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Elazığ ili Palu ilçesi, Bağın köyü sınırları içerisinde yer alan sahada maden (krom) işletme ruhsatlı saha bulunmaktadır. Yapılan incelemeler sunucunda, bölgede on yıllardır bölgede krom madeni işletmesi yapılmaktadır. Bölgede hem krom madenciliği yanında bölgede yerüstü ve yeraltı su potansiyeli açısından oldukça yoğun bir su çıkışları bulunmaktadır. Bu sular bölgede hem içme hem de tarımsal alanlarda sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında yöredeki yüzey ve yeraltı sularının özellikle ağır metal kirliliği açısından incelenmesi amaçlanmaktadır. Dolayısıyla yörede hem içme suyu hem de sulama amaçlı kullanılan bu suların içilebilirlik kriterleri açısından incelenmesi hedeflenmiştir. Bu rapor kapsamında, inceleme alanında yer alan hem yüzey suları hem de yeraltı sularının (galeri içerisindeki) debileri, pH, elektriksel iletkenlik (EC) gibi çeşitli karakteristikleri, su kimyası, anyon ve katyon içerikleri, bölgedeki suların anyon ve katyon içeriklerine göre sınıflandırılması ve içilebilirlik veya su kalitesi açısından değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar sayesinde hem açık ocaklarda hem de galerilerde madencilik faaliyetleri esnasında yüzey ve yer altı sularının neden olabileceği olası problemleri ortaya koymak ve üretim faaliyetlerinin daha verimli yapılmasına yardımcı olması amaçlanmıştır.

1.2. İnceleme Alanının Konumu ve Coğrafik Özellikleri

İnceleme alanı, Elazığ ili Alacakaya ilçesi sınırları dahilinde yer alan 1/25.000'lik ölçekli Elazığ K43 c3 pafta sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2).

İnceleme alanının uzun yıllar (1938-2016) ortalama yıllık yağış miktarı 410 mm, uzun yıllar ortalama yıllık sıcaklık değeri ise 13.1 0C olarak saptanmıştır (Şekil 1.3 ve Şekil 1.4). Ancak son yılların ortalama sıcaklık değerlerinin uzun yıllar ortalamasının 1 0C' den daha fazla artış gösterdiği gözlenmiştir. Yağış değerleri ise yıllara göre değişiklik göstermekle birlikte, yıllık bazda genel ortalama değerlere çok yakın seyrettiği gözlenmektedir. Bölgedeki belli başlı yükseltiler Küp Dağı (2088 m.), Derebej Tepe (1622 m), Bağınkek T. (1818 m), Artepe T. (1887 m.), Renktarbaşı T (2036 m) şeklinde sıralanmaktadır.



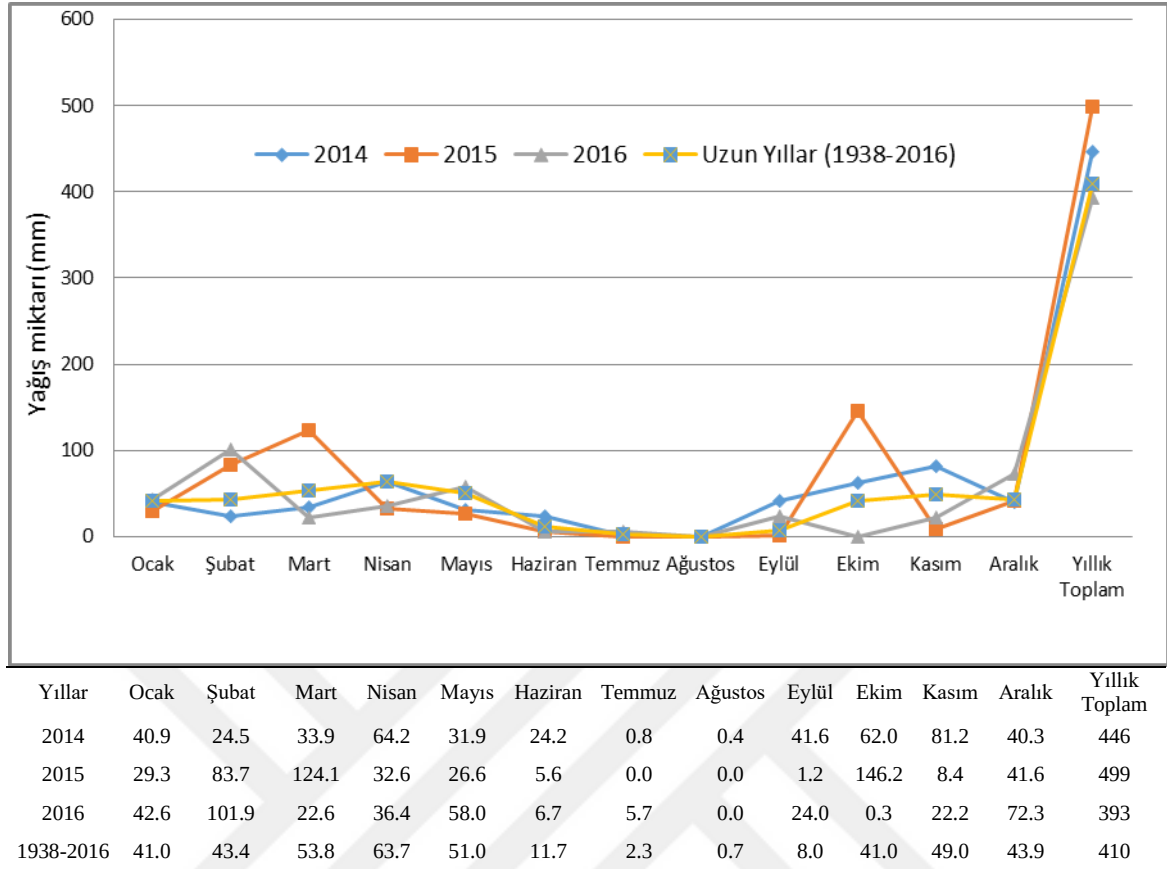
Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası



Şekil 1.2. Bağıın krom ruhsat sahasının kapsadığı alanın uydu görüntüsü

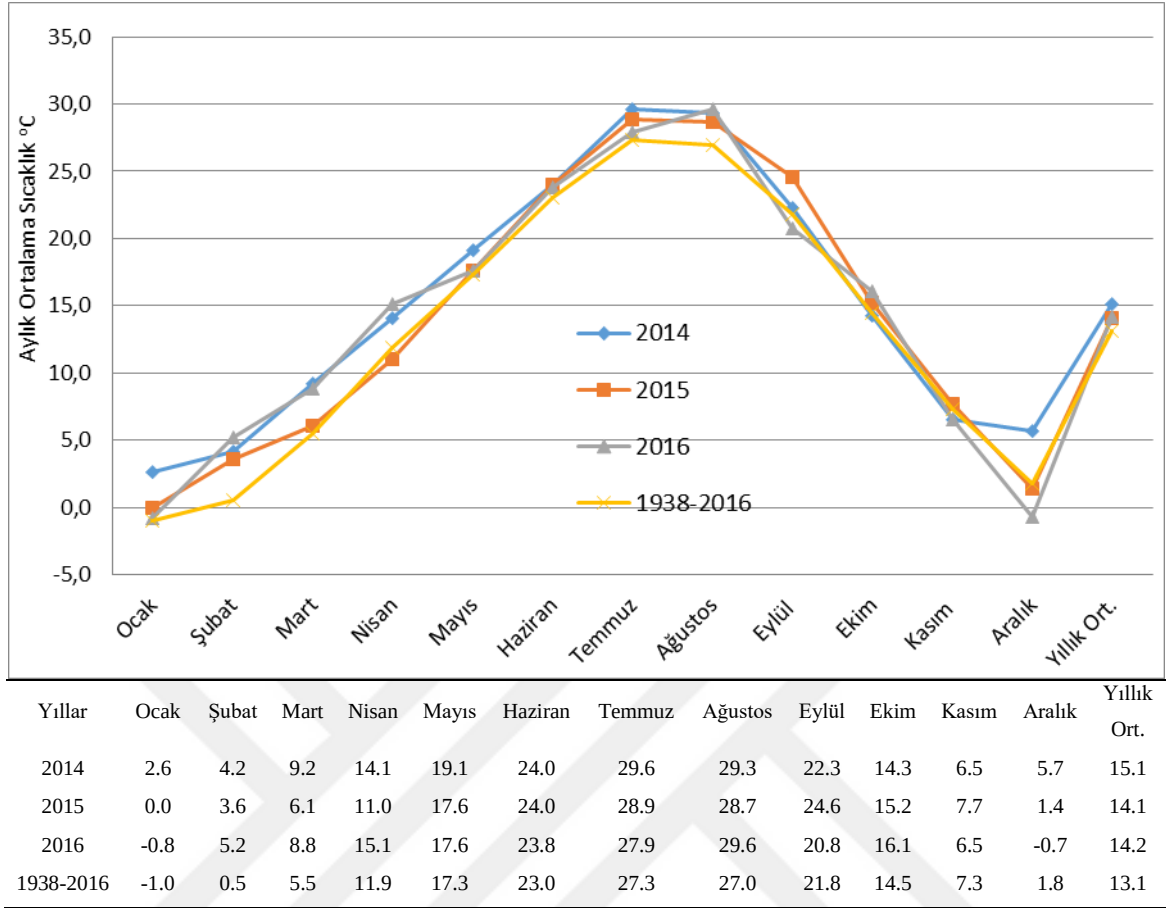
Yörede yukarıdaki yükseltiler arasında çok sayıda su içeren dere ve derin vadiler gözlenmektedir (Şekil 1.5). Bunların başlıcaları Kersuk deresi ve Bogos deresi bölgenin en önemli derelerini oluşturmaktadır ve yılın hemen hemen her döneminde içerisinde su bulundurmaktadır. Bu dereler bahar ayların yüksek debili sular gözlenirken, özellikle yaz aylarında ise daha az su akışı gözlenmektedir. Ruhsat sahasının bulunduğu alanlardaki su kaynakları genelde güney kesimdeki Artinek tepeleri ile Küp dağı çevresindeki alanlardan beslenmektedir. Yer yer bu alanlar batı kesimdeki Akabeyyayla T. çevresindeki alanlardan da beslendiği görülmektedir (Şekil 1.5).

Alacakaya bölgesinde, Elazığ Meteoroloji Bölge İstasyonu Müdürlüğü verilerine göre, uzun yıllar ortalaması (1938-2016 yılları arası) yağış değerleri ortalaması 410 mm oluğ, 2016 yılı için 393 mm, 2015 yılı için 499 mm ve 2014 yılı için ise 446 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 1.3).

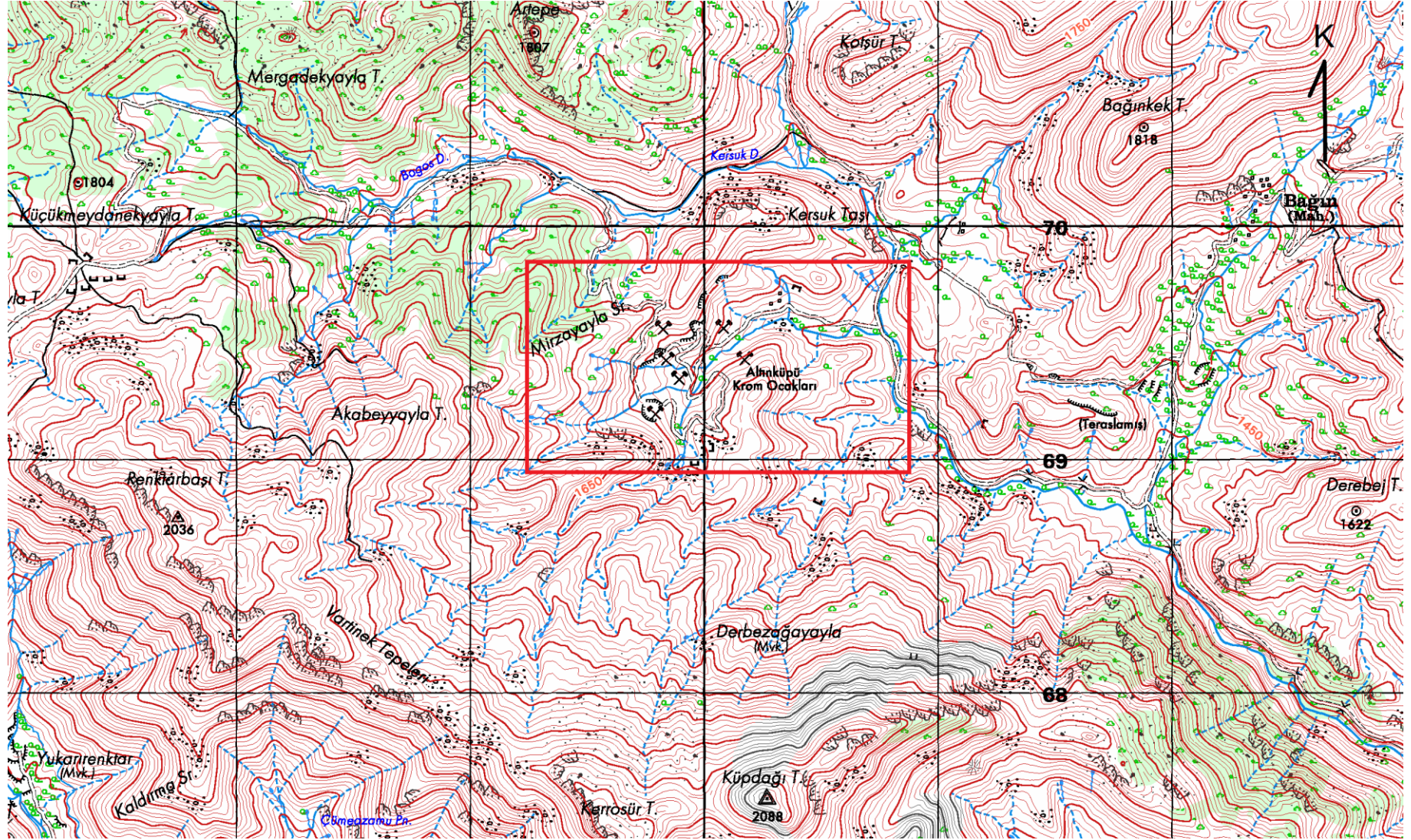


Şekil 1.3. İnceleme alanının aylara göre yıllık yağış haritası (Yağış değerleri Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır).

Alacakaya bölgesinde, yıllara göre değişen yağış rejimi incelendiğinde, 1938-2016 yılı uzun yıllara göre ortalama sıcaklık 13.1°C iken, 2016 yılı için 14.2°C , 2015 yılı için 14.1°C ve 2014 yılı için ise 15.1°C olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi uzun yıllar ortalaması ile son yıllardaki sıcaklık ortalama değerleri karşılaştırıldığında, son yıllardaki sıcaklık değerlerinin önemli derecede bir artışın olduğu görülmektedir (Şekil 1.4). Benzer durumda Şekil 1.4'deki sıcaklık artış grafiğine bakıldığında artış oranının genellikle kış, ilkbahar ve yaz aylarında belirgin bir artış olduğunu göstermektedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. İnceleme alanının aylara göre yıllık sıcaklık ortalama değerleri (Veriler Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğü’nden alınmıştır).



Şekil 1.5. Çalışma alanındaki belli başlı yükselti ve dere yataklarının haritada görünüşleri

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanına, Kovancılar-Palu üzerinden Üçdeğirmenler-Karataş-Akyürek köyleri üzerinden ulaşım sağlanmaktadır (Şekil 1.1). Elazığ ilinden, Bağın krom ocaklarına olan mesafe yaklaşık 85-90 km civarındadır ve Guleman (Elazığ) bölgesi'nin hemen kuzeydoğu kesiminde yer almaktadır. Bu ocaklarda 1930' dan beri yoğun krom üretim faaliyetleri devam etmektedir ve 2000'li yıllardan sonra, bu yatakları özelleştirilmiş olup, üretim faaliyetleri daha yoğunlaşmıştır. Bunun sonucu olarak bölgede hem kapalı işletme, hem de açık ocak işletme faaliyetlerinin artması sonucunda özellikle belirli mevsimsel dönemlerde yoğun bir yeraltı ve yüzey suyu boşalımı ortaya çıkmıştır. Bu sular özellikle bahar aylarında debileri daha yüksek iken yaz aylarında oldukça düşmekte hatta bazı dereler tamamen kurumaktadır.

2.2. Cevherleşmeler

Alpin tipi krom yatakları tüm Türkiye'de olduğu gibi bölgemizde de önemli yüzeylemeler sunmaktadır ve değişik boyutlarda kromit kütleleri bulundurmaktadır (Üşümezsoy, 1986). Guleman krom yatakları da bu yatakların ülkemizdeki en tipik örneklerinden birisi olup, magmatic segregasyon sonucunda magma farklılaşması esnasında digger bazik ve ultrabazik kayalar ile beraber depolanma ortamında çökeldiği şeklinde tanımlanmaktadır. Guleman krom yatakları başlıca Yunusdere, Tenkella, Ayıdamar, Uzundamar, Tepebaşı, Rut gibi kromitçe zengin sektörlere ayrılmıştır ve bunların kalıntı magmanın injeksiyonu ile oluştuğunu iddia edilmiştir (Zengin, 1960) (Şekil 2.1). Bölgedeki yataklarının oluşum şekilleri açısından stratiform yataklarındaki yataklanma şekillerinden yapısal ve dokusal olarak daha farklı olduğunu, stratiform yataklarda hiç gözlenmeyen pull apart dokularının ve nodüler kromitlerin Guleman çevresinde sıkça gözlendiğini dolayısıyla da bu yatakların Alpin tipte oluşmuş podiform yataklar olabileceği şeklinde düşünülmüştür (Thayer, 1964). Engin vd. (1983) Guleman çevresindeki yataklanmaların tektonitlerin içerisinde dünit ve harzburjit kondağına yakın bölgelerdeki dünitik kayaların içerisinde, krom damarlarının ise harzburjitli kayalar içerisinde dünit kılıfı içerisinde şekillenmiş olabileceği düşünülmüştür. Yüzey ve yeraltı incelemelerinin değerlendirilmesi sonucunda, bölgedeki ofiyolit birimi içerisinde 500 den fazla krom mostrasının varlığı tespit edilmiştir (Şekil 2.1.). Bu mostraların bazıları birbiriyle bağlantılı kütleler şeklinde iken, bazı mostralar ise yer yer kesiklikler göstererek sonlandığı şeklinde düşünülmektedir. Bu mostraların uzanımları çok değişken olup, kalınlıkları ve uzanımları itibari ile çok büyük boyutlu kütlelere ulaşabilmektedir. Guleman Peridotit'leri içerisindeki krom mostraları hem kümülat hem de tektonik birimi içerisinde gözlenmektedir. Ancak bu yatakların tamamıyla tektonitler

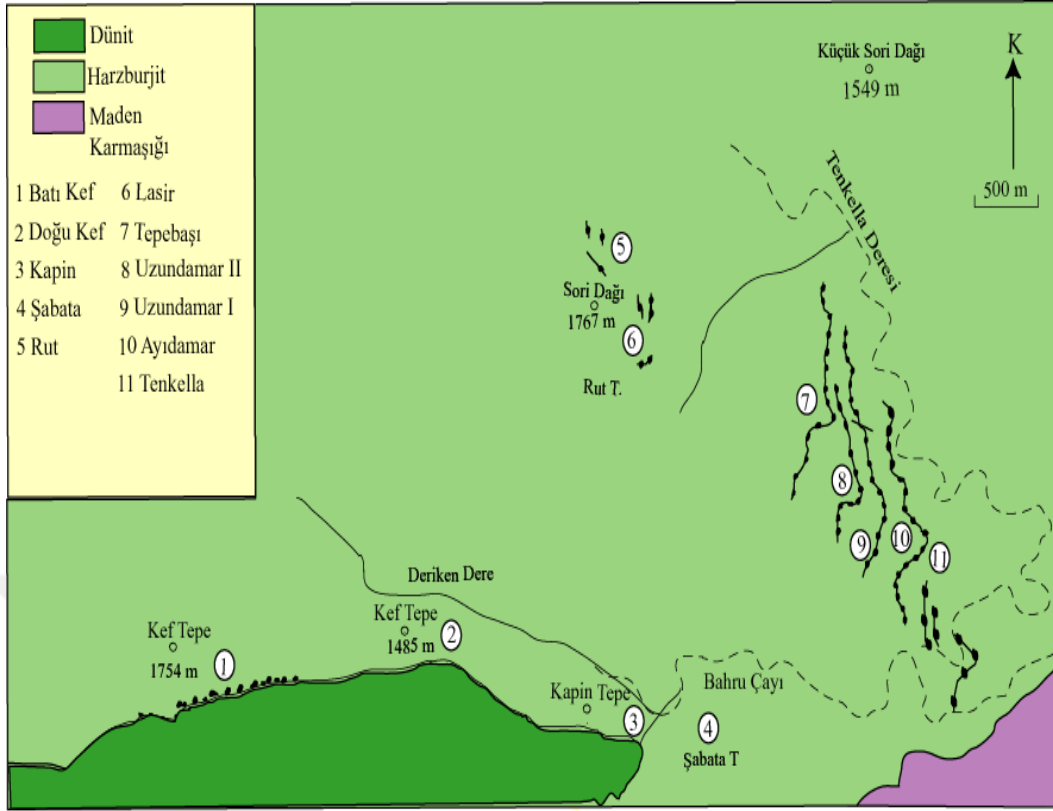
içerisinde veya tektonit-kümülat geçişine yakın bölgelerde oluşan krom kütlelerinin, kümülatların içerisinde veya tektonit sınırına yakın olan bölgelerdeki kromit kütlelerinden hem boyutsal hem de yüksek krom içeriği açısından daha iyi olduğu iddia edilmektedir (Doğan, 2014). Bölgedeki krom yataklarına ana kayası olarak düşünülen Guleman Peridotit Birimi, Engin vd. (1983) tarafından, coğrafik dağılım, yapısal durum ve litolojik özellikleri dikkate alındığında; (a) Kefdağ-Kapın-Şabata; (b) Rut-Taşlıtepe; (c) Pütyan; (d) Gölalan gibi bölümlere ayrılmıştır (Şekil 2.1).

Bağın Bölgesi'ndeki krom ocakları ise Mirzayayla sırtının doğu kesiminde dereiçi ve yamaçlardaki Guleman ofiyolitlerine ait tektonitler içerisinde adeseler halinde gözlenmektedir. Ana kayaç harzburjit ve dunitler olup, oldukça yoğun tektonizmanın etkisinde kalmış, ayrılmış ve ufalanmıştır. Cevherin uzanımı yer yer değişkenlikler göstermekle birlikte, doğu batı istikametindedir.

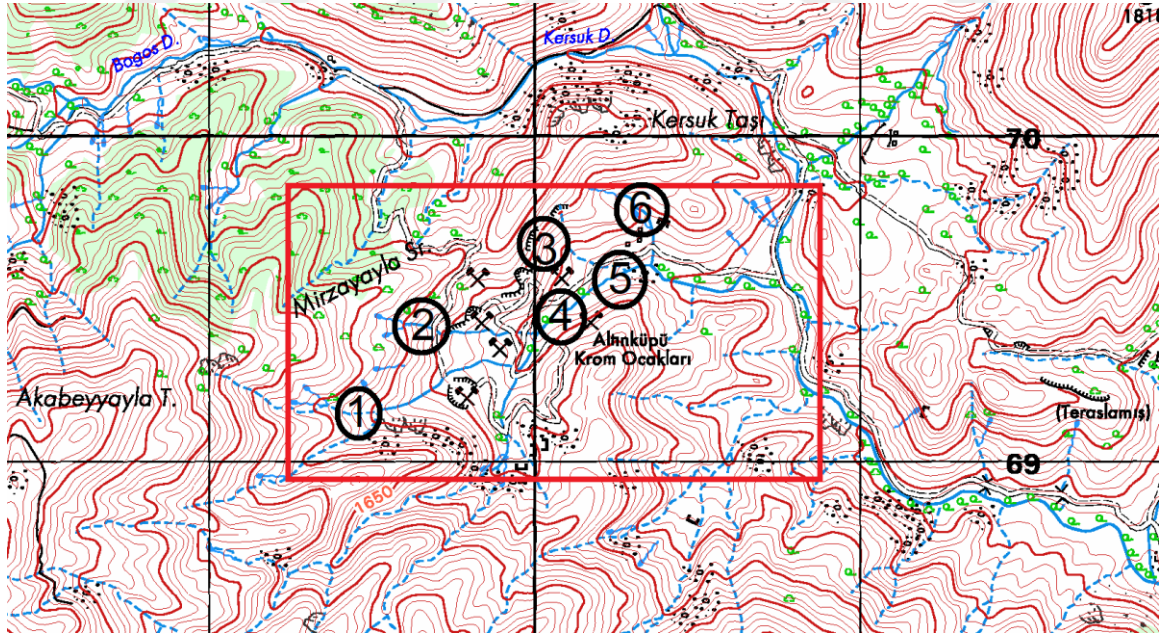
2.3. Çalışma Yöntemleri

Bu çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilecektir. Bunlar;

Arazi çalışmaları; Örneklem çalışmaları 13-14 Mart 2024 tarihlerinde, güneşli ve kısmen parçalı bulutlu bir havada, max hava sıcaklığı 10 °C, min. hava sıcaklığı ise 2 °C civarında gerçekleşmiştir. Bu işlemler 2 gün süresince arazide çalışılmış ve alınan su örneklerinin pH'ı, elektrik kondüktivite (EC) ve sıcaklık ölçümleri yerinde yapılmış ve yaklaşık 1.5 litre plastik kaplara doldurularak laboratuvara taşınmıştır. Su örnekler çalışma alanının batısındaki iki ayrı su deresinden, galeriden, alt kotlardaki dere yatağından ve ocağın kuzeyinden geçen Kersuk deresindeki sulardan alınmıştır (Şekil 2.2). Çalışma alanındaki suların pH, EC ve sıcaklık ölçümleri Orion 4 Star marka cihaz ile yapılmıştır. Ayrıca bölgedeki dere ve su kaynaklarının debileri ölçülmüştür. Bölgedeki krom ocağının uzaktan görüntüsü ve üzerindeki dereler görülmektedir (Şekil 2.3). Bölgedeki krom ocaklarının üretim yapıldığı ana galerinin görüntüsü Şekil 2.4' de görülmektedir. Bu galeriden 13-14 Mart 2024 tarihi itibari ile yaklaşık 8 lt/sn su boşalımı gerçekleşmektedir. Bu suyun yer yer mevsimsel şartlara bağlı olarak debilerde azalış ve artışlar gösterdiği bilinmektedir. Özellikle ilk bahar aylarında galeri içerisine boşalan su miktarında önemli artışlar gözlenmektedir. Bu durumda daha yüksek güce sahip pompalarla sürekli çekim yapılmalı ve herhangi bir aksiliğe karşı yedek pompa bulundurulmalıdır. Aksi durumda galeri su ile dolacak, hem üretimin aksamasına, hem de galeride çalışanların çeşitli risklerle karşılaşmasına neden olacaktır.



Şekil 2.1. Alacakaya krom yataklarının jeoloji haritası (Engin vd., 1983'den).



Şekil 2.2. Bağın krom ocağının çevresinde su örnekleri alınan yerlerin 1/25.000 ölçekli topografik harita üzerinde gösterilmesi.



Şekil 2.3. Bağın krom ocağının uzaktan görünüşü.

Laboratuvar çalışmalarında ise, araziden getirilen su örnekleri iki bölüme ayrılarak, bunların bir kısmı anyon+kasyon analizleri, diğeri ise iz element analizleri için ayrılmıştır. İz element analizleri Kanada ACME ve YEBİM (Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Laboratuvarı)'de ICP-MS ile gerçekleştirilmiştir. Anyon+kasyon analizleri ise Elazığ İl Özel İdaresi Su kimyası laboratuvarındaki iyon analizöründe gerçekleştirilmiştir. Anyon analizleri ise araziden getirilen örnekler doğrudan Elazığ İl Özel İdaresi kimya laboratuvarına götürülerek, burada F, Cl, NO₂, NO₃, HCO₃, SO₄ gibi anyon analizleri yapılmıştır. Kasyon analizlerinde ise Na, K, Mg, Ca gibi ana elementlerin analizleri gerçekleştirilmiştir. İz element analizleri için ACME (Kanada) ve YEBİM'e gönderilen su kapları yaklaşık 200 ml plastik kaplar içerisine doldurulmuş ve bu kaplara bir miktar % 10' luk nitrik asit eklenmiştir.

Büro çalışmalarında ise, yöreden alınmış su örneklerinin fiziksel, kimyasal ve iz element analizleri ile birlikte değerlendirilerek güncel literatür ışığında yorumlanmış ve daha sonra da tez haline getirilerek, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'ne sunulmuştur.



Şekil 2.4. Bağın krom ocağı ana galerinin görüntüsü.

3. HİDROLOJİ

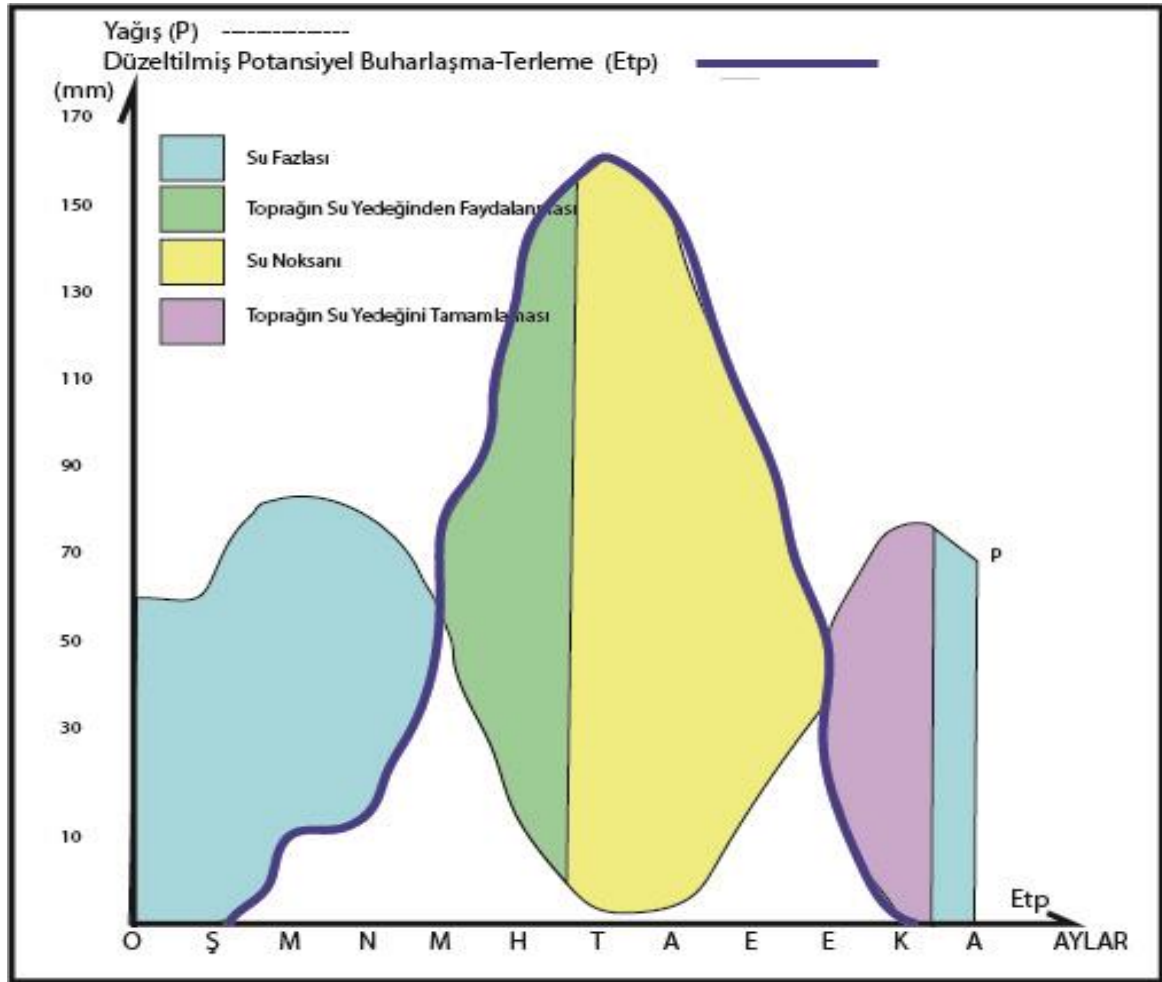
Alacakaya kuzeyi ve Palu ilçesi güneyinde yer alan Bağın krom ocakları ve çevresinin hidrolojik incelemesinin yapılması amacıyla havza içerisinde ve çevresinde bulunan Elazığ Devlet Meteoroloji İstasyonlarının uzun yıllara ait ölçümleri değerlendirilerek akım, buharlaşma-terleme verileri ortaya konmuştur. Çalışma alanının genel hidrolojik yapısının aydınlatılması amacıyla Devlet Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü'nün Maden-Sivrice gözlem İstasyonu'na ait 1991- 2013 yılları arası yağış ve sıcaklık verileri Thornthwaite yöntemi ile değerlendirilerek çalışma alanındaki gerçek buharlaşma-terleme, sellenme ve süzülme değerleri saptanmaya çalışılmıştır (Tablo 3.1).



Tablo 3.1. Bağıın Krom Ocağı çevresi 1991-2013 yılları arasındaki nem bilançosu değerleri (Thornthwaite formülüne göre hesaplanmıştır) (Güven, 2013'den alınmıştır).

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık Sıcaklık Ort. °C	-0.73	0.25	5.29	10.9	16.3	21.8	25.9	24.6	20.7	14.6	6.6	0.9	
Sıcaklık İndisi	0	0.01	1.09	3.25	5.98	9.3	12.1	11.2	8.59	5.07	1.52	0.07	58.18
Potansiyel Buharlaşma- Terleme Etp-mm	0	0.19	13.9	38.6	68.1	102.4	130.4	121.3	95.2	58.3	19.1	1.16	
Enlem Düzeltme Katsayısı	0.85	0.84	1.03	1.105	1.23	1.24	1.255	1.175	1.04	0.96	0.84	0.825	
Düzeltilmiş Etp-mm	0	0.16	14.4	42.7	83.7	126.9	163.7	142.5	98.9	55.9	16.04	0.96	746.01
Yağış-mm	64.2	65.3	87.7	81.7	58.8	14.3	5.7	4.93	14.7	47.7	81.99	74.3	601.07
Faydalı Su Yedeği- mm	100	100	100	100	75.13	0	0	0	0	0	65.95	100	
Gerçek Buharlaşma Terleme Etr-mm	0	0.16	14.4	42.7	83.7	89.4	5.7	4.93	14.7	47.7	16.04	0.96	320.35
Su Fazlası-mm	64.2	65.3	73.3	38.8	0	0	0	0	0	0	0	39.3	280.8
Su Noksanı-mm	0	0	0	0	0	37.5	157.9	137.6	84.3	8.25	0	0	425.66

Bağın krom ocakları ve çevresi için, uzun yıllara (1991-2013 yılları arası) göre hazırlanan nem bilançosuna değerleri, bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarı 601.07 mm, gerçek buharlaşma-terleme 320.35 mm, su fazlasının olduğu dönemde sellenme miktarı ise 280.88 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.1). Çalışma alanındaki su fazlası bölgeye düşen yıllık yağışın % 46.73'ü kadardır. Bu verilere göre çalışma alanının yağış ve buharlaşma-terlemenin grafiği hazırlanmıştır (Güven, 2013). Bu grafikte, Kasım ayının ortasında başlayıp Mayıs ayının ortasına kadar olan dönemde su fazlalığı; Haziran ayının ortasıyla Ekim ayının ortası arasında ise su noksanlığı vardır ve Ekim ile Aralık ayları arasında ise bölgeye düşen yağış miktarı artmakta ve toprağın su yedeği bu aylar arasında tamamlanmaktadır. Ekim ayının ortasında bölgede yine su fazlalığının ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 3.1. Bağın krom ocakları ve çevresi için Thornthwaite yöntemine göre hazırlanmış yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (Güven, 2013).

İnceleme alanında hidrolojik yıl içerisinde yağışlar yaygın olarak Ekim ayında başlayıp Mayıs ayında sona ermektedir (Şekil 3.2). İnceleme alanında su taşıyan birimlerin besleniminin tamamı yağışlı dönemde yağıştan süzülme ile olmaktadır. Alacakaya bölgesi Bağın krom ocağı

ruhsat alanı yaklaşık 284 hektar işletme alanına sahip yüzey alanının ortalama toplam yıllık yağış miktarı dikkate alındığında; alana yıllık yağış kaynaklı su girdisi çok sınırlı olacaktır. Ancak çalışma alanına gelen su miktarı özellikle Küpdağı, Vartinek tepeleri, Akabeyyayla T. ve Mirzayayla Sırtı çevresindeki alandan beslenmektedir. Bu da ruhsat alanı çevresinin özellikle kış aylarında almış olduğu yağışın ilkbahar ve yaz aylarında sürekli bir beslenim sonucu, ruhsat alanı çevresinde yüzey ve yeraltı sularının sıkça yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Yöre, bazik ve ultrabazik kayalar kaplamaktadır ve bu birimler teorik olarak oldukça geçirimsiz birimlerdir ancak bu birimler yoğun alterasyona uğraması üzerinde bol miktarda kırıklı ve çatlaklı yapı kazanmış olmaları nedeniyle özellikle yüzeye yakın kesimler oldukça geçirimli bir nitelik kazanmıştır. Sahanın gerçek buharlaşma-terleme (ETg) düzeyi $14 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ düzeyinde olup, su girdisinin bir bölümü buharlaşma ve bitki terlemesi ile atmosfere geri dönmektedir.

Bu durumda, yıllık beslenimin geri kalan $16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'lık bölümü kayalarda görülen kırık sistemleri boyunca sığ ve derin akiferleri, ayrıca yüksek kotlu tepelerden yüzeysel akışa geçerek inceleme alanında yer alan akarsuları beslemekte olduğu anlaşılmaktadır. İnceleme alanında sistemden çıkan su buharlaşma-terleme, doğal kaynaklarla ve akarsular ile gerçekleşmektedir. Yağıştan toplam süzülme miktarı; $16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır. Yağış ve kayıp miktarına göre akışa geçen su miktarı 280 mm'dir. Akışa geçen su için süzülme yüzdesi 0.1, yüzeysel akışın oluşabileceği birimlerin alanı 5 km² olarak alınmıştır. İnceleme alanında ruhsatlı ve ruhsatsız yeraltı suyu üretim kuyusu bulunmamaktadır. Bağın Krom Ocağı'ndaki galeride ortalama debisi mevsimlere göre değişen ve ortalama debisi 8-10 lt/sn olan su çıkışı bulunmaktadır (Şekil 2.4). Bu su da motopomlar yardımı ile ana galeri içerisinden dışarı çıkarılmaktadır. Bu suyun dışında ocak çavresinde yüzey suları yer almaktadır. Bu suların ortalama debileri örnek alım tarihi itibarı ile 1 nolu dere üzerinde ortalama olarak 11 lt/sn, 2 nolu dere üzerinde 5.5 lt/sn (Şekil 3.2), 4 nolu dere üzerinde 26 lt/sn, 5 nolu dere üzerinde 28 lt/sn (Şekil 3.3) ve 6 nolu örnek ise Kersuk deresi boyunca gelen suyun ortalama 12 lt/sn olarak ölçülmüştür. İnceleme alanında değişik dönemlerde yağışlar şeklinde sisteme giren suların, önemli bir kısmının bölgedeki dereler vasıtasıyla havzadan uzaklaşarak sistemden çıktığı görülmektedir. Sistemden çıkan bu sular ise, çalışma alanı güney yönünde devam ederek, Yalnızdamlar deresi ile birleşerek Kral Kızı Barajında toplanmaktadır.



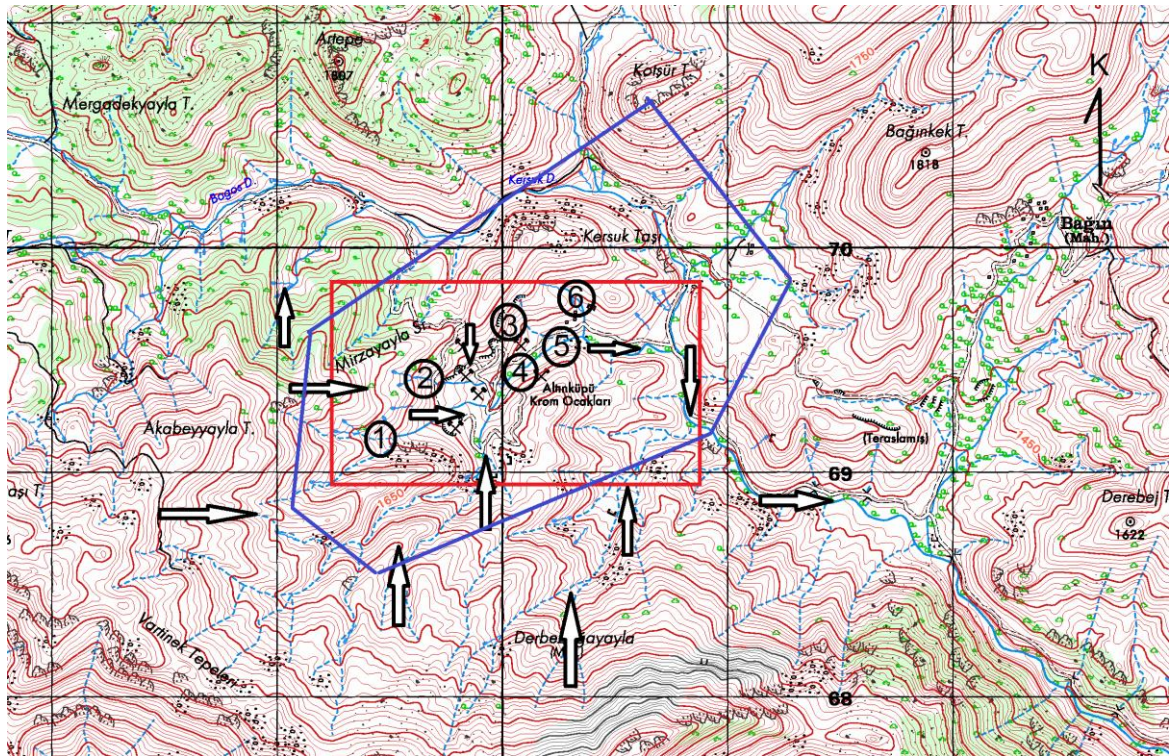
Şekil 3.2. İnceleme alanı 2 nolu örnek alım noktasındaki derenin görüntüsü.



Şekil 3.3. 5 nolu örnek alım noktasına ait derenin görüntüsü

4. SULARIN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde, inceleme alanı ve çevresindeki hidrojeolojik sistemi temsil etmesi için 6 farklı su noktasından alınan örneklerin analizleri hidrojeokimyasal açıdan değerlendirilmiştir (Şekil.4.1). İnceleme kapsamında mevsimsel olarak sürekli akar haldeki iki adet ana dere ve bu dereleri besleyen iki tali dere bulunmaktadır. Ayrıca bu dereyi besleyen bir adet galeriden çıkan su yer almaktadır. Bu derelerden hemen her dönemde su akmaktadır. Kersuk deresi ile Bağın krom ocağı çevresinden beslenen sular yazın azalmakla birlikte genellikle kurumamaktadır.



Şekil 4.1. Bağın Krom ocağı çevresindeki akarsu, su akı yönleri ve örnekleme noktaları.

4.1. Suların Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Bağın krom madeni ruhsat alanı içerisindeki su kaynaklarına ait suların fiziko-kimyasal parametreleri; sıcaklık 11.2 - 16.8 oC, pH 8.11 - 8.99, elektriksel iletkenlik (EC) 203 - 293 μ S/cm arasında değişmiştir. (Tablo 4.1). Bölgedeki kaynak sularının sıcaklığı genelde birbirine yakın değerlere sahip iken, derelerden akan suların sıcaklığı ise hem mevsimsel hem de atmosferik olaylara bağlı olarak oldukça değişkenlik göstermektedir. Galeriden alınan su örneğinin yüzeysel alandan alınan su örneklerinden daha soğuk olduğu gözlenmektedir. İnceleme konusu su kaynaklarının tamamı genel olarak “soğuk su” olarak sınıflandırılabilirler. pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir ölçüsü olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Su içerisinde asılı halde bulunan maddelerin oluşturacağı aşındırıcı ve kabuk bağlayıcı özellik pH değerine

bağlı olarak değişmektedir. İnceleme alanındaki suların pH değerinin genel olarak 8.11 - 8.99 aralığının da değişmesi suların “*hafif çözücü hafif kabuklaştırıcı bazik*” özelliğe sahip olduklarını göstermektedir. Bazik sular insan vücudundaki oksidasyonu hızlandırır ve oksijen üretimini artırır. pH değerlerinin bazik özellik göstermeleri söz konusu su kaynaklarının aynı zamanda organik ve inorganik kirlenmelere maruz kalmadıklarını göstermektedir. Sular tamamı pH özelliği açısından kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre I. kalite su sınıfına dahil edilmektedir.

İnceleme alanında örneklenen suların elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 203 - 293 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişir. Bölgedeki akarsu kaynaklarından alınan örnekler ile galeriden alınan su örnekleri arasındaki elektriksel iletkenlik değerleri birbirine çok yakındır. Bu sulardaki elektriksel iletkenlik değerlerinin çok yüksek olmaması, su içerisinde asılı madde miktarının yüksek olmadığını işaret etmektedir. Elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin genel olarak düşük olması bu suların düşük iyon derişimine ve dolayısıyla sığ dolaşım sistemine sahip olduklarını göstermektedir. Sular elektriksel iletkenlik değerleri açısından “*elektriksel iletkenliği düşük iyi - çok iyi sular*” olarak sınıflandırılabilir. İçme ve sulama amaçlı kullanımlar için ise iyi - çok iyi su kalitesi özelliğine sahip oldukları söylenebilir.

Suların renk değerleri Pt-Co birimi baz alınarak değerlendirilmiştir. Buna göre bu değerler 24 ile 36 arasında değişmektedir. Özellikle yöredeki dereden alınan sular ile galeriden alınan örneklerin Pt-Co değerleri birbirine çok yakındır ve bu da bölgedeki su kaynakların çok kirlenmemiş olması nedeniyle oldukça düşük Pt-Co değerleri tespit edilmiştir. Bölgede hem dere hem de galeriden alınan su örneklerinin I. sınıf su kalitesi özelliği gösterdiği saptanmıştır. Su kaynaklarının pH değerleri arttıkça göreceli renklilik değerleri de artabilir. Yöredeki madencilik faaliyetlerinin söz konusu sulardaki su kalitesi ve renk artışına herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Suların sertliği, genellikle içerdiği çözülmüş kalsiyum ve magnezyum iyonlarının toplamı ile belirlenir. Bu iyonlar, suyun içinde farklı tuzlar olarak bulunur; örneğin, bikarbonat, sülfat, klorür ve az miktarda nitrat tuzları şeklinde. Su sertliğine özellikle kalsiyum/magnezyum bikarbonat ve sülfat bileşenleri önemli ölçüde etki eder.

Suyun sertliği, çözülmüş kalsiyum oksit veya karbonatlarının miktarı ile ölçülür ve genellikle miliekivalan ya da "sertlik derecesi" birimiyle ifade edilir. İçme suyu analizlerinde çoğunlukla sertlik derecesi birimi tercih edilir. Bu birimler arasında Fransız Sertlik Derecesi (FS), İngiliz Sertlik Derecesi (IS) ve Alman Sertlik Derecesi (AS) gibi farklı birimler bulunmaktadır. Türkiye'de en yaygın olarak Fransız Sertlik Derecesi kullanılmaktadır.

Fransız Sertlik Derecesi (FS): 100 ml suda 1 mg CaCO_3 bulunan suyun sertliği, 1 Fransız Sertlik Derecesi olarak kabul edilir. İngiliz Sertlik Derecesi (IS): 70 ml suda 1 mg CaCO_3 bulunan suyun sertliği, 1 İngiliz Sertlik Derecesi olarak kabul edilir. Alman Sertlik Derecesi (AS): 56 ml suda 1 mg CaO bulunan suyun sertliği, 1 Alman Sertlik Derecesi olarak kabul edilir.

Bu şekilde, suyun sertlik derecesi ölçülürken kullanılan birimler farklı olsa da, suyun içerdiği çözünmüş iyonların türü ve miktarı, sertlik seviyesini belirleyen temel faktördür.

Sertlik derecelerini birbirine çevirmek mümkündür. $1 \text{ FS}^0 = 0,7 \text{ IS}^0 = 0,56 \text{ AS}^0$ 'dir.

Çalışma alanındaki suların Ca^{+2} ve Mg^{+2} içeriğine bağlı olarak sertlik derecesi belirlenmeye çalışılmıştır. Bölgedeki sulardaki ortalama Ca^{+2} içeriği 33.36 ppm bulunurken, en yüksek 37.39, en düşük ise 23.07 ppm bulunmuştur. Mg^{+2} konsantrasyonları ise bölgeden alınan tüm suların ortalaması 13.79 ppm, en düşük 3.87 ppm, en yüksek ise 26.18 ppm olarak belirlenmiştir. Toplamda Ca^{+2} ve Mg^{+2} değerleri en yüksek olan su örneği BG-05 nolu örnektir ve burada toplam değer ise 26.18 ppm olarak saptanmıştır. Tablo 4.2'deki değerler de dikkate alınarak yöredeki suların Ca^{+2} ve Mg^{+2} toplam konsantrasyonları dikkate alındığında Alacakaya Bağın Bölgesi'ndeki krom sahasına ait su örneklerinin sertliklerinin hepsinin de **ÇOK YUMUŞAK SU** grubuna dahil olduğu görülmüştür.

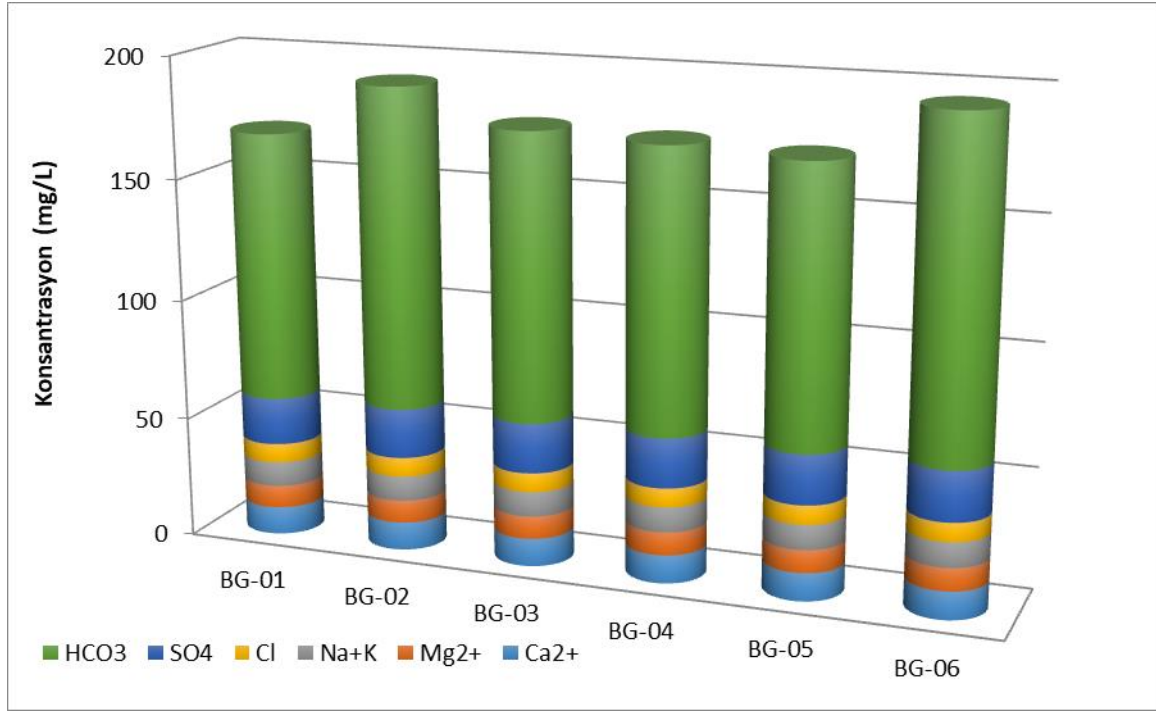
Suların çözünmüş oksijen değerleri 9.22 - 9.42 arasında değişim gösterir. Sudaki çözünmüş oksijen miktarı, suyun sıcaklık, basınç ve toplam tuz miktarı ile atmosferdeki oksijenin kısmi basıncının bir fonksiyonudur. Söz konusu suların tamamı çözünmüş oksijen özelliği açısından kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre I. sınıf su kalitesi özelliği taşımaktadır.

Suların Nitrat, Nitrit ve Amonyum azotu içeriği ortalama olarak 13.78 ppm olarak gözlenmiştir (Tablo 4.1). Bu da özellikle çevrede yoğun olarak gözlenen tarım ve hayvancılık kaynaklı bir kirliliğin olması muhtemeldir. Bu durum da sınırlı da olsa yüzey sularının kirlenmesine neden olmaktadır. Bu duruma rağmen, yöredeki su kaynaklarının tamamı Nitrat, Nitrit ve Amonyum azotu içeriği açısından I. sınıf su kalitesine sahiptir.

4.2. Suların Kimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Yüzey ve yeraltı suları, içerisinden geçtikleri veya temas ettikleri kayaları yıkayarak içerisindeki negatif ve pozitif yüklü iyonları çözerek bünyelerine alırlar. Toplam çözünmüş anyon ve katyon miktarı ve bunların su içerisindeki oranları suyun hidrojeolojik karakteristiklerini belirler. Dolayısıyla hidrolik çevrim içerisinde sürekli hareket halinde olan suların kimyasal özellikleri de zamanla farklılıklar gösterebilir. Hidrokimyasal açıdan incelenen suların tamamı $\text{Ca}+\text{Mg HCO}_3$ su fasiyesi özelliğindedir (Tablo 4.2). Suların kendi aralarındaki iyon değişimlerine bakıldığında, çalışma alanı sularında Ca ve Mg hakim katyon iken, HCO_3 iyonu ise hakim anyon durumundadır. Çalışılan tüm örneklerde, iyon oranlarının ve yüzdelerinin genel olarak sularda aynı oranlarda gözlemlendiği görülmektedir (Şekil 4.2). Özellikle BG-02 ve BG-05 nolu noktalardan alınan su örneklerinin toplam anyon ve katyon değerlerinin diğer noktalardan alınan sulara göre daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.2). Bu suların iyon değişiminin fazla

olması özellikle bu çayı besleyen suların gelmiş olduğu alanlardaki kayaç ve toprak yapısındaki sıkça gözlenen alterasyon veya serpantinleşmenin bu olguda etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.2. İncelenen sulara ait anyon ve katyon değişim histogramı

Tablo 4.1. Çalışma alanındaki suların fiziko-kimyasal parametre değerleri ve bu suların bazı anyon ve katyon analiz sonuçları

Örnek No	pH	EC µS/cm	T °C	HCO ₃ PPM	Cl PPM	F PPM	NO ₃ PPM	SO ₄ PPM	Na PPM	K PPM	Mg PPM	Ca PPM	Al PPB	Renk	Amonyum azotu mg /L	Çözülmüş Oksijen mg/L
BG-01	8,26	203	14,5	110	7,91	4,94	13,79	19,43	2,30	0,29	3,87	41,02	72	25	0	9,42
BG-02	8,26	237	11,2	131	8,01	4,95	14,07	20,31	1,66	0,45	13,29	33,95	93	24	0	9,35
BG-03	8,11	251	16,8	117	7,87	4,87	13,88	20,47	2,67	0,26	16,23	29,28	59	36	0	9,22
BG-04	8,44	229	15,6	115	7,75	4,84	13,65	20,32	2,08	0,41	10,80	35,42	284	28	0	9,36
BG-05	8,99	293	15,4	113	7,80	4,85	13,67	20,29	2,15	0,35	26,18	23,07	123	27	0	9,39
BG-06	8,28	246	15,2	135	7,74	4,83	13,6	20,32	1,31	0,33	12,39	37,39	136	25	0	9,42

Tablo 4.2. Toplam sertlik derecelerine göre suların sınıflandırılması

Sınıflandırma	Alman Sertlik Derecesi	Fransız Sertlik Derecesi	İngiliz Sertlik Derecesi	ppm (ma/1)
Çok yumuşak su	0-4	0-7.2	0-5	0 - 72
Yumuşak su	4-8	7.2 - 14.2	5 - 10	72 - 145
Orta sert su	8 - 12	14.2 - 21.5	10 - 15	145 - 215
Sert su	12 - 18	21.5 - 32.5	15 - 22.5	215 - 325
Çok sert su	18 - 30	32.5 - 54.0	22.5 - 37.5	325 - 545

Tablo 4.3. Sularda bulunan iyonların dizilimleri ve su tipleri

Örnek No	Su Tipi	Katyon Dizilimi	Anyon Dizilimi
BG-01	Ca+Mg HCO ₃	Ca>Mg>K>Na	HCO ₃ >SO ₄ >NO ₃ >Cl>F
BG-02	Ca+Mg HCO ₃	Ca>Mg>K>Na	HCO ₃ >SO ₄ >NO ₃ >Cl>F
BG-03	Ca+Mg HCO ₃	Ca>Mg>K>Na	HCO ₃ >SO ₄ >NO ₃ >Cl>F
BG-04	Ca+Mg HCO ₃	Ca>Mg>K>Na	HCO ₃ >SO ₄ >NO ₃ >Cl>F
BG-05	Ca+Mg HCO ₃	Ca>Mg>K>Na	HCO ₃ >SO ₄ >NO ₃ >Cl>F
BG-06	Ca+Mg HCO ₃	Ca>Mg>K>Na	HCO ₃ >SO ₄ >NO ₃ >Cl>F

Çalışma alanından alınan suların katyon bolluklarına göre genelde $Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^{+} > Na^{+}$ şeklinde bir dizilim gösterirken, anyon sonuçlarına göre ise bolluk dizilimleri $HCO_3 > NO_3 > Cl > SO_4 > F$ şeklinde bir dizilim göstermektedir (Tablo 4.1 ve 4.3; Şekil 4.2). Bu örneklerin analiz sonuçlarındaki değerler incelendiğinde ise özellikle sularda bikarbonattan sonra sülfatın bulunmuş olması, bölgedeki sülfürlü cevherleşmelerin çokluğu ve bu kısımların yüzeysel alterasyondan etkilenmiş olması nedeniyle yüzey ve galeri sularında sülfat çokluğu bu gerekçeye bağlanabilir. Dolayısıyla bölgedeki suların anyon ve katyon bileşimini düşündüğümüzde bölgedeki tüm suların $CaMgHCO_3$ sular olarak sınıflandırılması mümkündür.

Ca^{+2} doğal sularda en bol bulunan katyonlardan biridir. İnceleme alanındaki sularda ise ikinci katyon durumundadır. Suların Ca^{+2} iyon derişimleri 23.07 - 37.39 mg/L arasında değişir. Ca^{+2} iyonu genel olarak karbonatlı kayaçların çözünmesi sonucu suda zenginleşir. Ca^{+2} iyonu değerlerinin çok düşük olmasının nedeni, bölgede yer alan jeolojik kayaçların litolojik özelliklerinden kaynaklandığı gibi bu sularda gelişen ortak iyon etkisine de bağlanabilir. Bölgedeki kayaçlarda daha çok ultrabazik kayaçlar gözlenmekle birlikte, özellikle daha yüksek kesimlerde yer yer Maden Karmaşığı'na ait karbonatlı pelajik çökeller gözlenmektedir. Olasılıkla bölgedeki sulardaki karbonatın kaynak kayacı olması muhtemeldir ve bölgedeki en baskın olarak gözlenen katyondur (Tablo 4.1).

İncelenen sulara ikinci derecede baskın olarak gözlenen katyon olan Mg^{+2} iyonu, analiz edilen sulara derişimleri 3.87 - 26.18 mg/L aralığında değişim göstermektedir. Mg^{+2} iyonu, inceleme alanı ve çevresinde geniş yer kaplayan ofiyolitik birimlerden dünit, harzburjit veya serpantinli kayaçların en temel elemanlarından birisidir ve olasılıkla buradan çözünmüş olabilir. Olivin, piroksen ve amfibol grubu mineralleri genellikle Mg^{+2} silikat şeklinde bulunduğundan dolayı, bu minerallerin ayrışması veya alterasyonu neticesinde Mg^{+2} açığa çıkmakta ve yöredeki yüzey ve yeraltı sularına karışmaktadır.

İnceleme alanında yer alan suların K^+ değerleri 0.29 - 0.41 mg/L aralığında değişim gösterir ve özellikle galeri sularına ait örneklerde düşük gözlenmektedir. Analiz edilen sulara hemen hemen tüm örneklerde benzer potasyum analiz sonuçları elde edilmiştir. Genel olarak, potasyum, feldispat, mika, feldispatoid ve kil minerallerinde bulunur. Bu mineraller de doğal olarak Alacakaya bölgesindeki ultrabazik kayaçlarda yaygın olarak gözlenmemekle birlikte, olasılıkla Maden Karmaşığı içerisindeki killi ve çamurtaşı seviyelerinde gözlenen potasyumun ayrışması sonucu yüzey ve yeraltı sularına taşınmış olmalıdır. Potasyumlu minerallerin ayrışması sonucunda potasyum açığa çıkar ve bu nedenden dolayı yöredeki su kaynaklarının kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

İnceleme konusu suların Na^+ iyonu değerleri 1.31 – 2.67 mg/L arasında değişim gösterir. Na^+ iyonu su kaynaklarının kalitesini olumsuz etkileyen bir parametredir. Sulara fazla oranlarda bulunması içme ve kullanma özelliği açısından istenmez. Bölgedeki sular Na^+ iyonu özelliği açısından kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre Na değerinin düşük olmaması nedeniyle, II. sınıf su kalitesi özelliğine sahiptir.

İnceleme alanındaki sulara HCO_3^- iyonu derişimleri 110- 135 mg/L arasında değişmektedir. Sulardaki bikarbonat miktarı, olasılıkla çevre kayaçlar içerisindeki karbonatlı kayaçların ayrışması sonucu yüzey ve yeraltı sularına karışmış olmalıdır. Bu durum dolaşım sistemi içerisindeki harekete bağlı olarak HCO_3^- iyonlarının karbonatça zengin kayaçlar ile olan su - kayaç etkileşimi sonucunda yüzey ve yeraltı sularında önemli konsantrasyonlarda birikmesine neden olmuştur. Bölgedeki sular içerisinde en baskın olarak gözlenen anyondur.

İnceleme alanındaki suların SO_4^{-2} iyon derişimleri 19.43 - 20.47 mg/L aralığında değişmiştir. Özellikle SO_4^{-2} iyonu, tüm su örneklerinde en baskın ikinci anyon olarak gözlenmektedir. Bölgedeki sulara bu derecede yüksek oranlarda yüksek sülfat içeriğine sahip olması bu suların olasılıkla sülfürlü fazlar tarafından beslendiğini göstermektedir. Bundan dolayı da, kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre I. sınıf su kalitesi özelliğine sahip olduğu gözlenmiştir.

İnceleme alanındaki suların Cl^- iyonu değerleri 7.87 - 8.01 mg/L arasında değişim göstermiştir. Cl^- iyon derişimlerinin tüm örneklerde birbirine benzer konsantrasyonlarda

gözlenmiştir. Klorür konsantrasyonu sulama suları için önemli bir kriterdir ve bu yüzden de bu suların Cl⁻ iyonu açısından kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre I. sınıf su kalitesi özelliğine sahip olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. WHO (2006) tarafından ortaya konmuş olan sınır değerinden (250 ppm) daha fazladır. Bu yüzden çalışılan sularda düşük oranlarda gözlenmektedir.

Çalışma alanındaki su örneklerinin analizi sonucunda NO₃ değerleri 13.6-14.07 mg/L arasında gözlenmektedir (Tablo 4.1). Nitratlar inorganik kimyasal olup, suda yüksek çözünme özelliğine sahiptir. Yüzeysel ortamlardaki asıl kaynakları zirai alanlarda kullanılan gübre ve evsel atık ürünleridir ve yüzey ve yeraltı sularındaki nitrojen kapsayan bileşiklerin çoğu nitrata dönüşmektedir. Diğer nitrat kaynakları ise maden yatakları, deniz suyu, toprak, atmosfer ve içilebilir su kaynaklarıdır ve bunların hepsi de doğal çevre içerisinde yaygın olarak gözlenebilmektedir. Ayrıca nitrat ve nitrit ile muamele görmüş etlerde bozunmayı engelleyen renk koruyucu bileşenler olarak da görev almaktadır. Pek çok ülkenin içme sularında nitrat konsantrasyonu 10 mg/L değerinin altında gözlenirken, Yeraltı sularında gözlenen nitrat düzeyi genel olarak 50mg/l düzeyinin üstünde seyretmekte iken, nitrit değerleri ise genellikle litrede birkaç miligram olabilecek seviyede çok az değerlerde görülmektedir. Dolayısıyla çalışma alanındaki NO₃ değerleri çok düşük oranda gözlenmektedir ve bu yüzden de bu değerlerin su kalitesini olumsuz anlamda etkileyecek değerlere sahip olmadığı düşünülmektedir. Olasılıkla bölgedeki nitrat değerleri bölgedeki tarım ve hayvancılık kökenli olması muhtemeldir.

Çalışma alanındaki su örneklerinin analizi sonucunda F⁻ değerleri 4.83-4.95 mg/L arasında gözlenmektedir (Tablo 4.1). Florür, insan sağlığı için en önemli elementlerden birisi olup, doğal çevredeki gözlenen bu elementin en önemli kaynağı doğal sulardır ve değişik konsantrasyonlarda gözlenir. Yeraltı ve yüzey sularının florür içeriği genel olarak ortalama 1 mg/L den daha az florür bulundururken, yeraltı suları beslenmiş oldukları litolojik kayaçların bileşimlerine bağlı olarak değişik konsantrasyonlarda florür oranına sahip olabilirler. Mesela, volkanik kökenli bölgelerdeki asit veya nötr bileşimli volkanik kayaçların florür içeriklerinin çok yüksek olduğu saptanmıştır (Hapçıoğlu vd., 1992). Özellikle nötr bileşimli derinlik kayaçları da yani Na ve K'ca zengin kayaçların gözlendiği bölgelerdeki yeraltı ve yüzey sularının flor konsantrasyonları oldukça fazladır. Ancak özellikle ultrabazik kayaçların yaygın olduğu bölgelerde ise oldukça düşük konsantrasyonlarda gözlenmektedir. WHO (2006)'ya göre florun sınır değeri 1.5 ppm'dir. Bu sonuçlar ışığında yöredeki sularda 5 ppm'e yakın değerler ortaya çıkmıştır ki bu da flor açısından bu suların fazla içilmemesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Genel olarak inceleme konusu sular düşük iyon derişimi ve düşük elektriksel iletkenlik değerlerine sahiptir. Buda bize bu suların sığ dolaşım sistemine ve kısa süreli su kayaç temas özelliğine sahip olduklarını göstermektedir. İnceleme konusu suların içerdiği fiziksel ve kimyasal parametreleri Kıta içi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri baz alınarak

değerlendirildiğinde suların tamamının I. sınıf su kalitesi özelliği gösterdiği söylenebilir. Suların sertlik değerlerinin düşük-orta sert olarak sınıflandırılması ayrıca bazı su kaynaklarının renk sınıflamasının düşük olması genel su sınıfının değişmesine etki etmeyecektir.

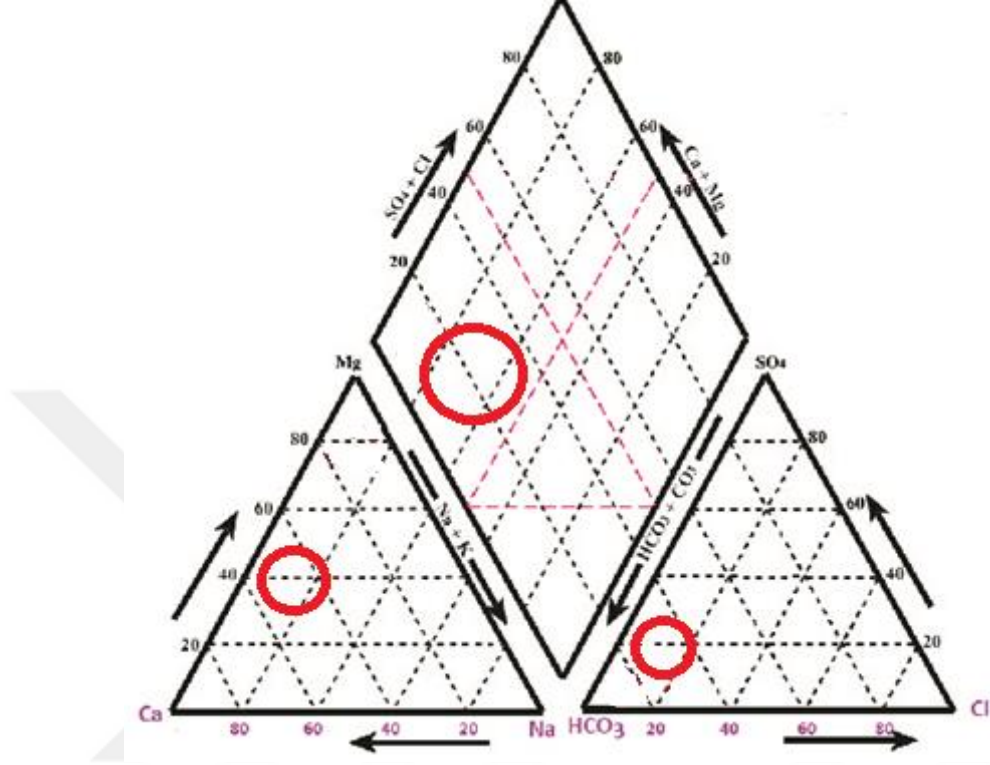
4.3. Suların Kimyasal Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Suların kökensel açıdan değerlendirilmesi, birbirleriyle ilişkilerinin araştırılması ve karşılaştırılması, sınıflandırılması ve toplu halde bir arada görülebilmesi için hidrojeolojide değişik diyagramlar ortaya konmuştur. Piper üçgen diyagramı (Şekil 4.3) ve Schoeller yarı logaritmik diyagramı (Şekil 4.4) gibi gerek benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından, gerekse iyonların topluca tek bir diyagramda görüntülenmesi bakımından oldukça geniş kullanım alanları olan diyagramlardır. Örnekleme noktalarına ait majör anyon değerleri ve katyon değerleri kullanılarak yarı logaritmik (Schoeller) grafiği oluşturulur (Şekil 4.4). Burada, sahadan alınan 6 adet yüzey ve galeriden derlenmiş su örneklerinin analizi ile belirlenmiş olan anyon ve katyon sonuçları baz alınarak çizilmektedir. Buna göre diyagramda, bölgedeki yüzey ve yeraltı suların katyon bakımından Ca^{+2} ve Mg^{+2} baskın iken, bazı örneklerde K ve Na da gözlenmektedir. Anyon açısından ise HCO_3^- açısından ise oldukça zengin sular, SO_4 ve Cl bakımından ise fazla zengin olmayan sular olarak tanımlamak doğru olacaktır. Dolayısıyla hem Piper hem de Schoeller diyagramdan hareketle, yöredeki suları Ca^{+2} ve Mg^{+2} HCO_3^- 'ca zengin sular olarak sınıflandırmak ve tanımlamak mümkündür. İncelenen sulara ait yarı logaritmik Schoeller diyagramında suların genelde paralel bir dizilim göstermeleri ve benzer iyon dizilim göstermeleri, bu suların aynı kaynak alandan beslenen, birbirine yakın ve benzer kökenli suları olabileceğini işaret etmektedir. Suların genel olarak düşük iyon miktarına sahip olmaları bu suların genç ve beslenme alanına yakın olduklarını dolayısıyla kısa dolaşım sistemine ve daha kısa süreli su kayaç etkileşimine maruz kaldıklarını işaret etmektedir.

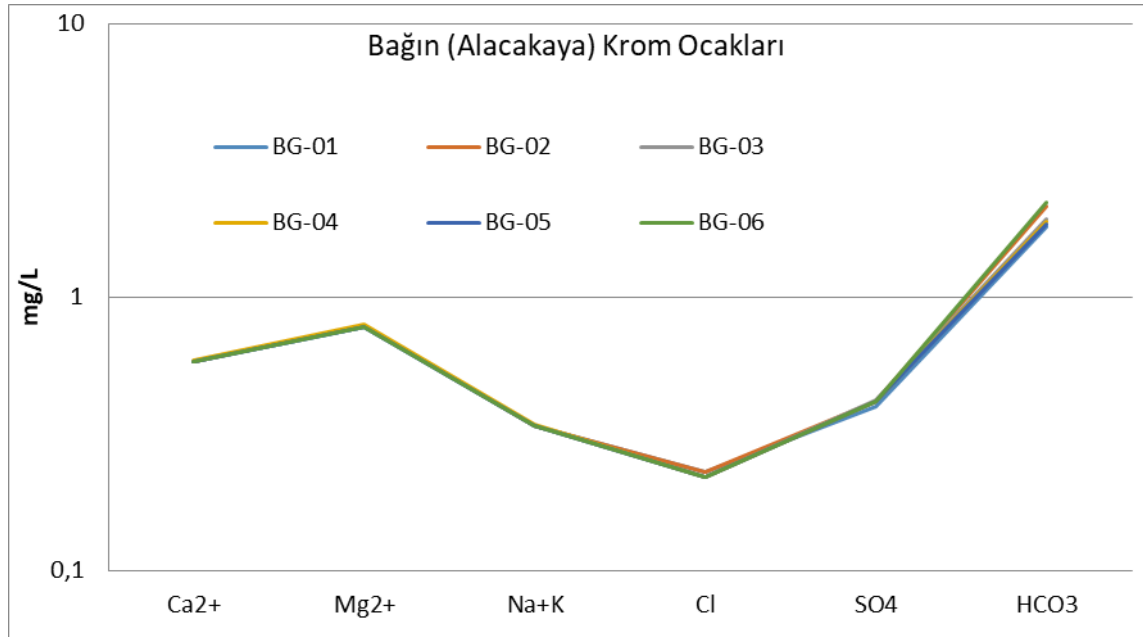
4.4. Suların Sulamada Kullanım Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları söz konusu suların sulama amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Şekil 4.5, Şekil 4.6). İnceleme kapsamında bulunan suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre bölgedeki suların tamamı “az tuzlu az sodyumlu sular” (C1S1) olarak sınıflandırılmıştır. Suların sulamada kullanılmasında herhangi bir sorun bulunmamaktadır. Wilcox diyagramı, suların elektriksel iletkenlik değerleri ve sodyum yüzdesine göre sulama sularının sınıflandırılmasını sağlayan diğer bir diyagramdır ve suyun 25 °C'deki sodyum yüzdesi ve elektriksel iletkenlik değerlerine göre çizilmiştir. İnceleme kapsamında bulunan suların Wilcox diyagramı kullanılarak sulama suyu

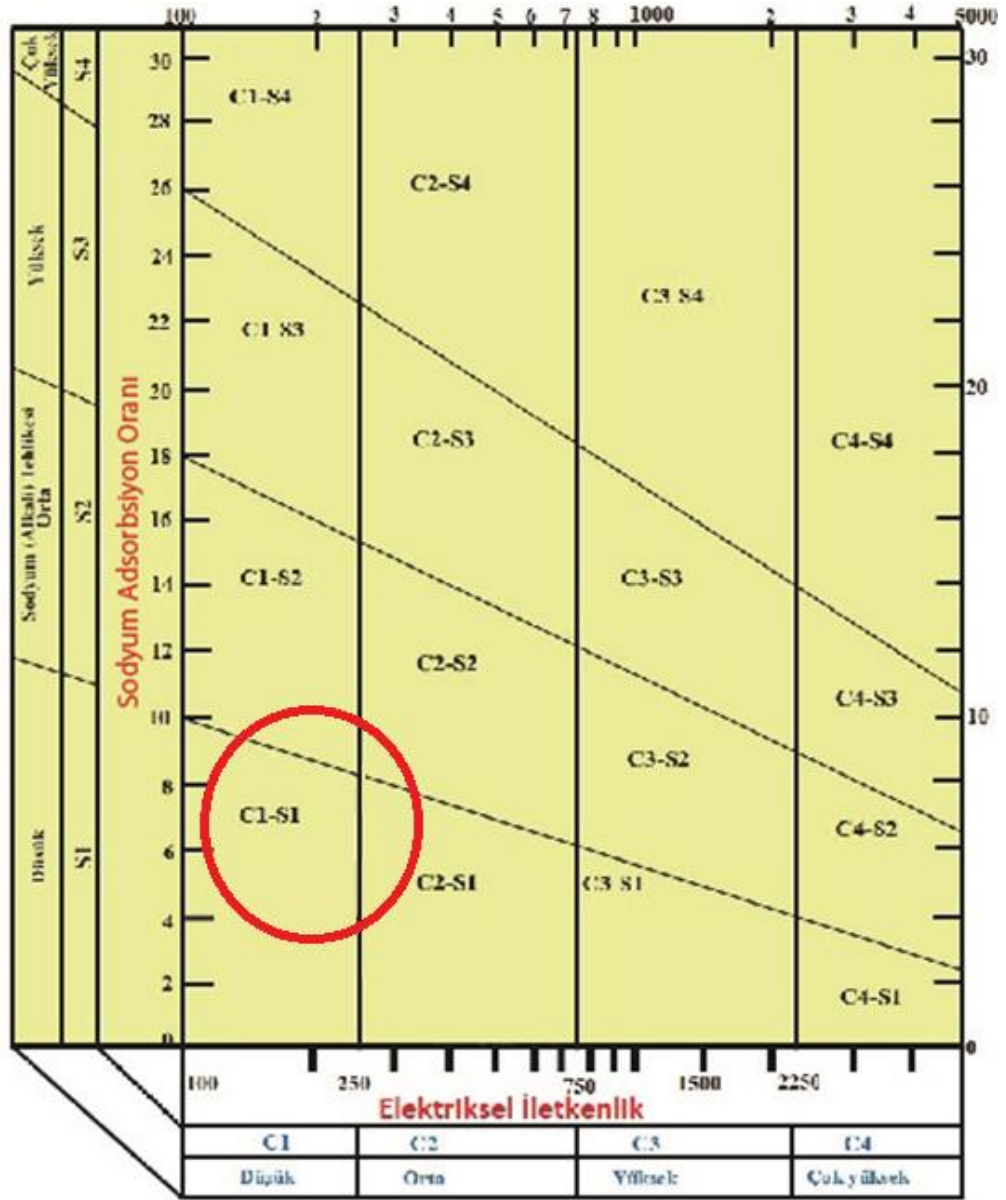
değerlendirmesine göre, bölgedeki suların tamamı iyi-çok iyi sulama suyu olarak sınıflandırılmıştır.



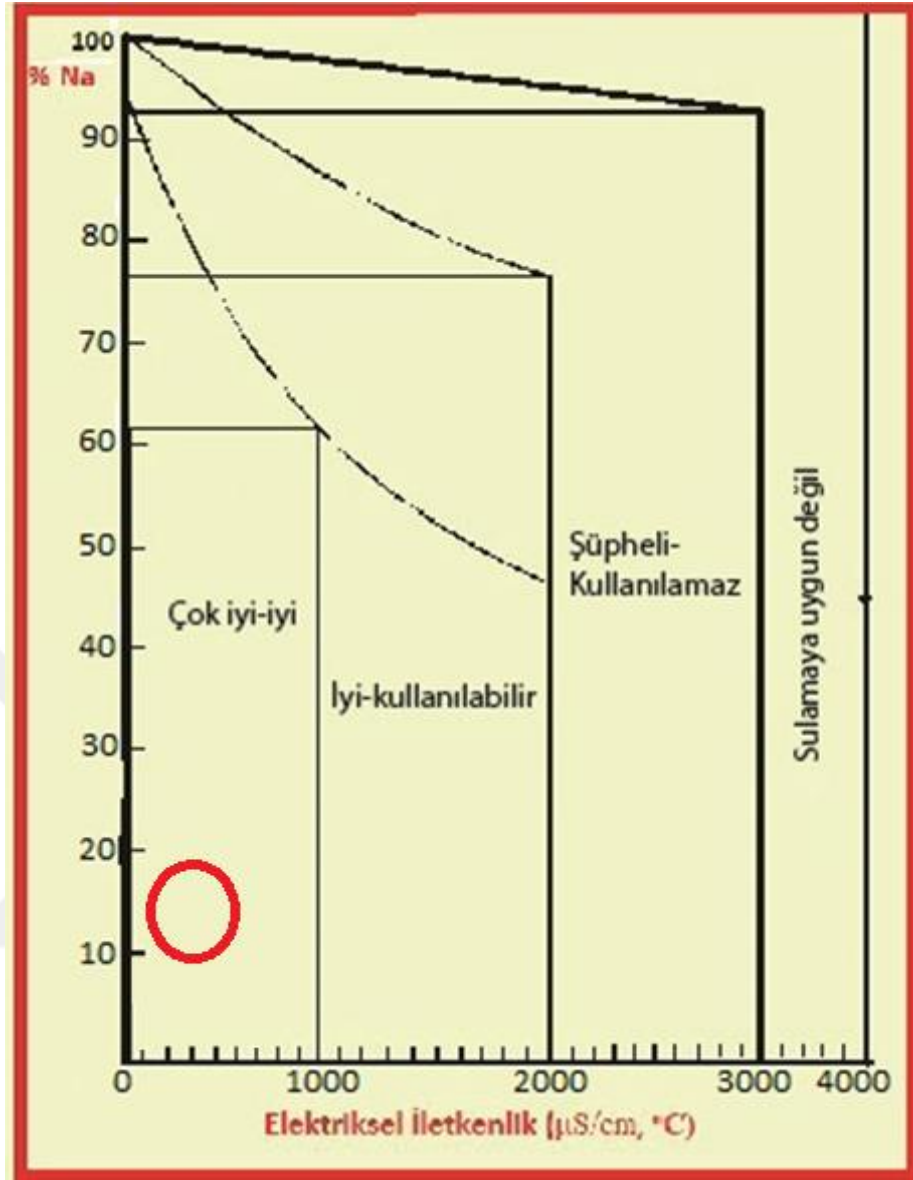
Şekil 4.3. İnceleme alanındaki suların Piper diyagramı üzerindeki dağılımı



Şekil 4.4. Alacakaya Bağın Bölgesi'ndeki sularının yarı logaritmik Schoeller diyagramları



Şekil 4.5. İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı



Şekil 4.6. İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagramı

5. SUDA AĞIR METAL DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ

Elazığ ili Alacakaya ilçesi Bağın mezrası sınırları içerisinde yer alan krom maden sahası çevresindeki sulara 70 elementi kapsayan ağır metal analizleri yapılmıştır. Analizler hem ACME (Kanada), hem de YEBİM (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Jeokimya Laboratuvarı) analiz laboratuvarında ICP-MS ile gerçekleştirilmiştir. Yöredeki su örneklerinin iz element analiz konsantrasyonları Tablo 5.1’ de verilmiştir. Her iki tabloda 34 elementin analiz sonuçları gözlenmektedir ve iki tablodaki örnekler benzer örneklere ait olmasına karşın zaman zaman değerler arasında değişiklikler görülmektedir. Tez çalışmasında daha çok ACE’de yapılan analiz sonuçları dikkate alınmıştır. Çalışma alanına ait her element için elde edilen analiz sonuçları su kalitesi açısından değerlendirilmiş ve Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri’nde yer alan suların sınıflandırılmasındaki sınır değerlerle karşılaştırılmıştır.

İnceleme konusu sulara değişik konsantrasyonlarda Alüminyum (Al), Arsenik (As), Bor (B), Baryum (Ba), Kalsiyum (Ca), Kobalt (Co), Krom (Cr), Bakır (Cu), Demir (Fe), Potasyum (K), Lityum (Li), Magnezyum (Mg), Mangan (Mn), Molibden (Mo), Sodyum (Na), Nikel (Ni), Kurşun (Pb), Kükürt (S), Antimuan (Sb), Silis (Si), Stronsiyum (Sr), Wolfram (W) ve Çinko (Zn)’ya rastlanmıştır.

Bölgedeki suların analizi sonucunda 59- 284 µg/L Al konsantrasyonu belirlenmiştir (Tablo 5.1). Alimünyumun yüksek değerleri özellikle maden işletmesi alt kesimlerindeki dere içinden alınmış sulara gözlenmiştir. Galer ve çoğu derek sularında çok düşük değerlerde gözlenmiştir. Ancak değerlerin tamamı sınır değerlerin (300 µg/L) altında olması nedeniyle yöredeki Al konsantrasyonlarının çevresel veya sağlık açısından WHO (2008) değerleri (0.2 mg/L) de dikkate alındığında herhangi bir risk veya olumsuz bir duruma sebep olmayacaktır. Yerkabuğunda bol miktarda bulunmasına rağmen serbest halde nadir bulunan Al yüksek konsantrasyonlara maruz kalındığında sağlık sorunlarına neden olabilmektedir

Çalışma alanında genellikle bazik ve ultrabazik kayaların mostra vermiş olması nedeniyle potansiyel anlamda bölgedeki su kaynaklarında As kirlenmesi beklenmemektedir. Yapılan analizlerde bölgedeki sulara yapılan As analizleri genelde ICP-MS’in dedeksiyon limiti olan 0.5 µg/L’ nin biraz üzerinde değerler bulunmuştur. Dolayısıyla bu anlamda düşünüldüğünde yöredeki su kaynaklarında potansiyel anlamda bir arsenik kirliliği veya endişesi görülmemektedir. .

Tablo 5.1. Çalışma alanındaki su örneklerinin hem ACME (A), hem de YEBİM'deki (B) ICP-MS cihazında ölçülen iz element analiz sonuçları

	<u>Ag</u> µg/L	<u>Al</u> µg/L	<u>As</u> µg/L	<u>Au</u> µg/L	<u>B</u> µg/L	<u>Ba</u> µg/L	<u>Br</u> µg/L	<u>Ca</u> mg/L	<u>Cl</u> mg/L	<u>Co</u> µg/L	<u>Cr</u> µg/L	<u>Cu</u> µg/L	<u>Fe</u> µg/L	<u>Hg</u> µg/L	<u>Ho</u> µg/L	<u>In</u> µg/L	<u>K</u> mg/L	(A)
DL	0.05	1	0.5	0.05	5	0.05	5	0.05	1	0.02	0.5	0.1	10	0.1	0.01	0.01	0.05	
BG-01	<0.05	72	1,1	<0.05	7	58,06	8	41,02	<1	0,08	2,2	3,3	32	<0.1	<0.01	<0.01	0,29	
BG-02	<0.05	93	0,7	<0.05	17	42,75	12	33,95	1	0,24	5,6	2,6	62	<0.1	<0.01	<0.01	0,45	
BG-03	<0.05	59	1,1	<0.05	77	44,45	39	29,28	6	0,04	6,4	2,4	20	<0.1	<0.01	<0.01	0,26	
BG-04	<0.05	284	1,7	<0.05	29	49,82	19	35,42	2	1,14	6,2	6,5	388	<0.1	<0.01	<0.01	0,41	
BG-05	<0.05	123	2,5	<0.05	223	28,66	152	23,07	19	0,81	9,1	5,2	260	<0.1	<0.01	<0.01	0,35	
BG-06	<0.05	136	0,7	<0.05	10	42,10	9	37,39	1	0,22	5,2	3,4	69	<0.1	<0.01	<0.01	0,33	
	<u>Li</u> µg/L	<u>Mg</u> mg/L	<u>Mn</u> µg/L	<u>Mo</u> µg/L	<u>Na</u> mg/L	<u>Ni</u> µg/L	<u>Pb</u> µg/L	<u>Rb</u> µg/L	<u>S</u> mg/L	<u>Sb</u> µg/L	<u>Si</u> µg/L	<u>Sr</u> µg/L	<u>Th</u> µg/L	<u>U</u> µg/L	<u>V</u> µg/L	<u>Zn</u> µg/L	<u>Zr</u> µg/L	
DL	0.1	0.05	0.05	0.1	0.05	0.2	0.2	0.01	1	0.05	40	0.01	0.05	0.02	0.2	0.5	0.02	
BG-01	0,3	3,87	8,15	<0.1	2,30	0,3	72	0,19	2	0,10	4008	115	<0.05	0,05	1,1	11,9	0,04	
BG-02	0,1	13,29	19,93	<0.1	1,66	2,6	57	0,15	2	0,06	5312	124	<0.05	0,07	0,6	12,3	0,07	
BG-03	1,1	16,23	3,00	0,2	2,67	1,1	81	0,27	5	0,07	5887	166	<0.05	0,04	1,1	16,9	0,03	
BG-04	0,4	10,80	53,42	<0.1	2,08	10,4	128	0,36	2	0,10	3906	110	<0.05	0,05	1,1	25,0	0,02	
BG-05	0,3	26,18	19,17	0,1	2,15	16,2	109	0,21	5	0,13	2500	78	<0.05	0,02	0,5	21,1	<0.02	
BG-06	0,2	12,39	14,81	<0.1	1,31	2,2	125	0,22	2	0,06	4498	109	<0.05	0,08	1,1	21,3	0,07	

Örnek No	B	Ba	Bi	Ca	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Er	Fe	Ga	Gd	Ho	In	K	Li	(B)
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
BG-01	0.003	0,065	0.027	20576	0,076	0,078	0,076	0,008	0,002	0,059	0,071	0,000	0,002	0,043	0,018	0.244	0,010	
BG-02	0.003	0,071	0.022	16744	0,076	0,079	0,077	0,009	0,002	0,060	0,071	0,000	0,002	0,042	0,011	0.537	0,004	
BG-03	0.007	0,065	0.019	21201	0,076	0,078	0,078	0,009	0,002	0,060	0,071	0,000	0,001	0,043	0,013	0.276	0,004	
BG-04	0.032	0,066	0.018	18224	0,075	0,079	0,077	0,008	0,005	0,058	0,070	0,001	0,002	0,043	0,018	0.355	0,001	
BG-05	0.010	0,064	0.022	21257	0,075	0,079	0,077	0,009	0,002	0,060	0,071	0,000	0,001	0,043	0,022	0.286	0,004	
BG-06	0.049	0,066	0.032	20569	0,074	0,078	0,077	0,009	0,003	0,058	0,068	0,000	0,001	0,043	0,014	0.421	0,001	
Örnek No	Lu	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	Rb	Re	Se	Sm	Sr	Th	Tl	U	V	Zn	
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
BG-01	0,001	2922	0,087	0.114	0.063	0.021	0,015	0,000	0,019	0,106	0,113	0.147	0.005	0,125	0,118	0.064	0,078	
BG-02	0,001	4975	0,088	1243	0.083	0.025	0,016	0,004	0,013	0,090	0,108	0.107	0.003	0,125	0,102	0.064	0,079	
BG-03	0,001	1332	0,088	1267	0.064	0.021	0,018	0,004	0,029	0,086	0,115	0.153	0.005	0,129	0,089	0.064	0,078	
BG-04	0,002	4577	0,088	1559	0.170	0.027	0,018	0,004	0,008	0,091	0,114	0.196	0.004	0,126	0,100	0.063	0,078	
BG-05	0,000	1240	0,088	1268	0.067	0.024	0,015	0,000	0,035	0,102	0,111	0.151	0.006	0,126	0,102	0.064	0,078	
BG-06	0,000	1452	0,087	1555	0.064	0.013	0,017	0,004	0,015	0,078	0,117	0.149	0.005	0,126	0,106	0.064	0,078	

Bor (B), bölgedeki suların analizinde cihazın dedeksiyon limiti olan 5 µg/L' ın biraz üzerinde değerler vermiştir. Hem dere hem de galeri suyunda birbirine çok yakın değerler olan 7-223 µg/L arasında B içerikleri analiz edilebilmiştir (Tablo 5.1). Dolayısıyla bor açısından yöredeki sulara WHO (2008)'nun içilebilir su standartlarındaki değeri (0.3 mg/L) düşünüldüğünde, bölgedeki suların bor açısından herhangi bir olumsuz risk taşımamaktadır. Suların tamamı Bor içeriği açısından I. sınıf su kalitesi özelliğine taşımaktadır.

Potansiyel anlamda bazik ve ultrabazik kayalar içerisinde önemli zenginleşmeler gösterebilen Cu, Co ve Cr elementleri çalışma alanındaki su örneklerinde analiz edilmiştir (Tablo 5.1). Bu sonuçlara göre Cu, Ni ve Co değerleri WHO (2008)'nun standartlarına (0.05 mg/L) göre çok düşük değerlere sahip olduğu gözlenirken, krom ise genelde 2.2-9.1 µg/L arasında küçük değerlere sahiptir. Bu değerler de WHO'nun değeri ile kıyaslandığında oldukça düşük değerler olarak görülmekte, dolayısıyla da bu suların tüketilmesinde Cr, Ni ve Co açısından bir risk oluşturmamaktadır.

Mangan (Mn), çalışma alanındaki suların tamamında 3.0 ile 53,4 arasında çok düşük değerler tespit edilmiştir (Tablo 5.1). Doğal olarak manganın bazik ve ultrabazik kayalar içerisinde daha yüksek konsantrasyonlarda olması beklenirdi ancak yöredeki su analizlerinde düşük değerlere sahip olması olasılıkla Mn+2'nin suyun asit ve baz oluşuna göre suyun bünyesinde kalması veya çökmesi gibi etkenlere bağlı olarak, olasılıkla su içerisinde var olan Mn elementi bölgedeki suların daha çok bazik karakteri nedeniyle çökelmiş olması düşüncesi ağırlık kazanmaktadır. Şayet özellikle su kaynakları veya dere yataklarındaki çökellerde daha yüksek oranda Mn ve Fe' in depolanmış olması jeokimyasal bir olgu olarak beklenilmesi gerekir. Ancak böyle ortamlarda mangan demir iyonlarından daha hareketlidir ve daha uzun süre suda kalma eğilimine sahiptir. Kayaların jeokimyasal bozulması sırasında mangan demire göre daha erken çözeltiye geçme eğilimi gösterir. Mangan mineralleri demir minerallerine göre daha bazik ve daha oksidan koşullarda çökebildiklerinden dolayı derin koşullarda demir ve mangan iyonları bir arada bulunurken yüzeysel koşullarda birbirinden ayrılır ve mangan daha çok zenginleşir (Gökçe, 2000). Suların tamamı Mn içeriği açısından I. sınıf su kalitesi özelliğine sahiptir.

Vanadyum (V) elementi örnekleme noktası haricinde diğer bütün örneklenen sulara eser miktarda olsa da tespit edilmiştir. Bu iki element doğada pek çok farklı mineralde bileşik halinde bulunur. En çok mafik kayalarda, granitik kayalarda, şeyllerde, kireçtaşı ve kumtaşlarında gözlenir. Çalışma alanındaki sulara çok az oranda gözlenmektedir (Tablo 5.1). Çevresel açıdan herhangi bir risk oluşturmamaktadır.

Çalışma alanındaki sulara analizi edilen Mo, Pb, Sb, Si, Th, U, U, Th, Zn gibi diğer elementlerin çok düşük oranlarda gözlendiği ve WHO standartlarındaki değerin çok altında değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla bu elementlerin Alacakaya Bağın Bölgesi'ndeki

su kaynakları açısından bir risk oluşturmadığı ve bu element içerikleri açısından I. sınıf su kalitesi özelliği taşıdığı tespit edilmiştir

Sonuç olarak, yöredeki su örneklerinin ağır metal analiz sonuçları ve kalite kriterleri açısından değerlendirildiğinde; kaynak ve galeri sularının tamamı I. sınıf su kalitesine sahiptir. Bu da WHO (2008)'nin içilebilir su standartları sınır değerleri ile karşılaştırıldığında, bölgedeki sulara herhangi bir ağır metal kirliliği verilerine rastlanmadığı gözlenmiştir.

Köktan (2018) Elazığ ilinin yaklaşık 30 km güneydoğusundaki Maden ilçesi ve 50 km doğusunda Alacakaya ilçesi sınırlarında 1/100.000 ölçekli topoğrafya haritalarında K43-L43 paftaları içinde yer alan sahadaki sulara yaptığı kirlilik çalışmasında, bölgede Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Guleman ofiyolitine ait kayaçlar gözlemlendiğini ifade etmiştir. Bu kayaçlardan türeyen yüzey ve yeraltı sularının anyon ve katyon analizleri yaparak, çeşitli iz element analizlerini gerçekleştirmiştir. Buna göre sahadaki As, Ag, Cd, Pb, Sb ve Zn sırasıyla (0-0,034), (0-0), (0-0,0031), (0-0,653), (0-0,0014) ve (0-0,011) ppm değerleri arasında olduğu saptanmış, 2017 (yağışlı dönem) analiz sonuçlarına göre As, Ag, Cd, Pb, Sb ve Zn sırasıyla (0-0,0009), (0-0), (0-0,00022), (0-0,336), (0-0,0035) ve (0-0,1249) ppm değerleri belirlenmiştir.

Yücel (2022) ise Elazığ İli Alacakaya ilçesi krom yatakları çevresindeki yüzey ve yeraltı sularındaki ağır metal kirliliğinin araştırmıştır. Bu kapsamda bölgede gözlenen dereler, galeriler ve kaynak sularından temmuz ayında (2021) su örnekleri toplamış, bu örneklerde çok sayıda katyon ve anyon analizleri yaptırmıştır. Alınan su örneklerinin anyon analizleri Elazığ İl Özel İdaresi Analiz laboratuvarında iyon analizöründe, katyon analizleri ise Acme (Kanada) Analiz Laboratuvarı'nda ICP-MS'de yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre yöredeki suların sınıflaması yapılmış ve buna göre bölgedeki suların Mg^{+2} , Ca^{+2} ve HCO_3^- 'ca zengin sular olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada, bölgedeki suların ağır metal seviyeleri kirlilik kriterleri açısından değerlendirilmiştir. Bölgedeki sulara ortalama 24.9 ppb Al, 0.6 ppb As, 13 ppb B, 40.7 Br, 15.6 ppm Cl, 0.04 ppb Co, 8.6 ppb Cr, 12 ppb Fe, 28.08 ppm Mg, 3.71 ppm Na, 0.81 ppb Ni, 4832 ppb Si, 0.03 ppb Pb, 21.9 ppb Sr, 0.03 ppb U ve 1.85 ppb V içerdiği saptanmıştır. Bu sulardaki ağır metal seviyeleri, Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün içme suyu standartlarının altında değerler bulunmuştur. Yöredeki yüzey ve yeraltı suları, bölgedeki yoğun madencilik çalışmalarına rağmen herhangi bir ağır metal kirliliği saptanmamıştır.

Doğan (2015) Guleman krom yatağı çevresinde krom ile kirlenmiş sulardan sucul bitkiler kullanılarak ağır metalleri kaldırmak için oldukça ucuz ve etkili bir yöntem olduğunu belirterek, *L. gibba* ve *L. minor* bitkilerinin Guleman krom yatağından gelen maden suları içerisindeki Cr, N ve Co metallerinin kaldırma kapasitelerini incelemiştir. *L. gibba* and *L. minor* bitkilerini maden sularının bulunduğu Gölalan içerisine 8 gün boyunca yerleştirmiş ve daha sonra her gün düzenli örnekler alınarak bunların analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu örnekler çeşitli metaller için analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; Cr için *L. minor* 8. günde % 398, *L.gibba*'da ise 8. günde %

196; Ni için *L.minor* 8. günde % 1473, *L. gibba*'da ise 8. günde % 307; Co için *L. minor* 8. günde % 223, *L. gibba*'da ise 8. günde % 166 gibi akümülayonlar gözlenmiştir.



6. HİDROJEOLÖJİK SİSTEM VE RİSK ETMENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Yerel Hidrojeolojik Sistem

Çalışma alanı Bağın Mezrasının yaklaşık 2 km batısında dere içerisinde yer almakta olup, topografik olarak engebeli bir yapı sergilemekte ve derin vadi ve tepeler sıkça çevrede gözlenmektedir. Bu vadilerin oluşumunda kırıklı yapılar ve tektonizma oldukça fazla etkili olmuştur. Fay sistemlerinin genel hatları doğu-batı olmakla birlikte bu ana vadileri kuzey güney veya kuzeybeti-güneydoğu doğrultulu pek çok vadiler yer almaktadır. Çalışma alanındaki topografik olarak yüksek kotlu kesimler yöredeki suların beslenme alanını, akarsuların yer aldığı düşük kotlar veya düzlükler ise boşalım eksenini oluşturur. Bu nedenle yeterli geçirgenliğe sahip kayalar muhtemel yeraltı suyu hareketine yön veren en önemli litolojik kriter olarak kabul edilmektedir ve su akılarının yönlenmesinde ve hareketinde önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Bölgede gözlenen drenaj ağları, geçirimsiz birimler üzerinde genelde kötü gelişmiş vadi yoğunluğu düşük orta dentritik drenaj ağları şeklinde görülmektedir. Yüksek kesimlerden gelen derelerde mevsimsel olarak değişiklik göstermekle birlikte 8-12 lt/sn debi ile akmaktadır. Bu sular bahar aylarında çok daha fazla aktığı tahmin edilmektedir. Galeri içerisindeki su ise kırık zonlu boyunca gelişmiş olup, galeri içerisine boşalmaktadır. Bu suyun halihazırda ortalama debisi 8-10 lt/sn arasında bir debi ile önce motopomp ile ana galeriye oradan da dışarı boşaltılmaktadır (Şekil 6.1 ve 6.2). Bu suyun yaklaşık doğu-batı doğrultulu bir kırık veya fay sistemi tarafından kontrol edildiği düşünülmektedir. Bu suyu daha derin zonlarda sondajla keserek buradaki suyun pompajla çekilmesi ile galeriye gelmeden alınması mümkün olacaktır. Bu şekilde galeri içerisinde derin kesimlerde su baskını veya su kaynaklı diğer risklerin oluşması da önlenmiş olacaktır. Halihazırda yaklaşık 8-10 lt/sn debi ile akmakta olan su motopomplar ile düzenli olarak dışarı atılmaktadır ve mevcut hali ile düzenli motopomp ile çekilmesi durumunda, madencilik veya krom üretimini engelleyecek herhangi bir olumsuzluk olmayacaktır.

Yöredeki yeraltı suları topografik eğimin de etkisi ile bölgede kırık sistemler ve gözenekli birimler boyunca düşey ve yatay yönde hareket eder. Sığ dolaşım sistemine sahip sular, hidrolik dolaşım süresince mafik ultramafik birimlerle kısa süreli olarak temas ederek anyon ve katyonlar açısından zenginleşmektedirler. Kırık sistemlerinin oluşturduğu hidrolik akımlar sonucunda, yer yüzeyine kaynak şeklinde çıkan sular, eğimle birlikte gelişen küçük debili akarsuları oluşturur ve bu sular daha sonra büyük vadilerdeki akarsulara karışarak bölgeden uzaklaşır. Su boşalımı genellikle bahar aylarında yöredeki, tüm vadilerdeki ana derelerde gözlenirken yaz ve sonbahar aylarında ise bu dereler yavaş yavaş susuz derelere dönüşmektedir. Bölgede yaz ve sonbahar aylarında ana dereler dışında su bulunmamaktadır.



Şekil 6.1. Ana galeri boyunca dışarı atılan suyun galerideki görüntüsü



Şekil 6.2. Ana Galerisi içerisinde dışarı atılan suyun galerideki görüntüsü

6.2. Hidrojeolojik Risk Etmenlerinin Maden Üretimi Açısından Değerlendirilmesi

Yörede bir ana galeri ve bu galeriye bağlı pek çok baş aşağı ve başyukarılar yer almaktadır ve bu galeriler değişik kotlarla birbiri ile bağlantı halindedir. Bölgedeki ana galerinin hemen her bölgesi küçü su sızıntıları dışında kuru olmakla birlikte, sadece ana galerinin belirli bir kesiminde kırık zonu boyunca su çıkışı gerçekleşmektedir. Bu su yaklaşık 8-10 lt/sn debi ile yerinde küçük bir kaptaj alanında toplanmakta, daha sonra bu su motopomplar ile ana galeri vasıtasıyla dışarı atılmakta ve hemen önündeki dere yardımıyla da bölgeden uzaklaştırılmaktadır (Şekil 6.1 ve 6.2). Mevcut hali ile bölgedeki madencilik veya üretimi olumsuz anlamda etkileyebilecek bir risk oluşturmamaktadır. Benzer şekilde, galeriye boşalan su, düzenli olarak motopomp ile çekildiği ve dışarı boşaltıldığı sürece galeride çalışanlar açısından da herhangi bir risk oluşturmamaktadır. Ancak galeriye boşalan suyun açılacak derin bir sondaj ile daha derin kodlardan alınarak galeriye boşalmadan dışarı atılması sonucunda, hem galeri içerisindeki çalışma kalitesini artıracak, hem de ana galeri içerisinde akan suyu engelleyerek, bu alanlarda daha verimli çalışmaların gerçekleşmesine yol açacaktır.

Ayrıca galeri açılması veya üretim yapılması esnasında yapılan patlatmalar da yeni kırık sistemlerinin oluşmasına veya var olan sistemlerin daha geçirimli hale gelmesine neden olmaktadır. Bu durum yöredeki yeraltı suyu akışını hızlandırmakta ve bu suyun bölgeden ivedilikle boşalmasını sağlamaktadır. Bu nedenle özellikle uzun galerilerde su boşalmasını kalıcı hale getirecek kanal ve boru sistemleri olmalıdır. Yöredeki kayaların ofiyolitik kayalardan oluşması nedeniyle mevcut akifer sistemi içerisinde çok yüksek hacimli su kütlelerini bünyelerinde tutmaları mümkün değildir. Dolayısıyla yüksek debili boşalmalar bu galeriler boyunca beklenmemelidir.

Yeraltı suyunun miktarının galeri içerisinde ani artması;

- ekipman kayıplarına,
 - ekipman bakım masraflarının artmasına,
 - pompaj ve drenaj masraflarının artmasına,
 - çalışma gücüne bağlı zaman kaybına,
 - kayaçlarda ayrışmayı artırarak göçmelere ve aşırı sökülmelere neden olabilir.
- Yeraltı sularının risk etmenlerini azaltmak için;
- yapısal unsurların iyi belirlenmesi,
 - fay zonlarının geçirimsizlik derecelerinin incelenmesi,
 - eklem ve çatlakların yoğunluğunun belirlenmesi, genel doğrultuları ve etken oldukları derinliğin saptanması,
 - yeraltı su kaynaklarının düzenli olarak gözlenmesi,
 - galeri içlerinde kapalı drenaj sistemlerinin kullanılması tavsiye edilir.

İnceleme alanında yüzeysel su kaynaklarının üretim sahasından çok daha düşük kotlarda yer almasından dolayı hidrojeolojik açıdan maden üretimine etki edebilecek yüzeysel su kaynakları açısından herhangi bir risk tehlikesi bulunmamaktadır.

Yöredeki hem dere suları ham de galeri içerisindeki suların fiziksel ve kimyasal parametre değerleri de maden üretimini engelleyecek veya etkileyebilecek risk etmenlerine sahip değildir.



7. SONUÇLAR

Elazığ İli, Palu İlçesi, Bağın Mezrası batısında yer alan krom maden sahasında jeolojik hidrojeolojik çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıda açıklanmıştır:

Çalışma alanında gözlenen kaynak ve yüzey sularının fiziko-kimyasal parametreleri aşağıdaki şekilde değişmektedir; Sıcaklık 11.2 - 16.8 °C, pH 8.11 – 8.99, elektriksel iletkenlik (EC) 203 - 293 µS/cm arasında, Renk 24-36 arasında, Çözünmüş Oksijen 9.22 ile 9.42 arasında değişmektedir. Dere suları genelde 11.2-16.8 °C arasında iken, galeriden çıkan su ise 16.5 °C civarındadır.

Sular elektriksel iletkenlik değerleri ortalama 243 µS/cm olup, “*elektriksel iletkenliği düşük iyi - çok iyi sular*”, sertlik değerleri açısından ise Ca^{+2} ve Mg^{+2} toplam konsantrasyonları dikkate alındığında “ *çok yumuşak sular*” olarak sınıfına dahil edilmektedir.

Söz konusu sular K^{+} , Na^{+} , Cl^{-} , ve SO_4^{-2} iyonları özelliği açısından kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre I. sınıf su kalitesi özelliğine sahiptir.

Bölgedeki sular, Schoeller ve Piper diyagramından da görüldüğü gibi; aynı havzadan beslenen, benzer kökenli, katyonlar açısından Ca ve Mg, anyon açısından ise HCO_3^{-} ca zengin olan $CaMgHCO_3$ tip sular olarak sınıflandırılmışlardır. Çalışma alanındaki sular genel olarak sığ dolaşım sistemine ve kısa süreli su kayaç temas özelliğinden dolayı düşük anyon+katyon derişimi ve elektriksel iletkenlik değerlerine sahiptir. Bu durum kısmen suyun bazik karakteri nedeniyle yan kayaçlardan çözüldükten sonra olasılıkla beslenme havzası yakınında çökelmiş olması ile açıklanmaktadır.

İnceleme alanında bulunan suların tamamı ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramlarından da görüldüğü üzere az tuzlu ve az sodyumlu sular (C1S1) ve iyi - çok iyi sulama suyu olarak sınıflandırılmıştır.

-Çalışma alanında yer alan sular renk değerleri açısından değerlendirildiğinde, içerisinde kolloidal askı maddelerinin azlığı nedeniyle oldukça berrak bir renge sahiptir. Bölgedeki madencilik faaliyetlerinin söz konusu sulardaki renk artışına herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığını göstermiştir.

Çalışma alanından alınan suların katyon bolluklarına göre genelde $Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^{+} > Na^{+}$ şeklinde bir dizilim göstermektedir. Anyon sonuçlarına göre ise bolluk dizilimleri $HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > NO_3^{-} > Cl^{-} > F^{-}$ şeklinde gözlenmektedir.

Bölgedeki suların, bazik ve ultrabazik kayaçlar içerisinden gelmektedir ve doğal olarak beslenme alanı bu kayaçlardır. Yüzey veya yağmur suları bu kayaçların içerisinden geçerken bu

kayaçları yıkayarak bünyesine bir takım metalleri almaktadır. Bu kayaçlarda gözlenen en yaygın metal Ca ve Mg' dur. Bunun dışında eser halde bulunan pek çok element de bu sular tarafından çözündürülerek, bünyelerinde asılı halde kalabilmektedir. Sulara yapılan 70 elementi içine alan su analizlerinde pek çok elementin çok düşük konsantrasyonlarda bulunması nedeniyle cihazın dedeksiyon limitinin altında kaldığı gözlenmiştir. Özellikle 6 noktadan alınan su örneklerinde Cu, As, Ni, Cr, Mn, B, Zn, Pb gibi ağır metallerin çok düşük oranda gözlemlendiği saptanmıştır ve bu örneklerin hepsinin de Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1993)'ün içme suyu standart değerleri ile kıyaslandığında çok düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan da Alacakaya bölgesi Bağın mezrası yöresinde krom ocakları çevresindeki sulara herhangi bir ağır metal kirliliğine rastlanmadığını ispat etmektedir. Dolayısıyla yöredeki sular hem içme, hem de kullanma amaçlı olarak kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığını, yaşayan canlılar için herhangi bir sağlık problemine yol açmayacağı ve çevresel bir risk oluşturmayacağını göstermektedir. Ancak yöredeki madencilik faaliyetlerinin devamı süresince özellikle yeni açılan galerilerdeki su örneklerinde rutin örnekler alınarak, potansiyel kirlenici olabilecek elementler (Cu, As, Ni, Cr, Mn, B, Zn, Pb) için su analizleri yapılmalıdır.

Yapılan hidrojeolojik incelemeler sonucunda bölgede gerçekleştirilen madencilik faaliyetlerinin inceleme alanı ve çevresindeki su kaynaklarının kalitesine ve kullanım özelliklerine herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Yapılan analizler neticesinde suların herhangi bir noktasal veya alansal organik ve inorganik kirlenimler tarafından kirlenmediği tespit edilmiştir.

Yöredeki su kaynakları hem yüzeysel olarak derelerde, hem de ana galeri içerisindeki kırık zonlu boyunda yaklaşık 8-10 lt/sn debi ile boşalmaktadır. Bu su halihazırda motopomplarla ana galeri boyunca dışarı atılmaktadır. Düzenli olarak motopomplarla çekildiği takdirde yöredeki madencilik faaliyetlerini olumsuz anlamda etkilemesi mümkün değildir. Bu hali ile suyun galeriden çekilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır. Ancak uzun dönemde su çıkışının bulunduğu alanın daha alt kotlarına doğru yapılacak derin sondaj ile galeriye gelecek olan suyu, sondaj vasıtasıyla alıp, bölgeden uzaklaştırılmasının daha doğru bir yol olacağı kanaatindeyim. Bu durumda ana galeri içerisindeki ıslak durum ortadan kaldırılmış ve daha verimli bir üretim faaliyetlerinin gerçekleşmesinin önü açılmış olacaktır. Ayrıca bölgedeki yaygın kayaçların ultrabazik kayaçlar olması nedeniyle, çok yüksek hacimli akifer veya su kütlesini bünyelerinde bulundurmamasından dolayı bölgede yüksek debili ve ani boşalımlı su hareketleri bu galeriler boyunca beklenmemelidir.

KAYNAKLAR

- Akpor, O.B., Ohiobor, G.O., Olaolu T.D. 2014..Heavy metal pollutants in wastewater effluents: Sources, effects and remediation. *Advances in Bioscience and Bioengineering*, 2(4), 37-43
- Doğan, I.M. 2014. *Lemna gibba* ve *Lemna minor*'ün galeri suyundaki bazı ağır metalleri alım kapasitelerinin karşılaştırılması. *Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi*. 33 s. Elazığ.
- Engin, T., Balcı, M., Sümer, Y., Özkan, Y.Z., 1983. Guleman krom yatakları ve peridotit biriminin genel jeoloji konumu ve yapısal özellikleri. *MTA Dergisi* 95/96, 77-100.
- Fernandez-Luqueno, F., López-Valdez, F., Gamero-Melo, P., Luna-Suárez, S., Aguilera-González, E.N., Martínez, A.I., García-Guillermo, M., Hernández-Martínez, G., Herrera-Mendoza, R., Álvarez-Garza, M.A. 2013. Heavy metal pollution in drinking water-a global risk for human health: A review. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* 7, 567-584.
- Goswami, C.; Majumder, A.; Misra, A.K.; Bandyopadhyay, K. 2014. Arsenic uptake by *Lemna minor* in hydroponic system. *Int. J. Phytoremediation* 16, 1221-1227.
- Güven, A., 2013. Hazar gölü (Elazığ) çevresindeki alüvyon akiferlerinin hidrojeoloji incelemesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 76 s. Elazığ.
- Hapcıoğlu, B., Dişçi, R., Demir, L., Bacak, E., Güray, Ö. ve Özer, N., 1992. Türkiye içme sularında florürün bölgesel dağılımı, *İstanbul Üni. Diş Hekimliği Fak. Dergisi* 26/4, 222-223.
- Islam, M.S. Ahmed, M.K. Proshad, R. Ahmed, S. 2017. Assessment of toxic metals in vegetables with the health implications in Bangladesh. *Advances in Environmental Research, an Int. J.* 6 (4), 241-254.
- Kabata-Pendias, A. 2011. *Trace Elements in soils and plants*. CRC Press, Boca Raton.
- Köktan, N.2018. Maden sahalarının çevresel etkileri; GD Elazığ Örneği. *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tez*, 50 s. Batman
- Lim, S., Chu, W., Phang, S., 2010. Use of *Chlorella vulgaris* for bioremediation of textile wastewater. *J. Bioresour. Technol.* 101, 7314-7322.
- Sasmaz, M. 2015. *Lemna gibba* ve *Lemna minor*' ün galeri suyundaki bazı ağır metalleri alım kapasitelerinin karşılaştırılması. *Master Tezi*. 43 s. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Elazığ, Turkey (Abstract with English) (unpublished).
- Sasmaz A, Dogan, I.M., Sasmaz M.. 2016. Removal of Cr, Ni and Co in the water of chromium mining areas by using *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. *Water & Environmental Journal* 30/3-4; 235-242.
- USEPA. 2001. *Brownfields Technology Primer: Selecting and Using Phytoremediation for Site Cleanup*. USEPA (United States Environmental Protection Agency), Washington DC.
- USEPA, 2020. U.S Environmental Protection Agency. National recommended water quality criteria - aquatic life criteria table.
- Üşümezsoy, Ş., 1986. Kefdağ ve Soridağ (Guleman) kromit kütlelerinin oluşumu üzerine yeni bir yaklaşım. *Jeoloji Mühendisliği*, 29, 47-60.
- Thayer, T.P. 1964. Principal features and origin of podiform chromite deposits and. some observations, on the Guleman-Soridağ district. Turkey. *Econ. Geol.* 59, 1497-1524.
- WHO, 1993. *Guidelines for drinking – water quality, recommendations*. World Health Organization, 2nd ed., 188, Genova.
- WHO, 2006, *Guidelines for Drinking-water Quality*. 53 pp. Geneva, Switzerland.
- WHO, 2008. *Guidelines for drinking-water quality: incorporating first and second addenda to third edition*. *Theatr Rec* 1, 1-494.
- Yücel, H.C. 2022. Alacakaya krom yatağı çevresindeki suların ağır metal kirliliği potansiyelinin incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*. 43 s. Elazığ
- Zengin, Y., 1960, The distributkm of chromite reserves in successive layers and scattered lenlses, In *symposium on chrome ore, CENTO, Ankara* 122.-136.

ÖZGEÇMİŞ

Neccar AKKAYA

[REDACTED]

[REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED]

AKADEMİK FAALİYETLER

Bildiriler:

1. Akkaya, N. ve Şaşmaz, A. 2024. Investigation of heavy metal pollution in the waters around the Bağın (Palu-Elazığ) chromite deposits. 4. International Cong. Multidisciplinary Natural Sciences and Engineering, 07-08 Aralık, 2024 Ankara Turkey.

Projeler:

1. Proje Adı: Bağın (Palu-Elazığ) krom yatağı çevresindeki suların ağır metal kirliliğinin incelenmesi.
Fırat Üniversitesi BAP Birimi tarafından MF.24.33