

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ALACAKAYA KROM YATAĞI ÇEVRESİNDEKİ SULARIN
AĞIR METAL KİRLİLİĞİ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ**

Hüseyin Cihan YÜCEL

Yüksek Lisans Tezi

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Maden Yatakları, Jeokimya Bilim Dalı

OCAK, 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Yatakları, Jeokimya Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**ALACAKAYA KROM YATAĞI ÇEVRESİNDEKİ SULARIN
AĞIR METAL KİRLİLİĞİ POTANSTİYELİNİN
İNCELENMESİ**

Tez Yazarı
Hüseyin Cihan YÜCEL

Danışman
Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ

OCAK, 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Alacakaya Krom Yatağı Çevresindeki Suların Ağır Metal Kirliliği Potansiyelinin İncelenmesi
Yazarı:	Hüseyin Cihan YÜCEL
İlk Teslim	26.12.2021
Savunma	28.01.2022

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	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ALTUNBEY 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. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Alacakaya krom yatağı çevresindeki suların ağır metal kirliliği potansiyelinin incelenmesi” 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.

28.01.2022

Hüseyin Cihan YÜCEL



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 ve böyle bir çalışmanın yapılmasına izin veren ve her türlü lojistik desteği sağlayan ETİ KROM A.Ş.'e de teşekkürleri bir borç bilirim. Bu çalışma FÜBAP MF.21.18 Nolu 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.

Hüseyin Cihan YÜCEL

ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. İnceleme Alanının Konumu	4
2. MATERYAL VE METOD	7
2.1. Çalışma alanı	7
2.2. Cevherleşmeler	7
2.3. Çalışma Yöntemleri	8
3. HİDROLOJİ	12
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	16
4.1. Suların Fiziko-kimyasal Parametreleri	16
4.2. Suların Kimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi	19
4.3. Suların Sınıflandırılması	24
4.4. Suların Sulamada Kullanım Özelliklerine Göre Sınıflandırılması	25
4.5. Suda Ağır Metal Değerlerinin İncelenmesi	28
5. HİDROJEOLojİK SİSTEM VE RİSK ETMENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	32
5.1. Yerel Hidrojeolojik Sistem	32
5.2. Hidrojeolojik Risk Etmenlerinin Maden Üretimi Açısından Değerlendirilmesi	34
6. SONUÇLAR	40
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Alacakaya Krom Yatağı Çevresindeki Suların Ağır Metal Kirliliği Potansiyelinin İncelenmesi

Hüseyin Cihan YÜCEL

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Ocak 2022, Sayfa ix+43

Bu çalışmada, Elazığ İli Alacakaya ilçesi krom yatakları çevresindeki yüzey ve yeraltı sularındaki ağır metal kirliliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda bölgede gözlenen dereler, galeriler ve kaynak sularından temmuz ayında (2021) su örnekleri toplanmıştır. Bu örneklerde çok sayıda katyon ve anyon analizleri yaptırılmıştır. 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.

Anahtar Kelimeler: Elazığ, Alacakaya, ağır metal kirliliği, yüzey ve yeraltı suları

ABSTRACT

Investigation Of Heavy Metal Pollution Of Waters Around Alacakaya Chrome Deposit

Hüseyin Cihan YÜCEL

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering
January 2022, Page ix+43

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) Analysis Laboratory. 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, Alacakaya, heavy metal pollution, surface and underground waters

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1.	İnceleme alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2.	Alacakaya krom ocağındaki Bahro Deresi ve Dereboyu Su Havzalarının su ayırım çizgileri ve olası beslenme havzaları.	3
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).	5
Şekil 1.5.	Çalışma alanındaki belli başlı yükselti ve dere yataklarının haritadaki görünüşleri.	6
Şekil 2.1.	Alacakaya krom yataklarının jeoloji haritası (Engin vd., 1983'den).	8
Şekil 2.2.	Alacakaya Bölgesi krom yataklarının ofiyolitik kayalar içerisindeki konum ve duruşları	9
Şekil 2.3.	Alacakaya Bölgesi Kef sahasına ait cevherin duruşuna ait enine jeolojik kesit.	9
Şekil 2.4.	Çalışma alanı Bahro Çayı Su Havzası üzerinde yer alan galeri lokasyonları ve topografik yapının Google Earth görüntüsü.	10
Şekil 2.5.	Bahro Çayı Su Havzası ve Doğu Kef krom sahasının Google Earth görüntüsü.	11
Şekil 3.1.	İnceleme alanı ve çevresi için Thornthwaite yöntemine göre hazırlanmış yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği.	13
Şekil 3.2.	İnceleme alanı Yunus Dere 1157 galerisinden Yukarıbahro çayına boşalan suyun görüntüsü.	15
Şekil 3.3.	İnceleme alanı Garip Baba 2 galerisinden Yukarıbahro çayına boşalan suyun görüntüsü.	15
Şekil 4.1.	Maden Ruhsat alanı Bahro Çayı Su Havzası (kırmızı ile işaretlenen havza) içerisindeki sulu ve susuz dereler, galeriler, su akış yönleri, su örneği alınan noktalar ve örnek numaralarını lokasyon haritası.	16
Şekil 4.2.	İncelenen sulara ait anyon ve katyon değişim histogramı.	19
Şekil 4.3.	İnceleme alanındaki suların Piper diyagramı üzerindeki dağılımı	24
Şekil 4.4.	Alacakaya Bölgesindeki sularının yarı logaritmik Schoeller diyagramları	25
Şekil 4.5.	İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı.	26
Şekil 4.6.	İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagramı.	27
Şekil 5.1.	Galeri içlerinde kırık ve çatlak zonları boyunca sızan yeraltı sularının görüntüsü	33
Şekil 5.2.	KEF 1082 Galerisi içerisindeki yoğun su çıkışı olan alanlar	33
Şekil 5.3.	Yunusdere 1157 galerisi boyunca dışarı boşalan yeraltı suyu	34
Şekil 5.4.	Yukarıbaro çayının BC-02 nolu örnek alım noktası	34
Şekil 5.5.	Guleman krom yatakları Bahro Çayı Su Havzası çevresinde farklı alanlardan alınmış KD-GB doğrultulu jeolojik kesitler ve bölgelerdeki yeraltı su seviyesi durumları.	36
Şekil 5.6.	Guleman krom yatakları Bahro Çayı Su Havzası çevresindeki kapalı ve açık ocakları gösteren harita	37
Şekil 5.7.	Guleman krom yatakları Bahro Çayı Su Havzası sondaj lokasyonlarını gösteren harita.	38

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. İnceleme alanının 1991-2013 yılları arasındaki nem bilançosu.	12
Tablo 4.1. Çalışma alanındaki suların fiziko-kimyasal parametre değerleri ve bu suların bazı anyon ve kation analiz sonuçları.....	20
Tablo 4.2. Toplam sertlik derecelerine göre suların sınıflandırılması	21
Tablo 4.3. Sularda bulunan iyonların dizilimleri ve su tipleri	21
Tablo 4.4. İncelenen suların ICP-MS cihazındaki ağır metal analiz sonuçlar	29

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 bileşikleri, hidrokarbonlar, ağır metaller, endokrin bozucular ve organik maddelerdir. Atık sulardaki 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 çevreye ya endüstriyel faaliyetlerden, madencilik, ergime prosesleri gibi farklı antropojenik kaynaklardan beslenirler (OECD, 2003) veya kayaçların ayrışması ve volkanik faaliyetler sonucunda oluşabilirler. En yaygın ağır metal kirlilikleri başlıca As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ve Hg'dir ve madencilik faaliyetleri sonucunda temiz su kaynaklarını kirletirler (EPA, 1999). Temiz su kaynakları son yıllarda insan aktiviteleri ile yoğun olarak kirletilmiştir ve bu yüzden de temiz su kaynaklarında önümüzdeki dönemde içme suyu kalitesi ve içilebilirlik konusunda bir takım endişeler gün yüzüne çıkacaktır (Fernández-Luqueño et al., 2013). Ağır metallerce kirlenmiş temiz suların arıtılması ve temizlenmesinde filtrasyon, iyon değişimi, revers osmosis, oksidasyon redüksiyonu, solvent ekstraksiyonu, membran seperasyonu ve fitoremediasyon gibi farklı tekniklerin kullanıldığı bilinmektedir (Goswami et al., 2014). Bu tekniklerin temiz suların arıtılmasındaki üstünlükleri ve başarıları ile bunlar için harcanacak maliyetler düşünüldüğünde, bu suların ağır metaller tarafından kirletilmemesinin en kolay yöntem olacağı aşikardır. Bu yüzden hem yüzey hem de yeraltı sularının hem çevresel açıdan hem de gelecek nesilde yaşayacak canlı sağlığı açısından özenle korunması gereken bir varlık olduğu unutulmamalıdır. Dünyada birçok ülkede doğal olarak oluşan yeraltı suyu arsenik kirliliği nedeniyle 100 milyonun üzerinde kişi arsenik zehirlenmesi riski ile karşı karşıya kalmıştır. İçme sularında yüksek miktarda arsenik olduğu rapor edilen yerler arasında, özellikle Hindistan ve Bangladeş'de içme sularından kaynaklanan arseniğin nüfusun çok önemli bir kısmını etkilediği bilinen örneklerdendir (Chakraborti vd., 2003). Arsenik (As), farklı jeolojik ve çevresel ortamlarda gözlenen oldukça toksik metallerden bir tanesidir (WHO, 2006).

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma Elazığ İli, Alacakaya İlçesi sınırları (Şekil 1.1. ve 1.2) dahilinde bulunan krom ocaklarının bulunduğu alandaki yüzey ve yeraltı sularının jeokimyasal olarak incelenmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda, hem bölgedeki akarsular, su kaynakları, galeri suları ve kuyu sularında gözlenen ağır metal düzeylerinin araştırılmasını amaçlamaktadır. Bu kapsamda hidrojeolojik çalışma yapılacak olan madencilik faaliyetlerinin yeraltı sularına ve kaynaklarına olan etkilerinin değerlendirilmesi, faaliyet alanı ve çevresinin jeolojik harita ve kesitleri ile akifer birimlerinin, YAS seviyesi, kaynak, sondaj kuyuları, çeşme, akarsu-dere, su kimyası ve suların fiziko-kimyasal parametrelerinin de incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası



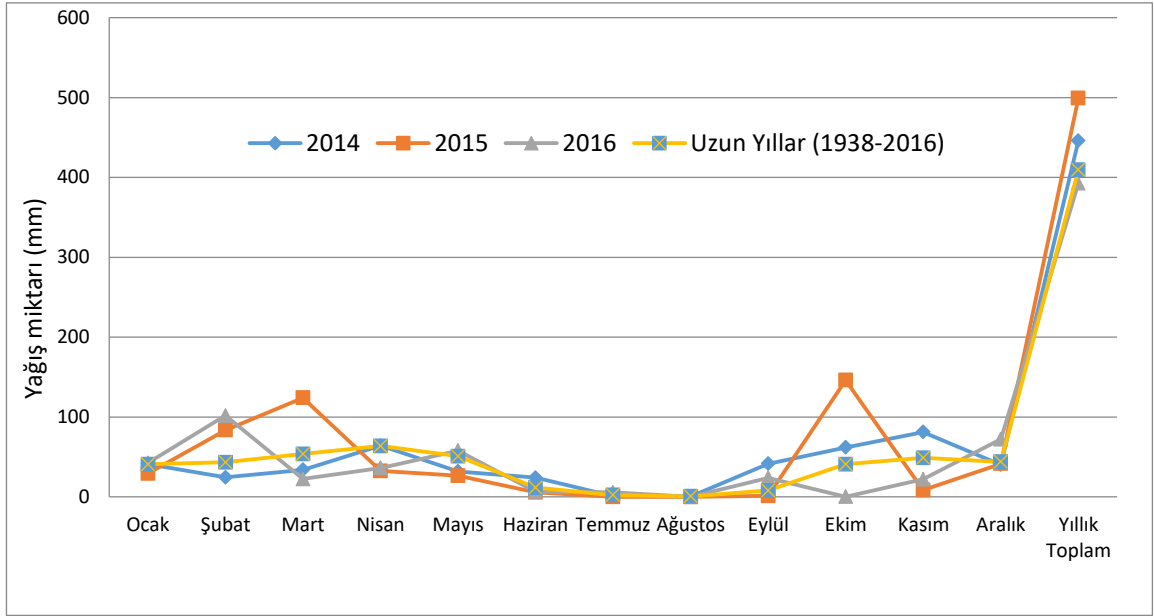
Şekil 1.2. Alacakaya krom ocağındaki Bahro Deresi ve Dereboyu Su Havzalarının su ayırım çizgileri ve olası beslenme havzaları.

Bu kapsamda Elazığ ili Alacakaya ilçesi yerleşim sınırları içerisinde yer alan ruhsat sahasında (Şekil 1.1 ve 1.2) açık ve yeraltı işletmesi faaliyetleri yürütülmektedir. Bu çalışma kapsamında inceleme alanı Bahro Deresi Su Havzası ve Dereboyu Su Havzası olmak üzere iki farklı havzaya bölünerek incelenmiştir. Bu havzaların su kaynakları çevresine ait jeolojik kesitler ve YAS su seviyeleri, başlıca akarsu, dere, çeşme ve galeri sularının pH ve 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 değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu çalışmalar sayesinde, Bahro Deresi su havzasına ait 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 yapılabilmesine yardımcı olmasını amaçlamak, ruhsat alanındaki madencilik faaliyetlerinin, yöredeki yerleşim alanlarına ve içme suyu havzalarına olan etkileri değerlendirmektir.

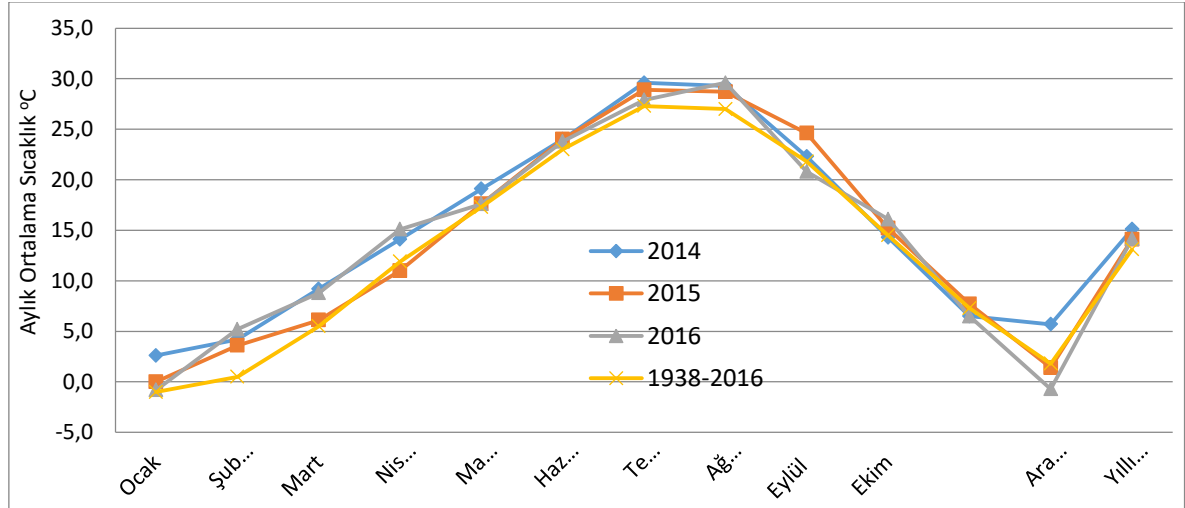
1.2. İnceleme Alanının Konumu

İnceleme alanı, Elazığ ili Alacakaya ilçesi sınırları dahilinde ELAZIĞ K43c4, K43d3, L43a2, L43b1 isimli 1/25.000'lik pafta sınırları içerisinde yer alır (Şekil 1.1 ve 1.2). İnceleme alanının uzun yıllar (1938-2016) ortalama yıllık yağış miktarı 410 mm, uzun yıllar ortalama yıllık sıcaklık değeri ise 13.1 °C dir (Şekil 1.3 ve 1.4). Ancak son yılların ortalama sıcaklık değerlerinin uzun yıllar ortalamasının 1 °C' den daha fazla artış gösterdiği gözlenmiştir.

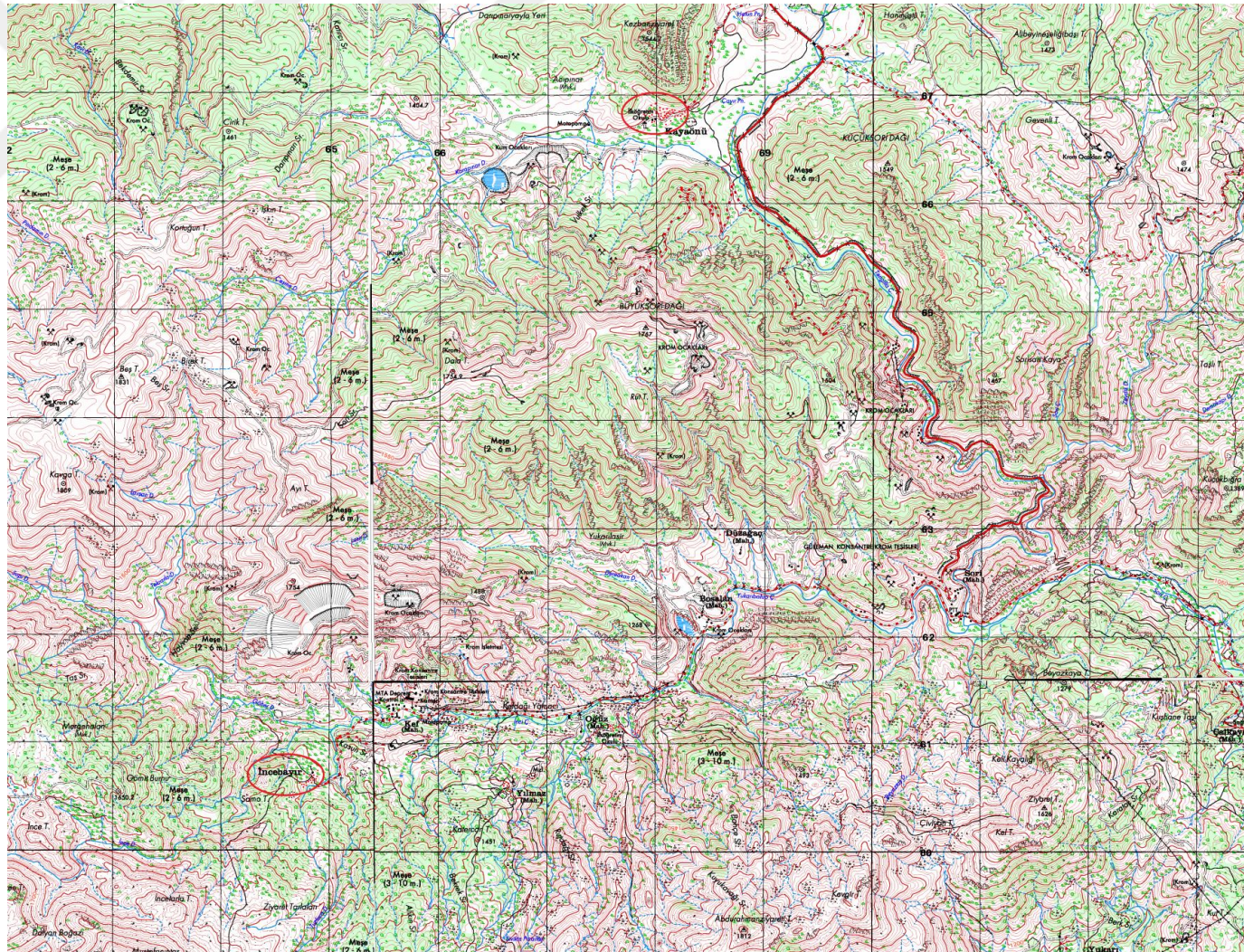
Yağış değerleri ise yıllara göre değişiklik göstermekle birlikte, yıllık bazda genel trende yakın değerlerin aynen devam ettiği izlenmektedir. Bölgedeki belli başlı yükseltiler Gölçov Dağı (1972 m.), Küçük Sori Dağı (1549 m), Büyük Sori Dağı (1767 m), Dala T. (1754 m.), Çatalçayır T (1810 m), Kavga T. (1809 m), Baş T. (1831 m) şeklinde sıralanmaktadır. Yörede ise yukarıdaki yükseltiler arasında çok sayıda su içeren ve içermeyen dere ve derin vadiler gözlenmektedir (Şekil 1.5). Bunların başlıcaları; Yukarı Bahro çayı, Tengilla çayı, Sori çayı, Karapınar çayı, Bozcatak çayı, Suphi çayı, Tavşan deresi, Çeşme deresi, Tekrarla deresi, Hoştı, Kavi deresi ve Çaylarçatı deresi gibidir. Bu dereeler bahar ayların yüksek debili sular gözlenirken, özellikle yaz aylarında sadece Yukarı Bahro çayı, Tengilla ve Sori çayı gibi derelerde su akışı gözlenmektedir.



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



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



2. MATERİYAL VE METOD

2.1. Çalışma alanı

Elazığ ilinin 50 km doğusunda bulunan Guleman ilçesinin yaklaşık 5 km. batısında yer almaktadır (Şekil 1.1). Türkiye'nin en büyük krom yataklarına sahip olan Guleman (Elazığ) bölgesi, 1930 yıllardan beri yoğun madencilik faaliyetlerine sahne olmuştur. Özellikle son yıllarda bu yatakların özelleştirilmesi ile birlikte bu faaliyetler daha da artmıştır. Bu faaliyetler sonucunda hem galeri hem de açık işletme yapılan alanlardan önemli oranda yüzey ve yeraltı suyu boşalımı gerçekleşmektedir. Bu sular özellikle bahar aylarında debileri daha yüksek iken yaz aylarında oldukça düşmekte hatta bazı dereler tamamen kurumaktadır.

2.2. Cevherleşmeler

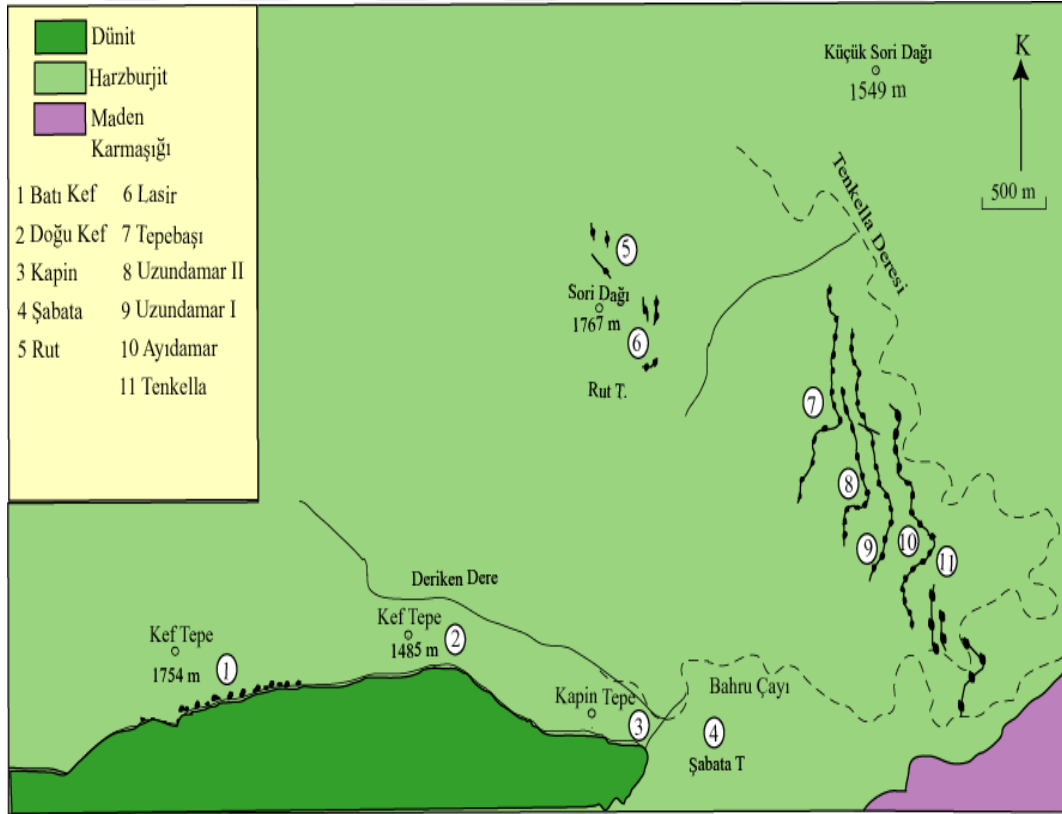
Guleman ofiyolitinde Alpin tipi krom yataklarının olağan olmayan doğrultu ve eğimde uzanımlara sahip olan kromit kütleleri yer almaktadır (Üşümezsoy, 1986). Bu yatakların kökeni konusunda birçok yazar; stratiform yatakların oluştuğu yolla, farklılaşma ürünü olarak oluştuğunu ve postmagmatik ufalanma ile bu günkü Guleman kromit yataklarının gerçek stratiform yataklarının injeksiyonu ile oluştuğuna işaret eden magmatik akıntılar ile oluşmuş birçok özelliği tanımlamıştır. Zengin (1960) ise Soridağ yatakların ayırtladığı dokuz seviyenin (Rut, Tepebaşı, Uzundamar, Ayıdamar, Tenkella, Yunusdere) kromitçe zengin kalıntı magmanın injeksiyonu ile oluştuğunu savunmuştur (Şekil 2.1). (Thayer, 1964) Guleman yataklarının doku ve yapılarının stratiform yataklarından farklı olduğunu, stratiform yataklarda görülmeyen nodüler kromitlerin ve pull apart dokularının Guleman kromit yataklarında yaygın olarak gözlemlendiğini ve Guleman yataklarının Alpin tip podiform kütleler olduğunu ileri sürmüştür. Engin vd. (1983) Kefdağı kromit kütlelerinin tektonit harzburjit ile dünit dokanağına yakın kesimde dünit içinde, Soridağ krom kütlelerinin ise tektonit harzburjitler içerisinde dünit kümülatik olarak oluştuklarını savunmuştur. Yer altı ve yerüstü verilerinin değerlendirilmesinden Guleman peridotit birimi içinde 500 den fazla krom zuhuru bulunduğu ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.1.). Bu zuhurların bazıları çeşitli boyutta birbiriyle bağlantısı olmayan bağımsız zuhurlar olduğu gibi bazıları da kısa kısa kesintilerle devamsızlık gösteren zuhurlardır. Bu zuhurların boyu birkaç cm den birkaç yüz metreye ulaşan boyuttaki mercıklere kadar değişiklik göstermektedir. Peridotit birimindeki krom zuhurları, Hem tektonit hem de kümülat gurubu kayaçlar içinde bulunmaktadır. Fakat bütünüyle tektonit içinde veya tektonit kümülat sınırına yakın yerlerde bulunan krom zuhurlarının kümülatlar içinde bulunan zuhurlara oranla daha büyük ve daha yüksek Cr_2O_3 tenörlü olduğu genel olarak söylenebilmektedir (Doğan, 2014). Bölgedeki krom yataklarına ana kayası olarak düşünülen Guleman Peridotit Birimi, Engin vd. (1983) tarafından, litolojik özellikleri, yapısal

durum ve coğrafi dağılım göz önüne alınarak; (a) Gölalan; (b) Pütyan; (c) Rut-Taşlıtepe; (d) Kefdağ-Kapın-Şabata gibi bölümlere ayrılmıştır (Şekil 2.1 ve 2.2). Kef Bölgesine ait kromit kütlelerinin kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu enine jeolojik kesiti Şekil 2.3’ de detay şekilde gösterilmiştir.

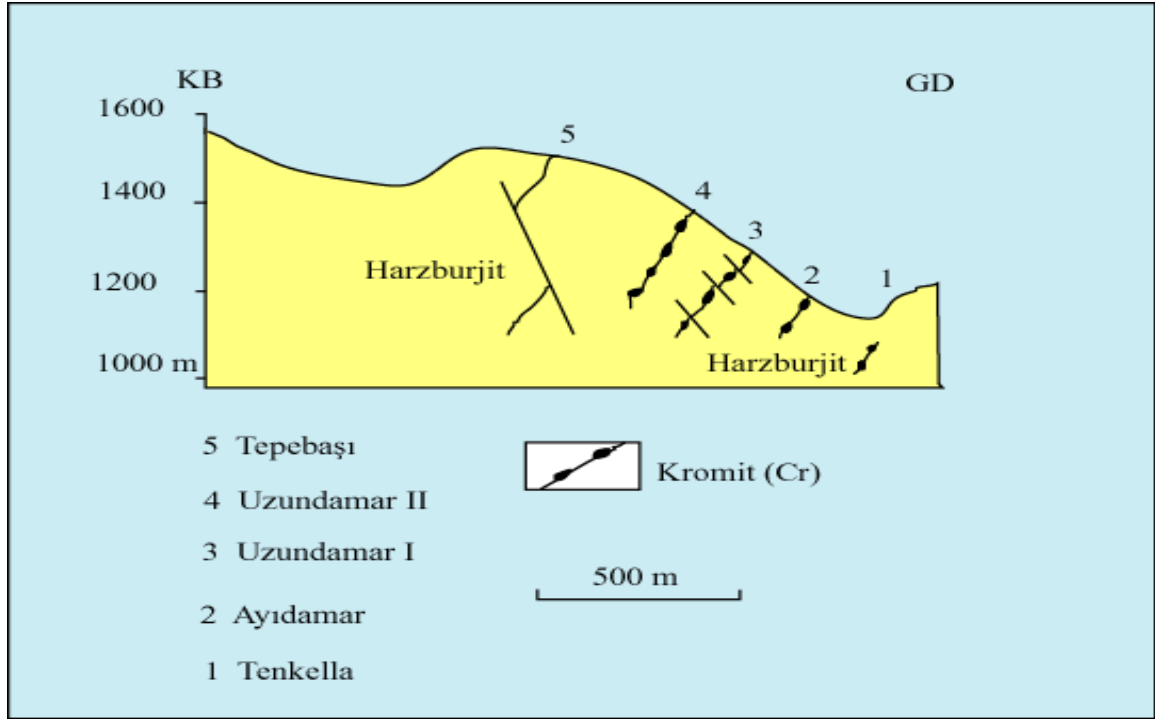
2.3. Çalışma Yöntemleri

Bu çalışma arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür.

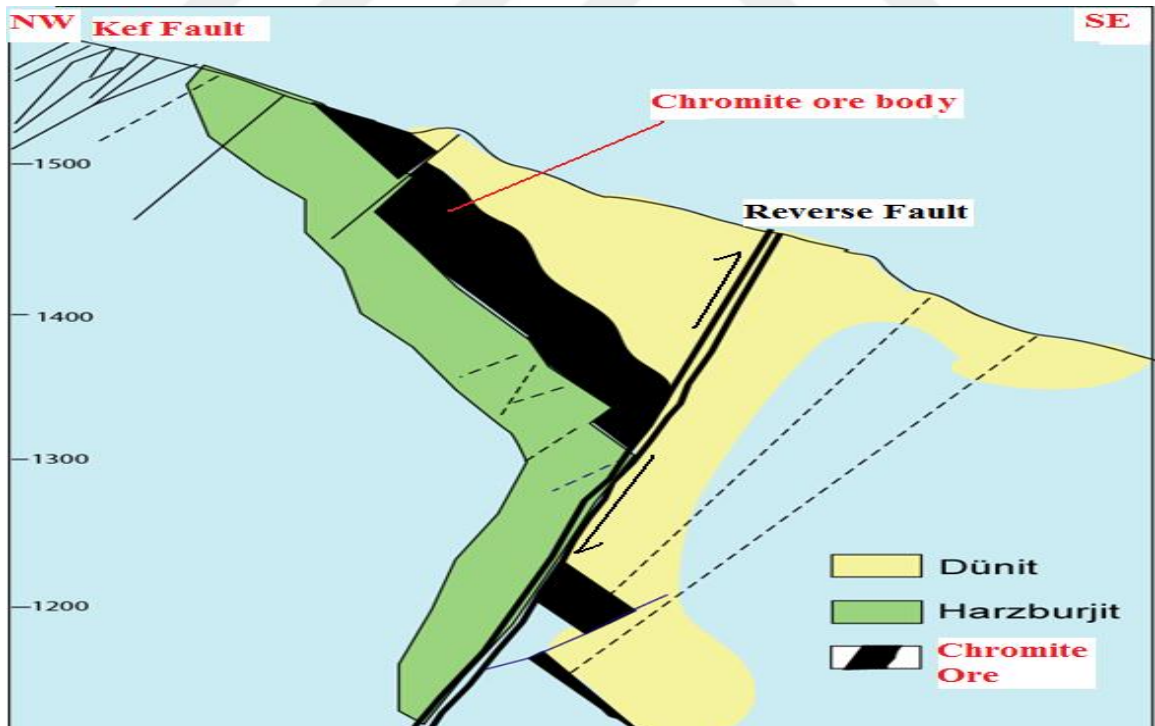
Arazi çalışmaları; Örnek alım çalışmaları 15-16 Temmuz 2021 tarihlerinde, güneşli, max hava sıcaklığı 29 °C, min. hava sıcaklığı ise gecede 17°C civarında ölçülmüştür ve bu çalışmalar 2 gün boyunca devam etmiş, alınan su örneklerinin pH’ı, elektrik kondüktivite (EC) ve sıcaklık ölçümleri yerinde yapılmış ve yaklaşık 1.5 litre plastik kaplara doldurularak laboratuvara taşınmıştır. Çalışma alanındaki suların pH, EC ve sıcaklık ölçümleri Orion 4 Star marka cihaz ile yapılmıştır. Ayrıca bölgedeki dere ve su kaynaklarının debileri ölçülmüştür. Su örneklerinin alındığı alanlar örnek numaraları ile birlikte gösterilmiştir (Şekil 2.4). Bölgedeki en önemli vadilerden birisi olan ve içerisinde değişik debilerde su bulunduran Bahro çayının uzaktan görünümü Şekil 2.5’de verilmiştir.



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



Şekil 2.2. Alacakaya Bölgesi krom yataklarının ofiyolitik kayaçlar içerisindeki konum ve duruşları (Engin vd., 1983'den).



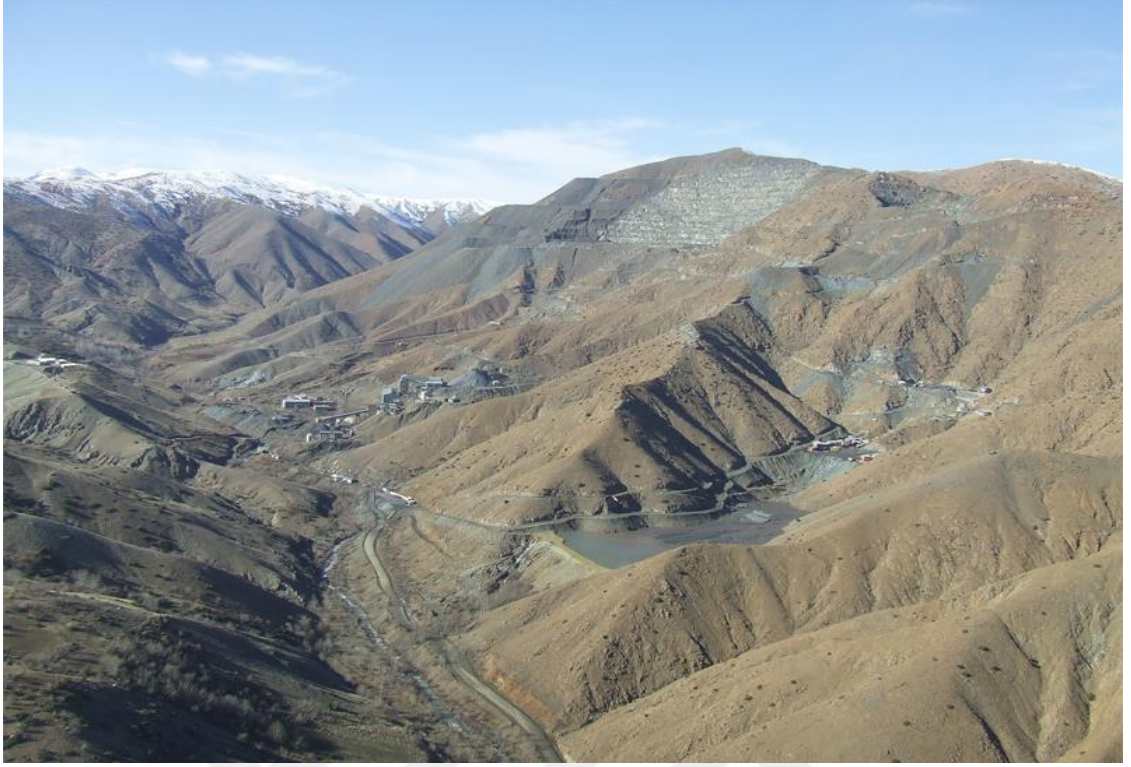
Şekil 2.3. Alacakaya Bölgesi Kef sahasına ait cevherin duruşuna ait enine jeolojik kesit (Engin vd., 1983'den).



Şekil 2.4. Çalışma alanı Bahro Çayı Su Havzası üzerinde yer alan galeri lokasyonları ve topografik yapının Google Earth görüntüsü.

Laboratuar çalışmalarında ise, araziden getirilen su örnekleri iki bölüme ayrılarak, bunların bir kısmı İl Özel İdaresi Kimya Laboratuvarlarında iyon analizörü kullanılarak, bu suların öncelikle fiziko-kimyasal parametreleri ölçülmüş, daha sonra ise ana anyon ve katyon analizleri yapılmıştır. Bölgedeki suların içilebilirlik standartlarını işaret eden iz element analizleri ise Kanada Acme laboratuvarında ICP-MS ile gerçekleştirilmiştir. İz element analizleri için ACME (Kanada)' ye gönderilecek su kapları yaklaşık 400 mg plastik kaplar içerisine doldurulmuş ve bu kaplara bir miktar % 10' luk seyreltik nitrik asit eklenerek gönderilmiştir. Anyon+katyon analizleri ise araziden getirilen örnekler doğrudan Elazığ İl Özel İdaresi kimya laboratuvarına götürülerek, burada F, Cl, NO₂, NO₃, HCO₃, SO₄ gibi anyon analizleri yapılmıştır.

Büro çalışmalarında ise, yöreden alınmış su örneklerinin fiziksel, kimyasal ve ağır metal analiz sonuçları ile birlikte değerlendirilerek güncel literatür ışığında yorumlanmış ve daha sonra da rapor haline getirilerek, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.



Şekil 2.5. Bahro Çayı Su Havzası ve Doğu Kef krom sahasının Google Earth görüntüsü (Doğan, 2014).

3. HİDROLOJİ

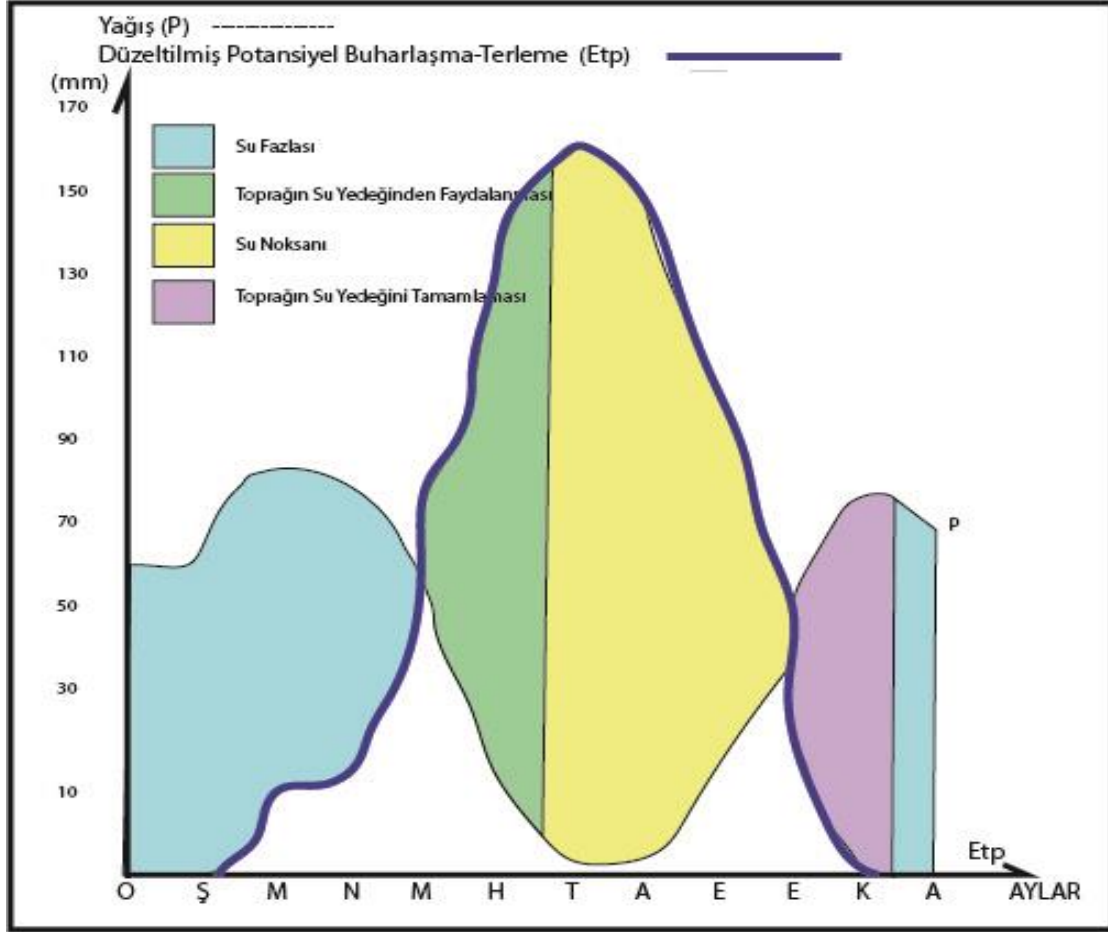
Alacakaya Bölgesinin hidrolojik incelemesinin yapılması amacıyla havza içerisinde ve çevresinde bulunan Elazığ Devlet Meteoroloji İstasyonlarının uzun yıllara ait ölçümleri değerlendirilerek akım, buharlaşma- terleme verileri değerlendirilmiştir. Çalışma alanının genel hidrolojik yapısının aydınlatılması 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 hesaplanmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. İnceleme alanının 1991-2013 yılları arasındaki nem bilançosu (Thornthwaite formülüne göre) (Güven, 2013'den alınmıştır).

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	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

Uzun yıllar (1991-2013 yılları arası) için hazırlanan nem bilançosuna göre 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 % 46.7'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 fazlalığı meydana gelmektedir.



Şekil 3.1. İnceleme alanı 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 Etikrom A.Ş. ruhsat alanı yaklaşık 50 km² yüzey alanına sahip olmakla birlikte, Bahro Çayı Su Havzasının kapladığı alan yaklaşık 30 km² yüzey alanı kaplamaktadır. Bu havzadaki ortalama toplam yıllık yağış miktarı (601.07 mm) dikkate alındığında; alana yıllık yağış kaynaklı su girdisi 18 x10⁶ m³/yıl düzeyindedir. Bu alanın tamamını bazik ve ultrabazik kayalar tarafından örtülmektedir ve bu birimler teorik olarak oldukça geçirimsiz birimler olmakla birlikte ancak bu birimler yoğun alterasyona uğramış olmaları, üzerinde bol miktarda kırıklı ve çatlaklı yapıların gelişmiş olması nedeniyle özellikle yüzeye yakın kesimler oldukça geçirimli bir nitelik kazanmıştır. Sahanın

gerçek buharlaşma - terleme (ETg) düzeyi $9.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ düzeyinde olup, su girdisinin bir bölümü buharlaşma ve bitki terlemesi ile atmosfere geri dönmektedir.

Bu durumda, yıllık beslenimin geri kalan $8.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'lık bölümü kayalarda görülen kırık sistemleri boyunca sığ ve derin akiferleri, ayrıca yüksek kotlu tepelerden yüzeysel akışa geçerek inceleme alanındaki akarsu, dere, çeşme ve kaynakları beslemekte olduğu anlaşılmaktadır. İnceleme alanında sistemden çıkan su buharlaşma - terleme, doğal kaynaklarla ve akarsular ile gerçekleşmektedir. Yağıştan toplam süzülme miktarı; $8.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ '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 30 km^2 olarak alınmıştır. İnceleme alanında ruhsatlı ve ruhsatsız olan yeraltı suyu üretim kuyusu bulunmamaktadır. İnceleme alanındaki Bahro Deresi Su Havzasında bulunan galerilerde, ortalama debileri değişken olan su çıkışları bulunmaktadır. Özellikle Yunusdere 1157 galerisinden 270 lt/sn debi ile su boşalmaktadır (Şekil 3.2). Buna benzer olarak, Garip Baba 2 galerisinden 12 lt/sn su boşalmaktadır (Şekil 3.3). Kef 1082 galerisinde ise galeri boyunca özellikle kırık zonları boyunca yoğun su çıkışları gözlenmektedir ve bu suların toplam debisi ise 3.5 lt/sn, Kef 1170 galerisinden ise 1.5-2 lt/sn debi ile su çıkışı yer almaktadır. İnceleme alanında sadece galeriler vasıtasıyla sistemden çıkan toplam su miktarı ($9.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) ile sisteme giren su miktarının ($18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) neredeyse sisteme giren suyun 1/2'i bölgedeki galeriler yardımıyla bölgeden uzaklaştırılmaktadır. Muhtemeldir ki geri kalan su ise daha derin bölgedeki kırık ve çatlak sistemleri veya yüzeyden görünmeyen farklı kaynaklar vasıtasıyla Bahro Çayı ile bölgeden uzaklaştırılmaktadır.

Maden Ruhsat alanı dışından (güneyinden) çeşitli dereler yardımıyla da Bahro Çayı Su Havzası beslenim gerçekleşmektedir. Bu beslenmeler Bahro çayının üst kısmında BH-01 nolu dere yaklaşık 28 lt/sn ile başlamakta, daha sonra İncebayır köyü doğusundan akan dere (BH-02) ise 20 lt/sn debi ile bu dereye boşalmaktadır. Doğuya doğru su bulunduran BH-03 (4.5 lt/sn), BH-04 (6,3 lt/sn), BH-05 (4.2 lt/sn) ve BH-06 (3.6 lt/sn) farklı debilerle Bahro çayını beslemektedir (Şekil 4.1).



Şekil 3.2. İnceleme alanı Yunus Dere 1157 galerisinden Yukarıbahro çayına boşalan suyun görüntüsü.

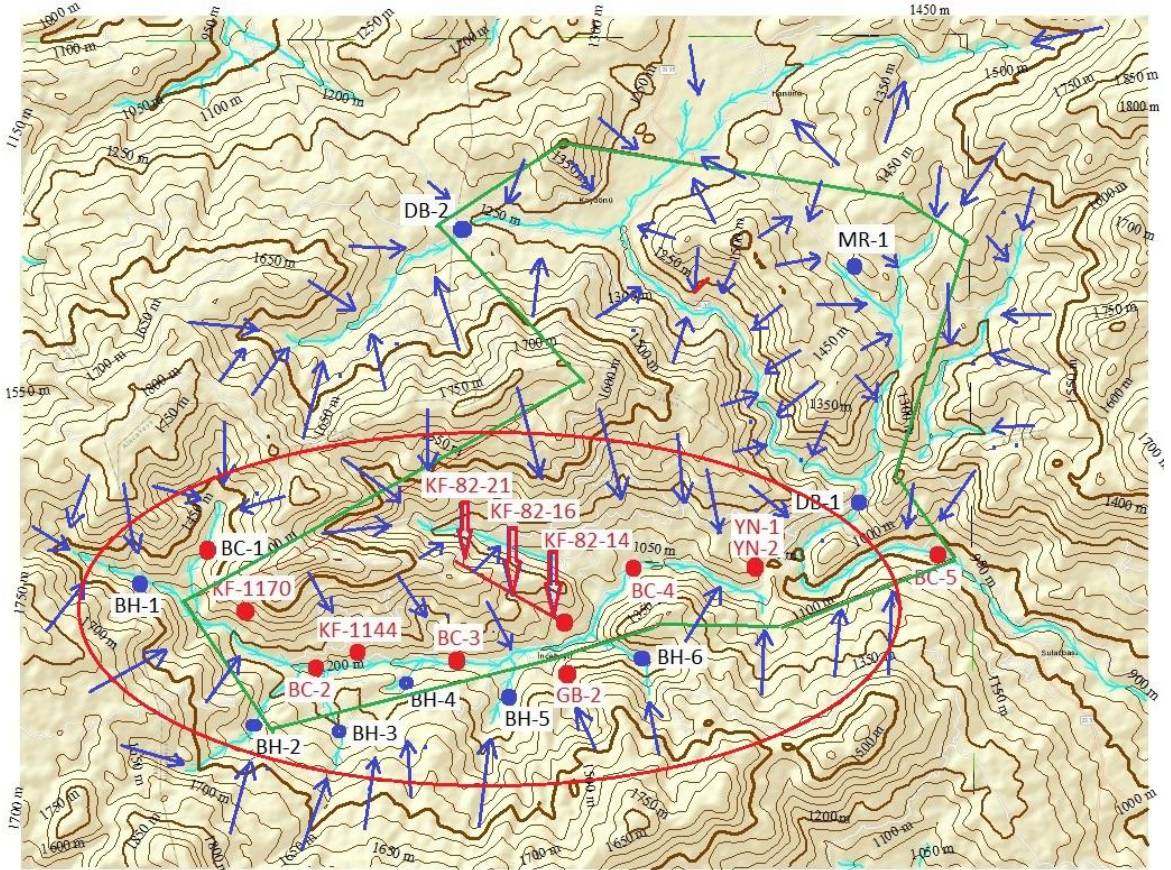


Şekil 3.3. İnceleme alanı Garip Baba 2 galerisinden Yukarıbahro çayına boşalan suyun görüntüsü.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Suların Fiziko-kimyasal Parametreleri

Bu bölümde, Bahro Çayı Su Havzası üzerinde yer alan dere, su kaynakları ve galeriler içerisinde 19 adet su örneği alınmıştır (Şekil.4.1). Su örnekleri 15-16 Temmuz 2021 tarihinde araziye çıkılmış ve yerinde pH, Elektrik kondüktivite ve sıcaklık ölçümleri pH metre ile gerçekleştirilmiştir. Bahro Çayı Su Havzası üzerinde örnekleme tarihi itibarıyla yılın en kurak mevsimi olmasına karşın, Bahro çayında su akışı devam etmektedir. Bu çayı besleyen dereler Şekil 4.1'deki gibi örnekleme yapılmış ortalama debileri ile birlikte harita üzerine işatlenmiştir. Sadece Kapin bölgesindeki derede yüzeyde su akışı gözlenmemektedir. Muhtemeldir ki KF-1082 galerisi bu bölgedeki suları toplamayarak boşalımı sağlamaktadır. Bölgedeki başta Kef bölgesi olmak üzere KF-1170 ve KF-1144 galerileri olmak üzere KF-1082, GB-2 (Garip Baba-2) ve Yunusdere (YN-1 ve YN-2) galerilerinden yoğun su çıkışları gözlenmektedir (Şekil 3.2 ve 3.3).



Şekil 4.1. Maden Ruhsat alanı Bahro Çayı Su Havzası (kırmızı ile işaretlenen havza) içerisindeki sulu ve susuz dereler, galeriler, su akış yönleri, su örneği alınan noktalar ve örnek numaralarını lokasyon haritası (KF-1170 ve KF-1144: Kef galerileri, GB: Garip Baba, YN: Yunusdere galerisi).

Elazığ ili Alacakaya ilçesi Maden Ruhsat alanı içerisindeki Bahro Çayı Su Havzasına ait suların parametre değerleri; sıcaklık 15.3 - 28.2 °C, pH 7.99 - 9.39, elektriksel iletkenlik (EC) 139 - 329 µS/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 sıcak olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yüzeysel suların sıcaklıkları mevsimsel olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Kaynak sularının sıcaklıklarının yüzey sularına yakın olmaması bu suların yüzeyden daha derin olan bir dolaşım sistemine bağlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, Bahro Çayı Su Havzasına ait su kaynaklarının tamamına yakını genel olarak “soğuk su” olarak sınıflandırılmaktadır.

pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir ölçüsü olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Aşındırıcı ve kabuk bağlayıcı özellik pH değerine bağlıdır. İnceleme alanındaki suların pH değerinin genel olarak 7.99 - 9.39 aralığında 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 sahiptir.

İnceleme alanında örneklenen suların elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 139 - 329 µS/cm arasında değişir. Özellikle bölgedeki akarsulardaki örneklerin elektriksel iletkenlik değerleri, kaynak sularının elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine göre daha yüksektir. Bu sulardaki elektriksel iletkenlik değerlerinin yüksek olmasının nedeni yüzeysel ortamlarda su içerisinde asılı madde miktarının daha yüksek olması açıklamak mümkündür. Düşük elektriksel iletkenlik (EC) değerleri su kayaç etkileşimi en kısa olan ve mevsimsel yağışlardan daha çok beslenen yüzeysel su kaynaklarında görülmektedir. Elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin genel olarak düşük olması bu suların düşük iyon derişimine ve dolayısıyla sığ dolaşım sistemine sahip olduklarını gösterir. 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 22 ile 95 arasında değişmektedir. Özellikle kaynak sularının renk değerleri düşük çıkarken, dere sularının renk değerleri çok yüksek çıkmıştır bu da olasılıkla dere yatağındaki siltlenme veya sellenmenin bu değerlerin yüksek çıkmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Bölgedeki BC nolu suların kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre III. sınıf, galerilerden çıkan suların ise I. sınıf su kalitesi özelliği gösterdiği saptanmıştır. Su kaynaklarının pH değerleri arttıkça göreceli renklilik değerleri de artabilir. Alacakaya Bölgesindeki madencilik faaliyetlerinin söz konusu sulardaki renk artışına herhangi bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Genel olarak suların içerdği çözünmüş haldeki kalsiyum ve magnezyum iyonlarının toplamı suyun sertliği olarak ifade edilir. Sular erimiş halde bulunan kalsiyum ve magnezyumu; bikarbonat tuzları, sülfat tuzları, klorür tuzları ve ayrıca az miktarda nitrat tuzları halinde içerir. Özellikle kalsiyum/magnezyum bikarbonat ve kalsiyum/magnezyum sülfat suyun sertliğinde önemli rol oynar.

Suların sertliği suyun içermiş olduğu kalsiyum oksit veya karbonatlarının miktarı ölçü alınarak miliekiyalan veya “sertlik derecesi” birimi ile ifade edilir. İçme suyu ile ilgili ölçümlerde genellikle sertlik derecesi birimi ifade edilir. Farklı sertlik derecesi birimleri kullanılmakla beraber en çok kullanılanları Fransız sertlik derecesi (FS), İngiliz sertlik derecesi (IS) ve Alman sertlik derecesi (AS)’dir. Ülkemizde yaygın olarak Fransız sertlik derecesi kullanılır.

Fransız sertlik derecesi (FS⁰): Suyun 100 ml’inde 1 mg CaCO₃ kapsayan suyun sertliği, 1 Fransız Sertlik Derecesi olarak ifade edilir.

İngiliz sertlik derecesi (IS⁰): Suyun 70 ml’inde 1 mg CaCO₃ kapsayan suyun sertliği, 1 İngiliz Sertlik Derecesi olarak ifade edilir.

Alman sertlik derecesi (AS⁰): Suyun 56 ml’inde 1 mg CaO kapsayan suyun sertliği, 1 Alman Sertlik Derecesi olarak ifade edilir.

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

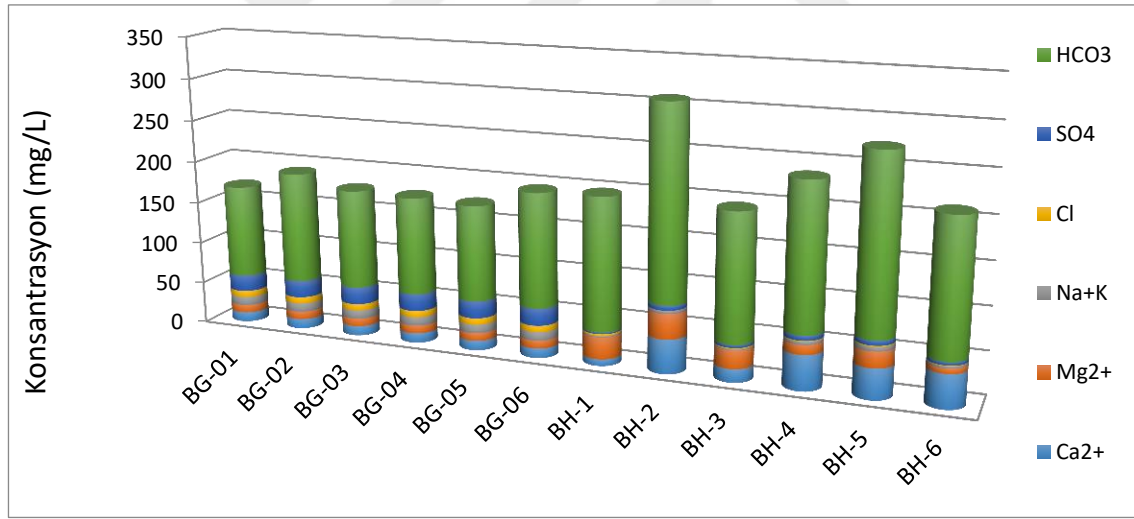
Çalışma alanındaki suların Ca⁺² ve Mg⁺² içeriğine bağlı olarak sertlik derecesi belirlenmeye çalışılmıştır. Bölgedeki sulardaki ortalama Ca⁺² içeriği 5.69 ppm bulunurken, en yüksek 19.10, en düşük ise 2.01 ppm bulunmuştur. Mg⁺² konsantrasyonları ise bölgeden alınan tüm suların ortalaması 28.08 ppm, en düşük 14.91 ppm, en yüksek ise 38.51 ppm olarak belirlenmiştir. Toplamda Ca⁺² ve Mg⁺² değerleri en yüksek olan su örneği BC-01 nolu örnektir ve burada toplam değer ise 53.58 ppm olarak saptanmıştır. Tablo 4.2’deki değerler de dikkate alınarak yöredeki suların Ca⁺² ve Mg⁺² toplam konsantrasyonları dikkate alındığında Alacakaya Etibank krom sahasına ait su örneklerinin sertliklerinin hepsinin de **ÇOK YUMUŞAK SU** grubuna dahil olduğu görülmüştür.

Suların çözünmüş oksijen değerleri 9.10 - 9.94 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 kalitesine sahiptir.

Suların Nitrat, Nitrit ve Amonyum azotu içeriği açısından ya hiç içermedikleri veya çok düşük değerlere sahip olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.1). İnceleme alanı ve çevresinde tarım arazilerinin bulunmaması yerleşim yerlerinin azlığı, nüfusun kalabalık olmaması gibi nedenlerden dolayı bölgede noktasal veya alansal kirleticiler bulunmamaktadır. Suların aktif bir biyolojik olaydan etkilenmedikleri söylenebilir. 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, içerisinde 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 $MgHCO_3$ su fasiyesi özelliğindedir (Tablo 4.2 ve 4.3). Suların kendi aralarındaki iyon değişimlerine bakıldığında Mg iyonu hakim katyon, HCO_3 iyonu ise hakim anyon durumundadır. İyon oranlarının ve yüzdelerinin genel olarak sularda aynı kaldığı görülmektedir (Şekil 4.2). Özellikle Yukarıbahro çayından alınan su örneklerinin toplam anyon ve katyon değerlerinin diğer kaynak ve galeri suları içerisinde alınan sulara göre daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.2). Bu suların iyon değişimin fazla olması özellikle bu çayı besleyen suların gelmiş olduğu alanlardaki kayacık ve toprak yapısındaki sıkça gözlenen alterasyon veya serpantinleşmenin bu anlamda 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

	pH	EC	T	HCO ₃	Cl	F	NO ₃	SO ₄	Na	K	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	Renk	Amonyum azotu	Çözülmüş Oksijen
Örnek No		µS/cm	°C	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPB	Pt-Co Skalası	mg /L	mg/L
YN-01	7,99	206	15,5	162	1,59	-	2,43	1,28	1,5	0,19	29,14	4,73	3	28	0	9,1
YN-02	7,97	208	15,3	164	1,68	-	2,55	1,24	1,5	0,19	29,14	4,73	3	22	0	9,23
GB-02	9,57	280	15,6	150	33,83	-	2,54	1,68	5,65	1,04	38,51	2,58	1	34	0	9,15
KF-1144	9,39	139	16,6	85,6	2,56	-	6,26	3,2	5,12	4,23	14,91	2,79	37	44	0	9,46
KF-1170	9,13	156	16,6	112	0,7	-	7,29	2,01	2,45	2,79	19,82	3,82	33	46	0	9,45
KF-82-14	8,75	153	19,3	120	0,79	-	1,01	1,09	0,48	0,14	24,64	2,16	7	36	0	9,66
KF-82-16	8,52	167	18,2	127	1,17	-	1,02	1,01	0,48	0,22	26,49	2,67	5	48	0	9,2
KF-82-21	9,24	174	17,9	132	0,85	-	2,76	1,28	2,2	0,26	26,72	2,01	3	42	0	9,32
BC-01	8,35	289	25,7	222	2,66	0,06	1,06	2,89	2,37	0,19	34,48	19,1	4	62	0	9,78
BC-02	9,05	239	26,4	156	4,23	-	3,98	13,19	6,93	5,25	30,18	4,75	75	95	0	9,85
BC-03	8,95	253	28,2	188	5,11	-	2,24	6,2	6,6	3,12	29,62	8,85	45	84	0	9,67
BC-04	9,05	266	26,4	166	20,1	-	2,04	3,94	9,05	3,37	31,44	6,63	64	78	0	9,88
BC-05	8,56	240	21,7	173	7,76	-	2,16	2,57	3,94	1,52	30	9,19	20	72	0	9,94
BH-1	8,63	233	17,8	156,7	2,37	0,018	0,38	1,88	1,45	-	26,23	7,96	12	45	0	9,22
BH-2	8,61	329	16,9	228	0,034	1,84	0,79	5,16	3	0,64	29,98	40,7	32	37	0	9,33
BH-3	8,53	224	17,7	150,2	1,23	-	-	3,31	1,46	-	21,7	15,92	14	48	0	9,27
BH-4	8,39	265	18,6	171,4	1,06	0,12	0,25	5,53	2,88	0,64	11,46	41,8	22	52	0	9,14
BH-5	8,47	296	18,2	205,1	1,3	0,08	0,5	5,49	3,41	1,62	19,1	36,19	10	66	0	9,32
BH-6	8,58	239	18,3	157,7	0,74	0,11	0,25	3,76	2,31	-	6,18	40	23	23	0	9,36
Ortalama	8,72	229,3	19,5	159,3	4,72	0,37	2,20	3,51	3,30	1,59	25,3	13,5	21,7	50,6	0,00	9,44

Tablo 4.2. Toplam sertlik derecelerine göre suların sınıflandırılması

SINIFLANDIRMA	Alman Sertlik Derecesi	Fransız Sertlik Derecesi	İngiliz Sertlik Derecesi	ppm (mg/l)
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
YN-01	MgHCO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >NO ₃ >Cl>SO ₄
YN-02	MgHCO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >NO ₃ >Cl>SO ₄
GB-02	MgHCO ₃	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >Cl>NO ₃ >SO ₄
KF-1144	MgHCO ₃	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >NO ₃ >SO ₄ >Cl
KF-1170	MgHCO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >NO ₃ >SO ₄ >Cl
KF-82-14	MgHCO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >NO ₃ >SO ₄ >Cl
KF-82-16	MgHCO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >NO ₃ >SO ₄ >Cl>
KF-82-21	MgHCO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >NO ₃ >SO ₄ >Cl
BC-01	MgHCO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl>NO ₃ >F
BC-02	MgHCO ₃	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl>NO ₃
BC-03	MgHCO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >NO ₃ >SO ₄ >Cl
BC-04	MgHCO ₃	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >NO ₃
BC-05	MgHCO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >NO ₃
BH-1	MgHCO ₃	Mg>Ca>Na	HCO ₃ >NO ₃ >SO ₄ >Cl>F
BH-2	CaMg HCO ₃	Ca>Mg> Na>K	HCO ₃ >NO ₃ >SO ₄ >Cl>F
BH-3	MgCaHCO ₃	Mg>Ca>Na	HCO ₃ > SO ₄ >Cl
BH-4	CaHCO ₃	Ca>Mg> Na>K	HCO ₃ >NO ₃ >SO ₄ >Cl>F
BH-5	CaHCO ₃	Ca>Mg> Na>K	HCO ₃ >NO ₃ >SO ₄ >Cl>F
BH-6	CaHCO ₃	Mg>Ca>Na	HCO ₃ >NO ₃ >SO ₄ >Cl>F

Çalışma alanından alınan suların katyon bolluklarına göre genelde $Mg^{+2} > Ca^{+2} > Na^{+} > K^{+}$ (Tablo 4.3) şeklinde bir dizilim gösterirken, bazı örneklerde ise ikinci sırada bolluk gösteren katyon olarak Na^{+} , Ca^{+2} , ün yerini almaktadır (Tablo 4.1, Şekil 4.2). Anyon sonuçlarına göre ise bolluk dizilimleri $HCO_3 > NO_3 > Cl > SO_4 > F$ (Tablo 4.3) şeklinde iken, bazı örneklerde ikinci ve üçüncü sıradaki anyonların bazen SO_4 , bazen de Cl olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla bölgedeki suların anyon ve katyon bileşimini düşündüğümüzde bölgedeki tüm suların $Mg(Ca)HCO_3$ sular olarak sınıflandırılması mümkündür (Şekil 4.2, Tablo 4.1).

İncelenen suların Mg^{+2} iyonu derişimleri 6.18 - 38.51 mg/L aralığında değişim gösterir. Mg^{+2} iyonu, inceleme alanı ve çevresinde geniş yer kaplayan ofiyolitik birimlerden dünit, harzburjit veya serpantinli kayaların 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.

Ca^{+2} doğal sularda en bol bulunan katyonlardan biridir. İnceleme alanındaki sularda ise ikinci katyon durumundadır. Suların Ca^{+2} iyon derişimleri 2.01 – 41,8 mg/L arasında değişir. Ca^{+2} iyonu genel olarak karbonatlı kayaların çözünmesi sonucu suda zenginleşir. Ca^{+2} iyonu değerlerinin çok düşük olmasının nedeni, bölgede yer alan jeolojik kayaların litolojik özelliklerinden kaynaklandığı gibi bu sularda gelişen ortak iyon etkisine de bağlanabilir.

İnceleme konusu suların Na^{+} iyonu değerleri 0.48 – 9.05 mg/L arasında değişim gösterir. Na^{+} iyonu su kaynaklarının kalitesini olumsuz etkileyen bir parametredir. Sularda fazla oranlarda bulunması içme ve kullanma özelliğı açısından istenmez. Yukarıbahro çayı dışındaki sular Na^{+} iyonu özelliğı açısından kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre I. sınıf su kalitesi özelliğine sahiptir. Ancak özellikle Yukarıbahro çayından alınmış örneklerin Na^{+} içeriğı açısından yüksek değerlere sahiptir. Bundan dolayı bu sular 2. sınıf su kalitesi özelliğine sahiptir.

İnceleme alanında yer alan suların K^{+} değerleri 0.14 - 5.25 mg/L aralığında değişim gösterir ve özellikle galeri sularına ait örneklerde çok düşük değerlerde olması nedeniyle cihaz tarafından okunamamıştır. Yukarıbahro çayına ait su örneklerinde ise biraz daha yüksek değerlerdedir. Genel olarak, potasyum, feldispat, mika, feldispatoid ve kil minerallerinde bulunur. Bu mineraller de doğal olarak Alacakaya bölgesinde yayılım göstermemesi nedeniyle, bu bölgeden beslenen suların analizlerinde düşük konsantrasyonlarda izlenmektedir. Bu minerallerin bozunuma uğraması sonucu potasyum açığa çıkar ve bu nedenden dolayı yöredeki su kaynaklarının kalitesini olumsuz yönde etkileyecek öneme sahip değildir.

İnceleme alanındaki HCO_3^{-} iyonu derişimleri 85.6 - 222 mg/L aralığındadır. Suların dolaşım sistemi içerisindeki hareketine bağılı olarak HCO_3^{-} iyonlarının kökeni olarak karbonatça zengin kayalar ile olan su - kayaç etkileşimi gösterilebilir.

İnceleme alanındaki suların Cl^{-} iyonu değerleri 0.034 – 33,8 mg/L arasında değişim göstermiştir. Cl^{-} iyon derişimlerinin özellikle iki örnekte yüksek değerler çıkmıştır bu örnekler Yukarıbahro çayına ait 4 nolu lokasyon ile Garip Baba galerisi çıkış suyunda gözlenmiştir. Onun dışındaki örneklerde çok düşük değerlerde 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 (250ppm) daha fazladır.

İnceleme alanındaki suların SO_4^{-2} iyon derişimleri 1.01 - 13.19 mg/L aralığında değişmiştir. Özellikle SO_4^{-2} iyonu, Yukarıbahro çayına ait örneklerde en baskın ikinci anyon olarak gözlenmiştir. Bölgedeki diğer kaynak sularında oldukça düşük değerlerde gözlenmiştir. Bundan dolayı da, kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre I. sınıf su kalitesi özelliğine sahip olduğu gözlenmiştir.

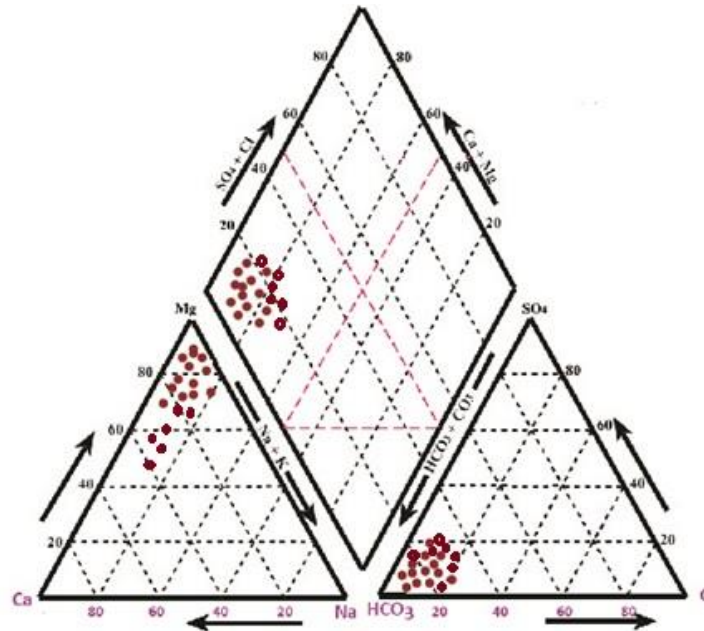
Çalışma alanındaki su örneklerinin analizi sonucunda NO_3 değerleri 0.25-7.29 mg/L arasında gözlenmektedir (Tablo 4.1). Nitratlar; suda yüksek çözünme özelliğine sahip inorganik kimyasallardır. Esas kaynakları gübre ve kanalizasyon olmakla birlikte doğal sulardaki nitrojen içeren materyallerin çoğu nitrata dönüşüm göstermektedir. Nitratların diğer kaynakları; mineral depozitleri, toprak, deniz suyu, taze su sistemleri ve atmosfer olup bu kaynaklar aracılığıyla çevrede doğal olarak da bulunabilmektedir. Ayrıca nitrit ve nitratlar işlenmiş etlerde koruyucu ve renk arttırıcı olarak da kullanılabilmektedirler. Çoğu ülkede; Yüzeysel kaynaklardan elde edilen içme sularında nitrat seviyesi genellikle 10 mg/L seviyesinin altında izlenirken, Kuyulardan elde edilen içme sularında nitrat seviyesi genellikle 50mg/l düzeyini geçmektedir, Nitrit seviyeleri ise çoğunlukla litrede birkaç miligram olacak şekilde çok düşük seviyelerde izlenmektedir. Dolayısıyla çalışma alanındaki NO_3 değerleri çok düşük oranda gözlenmektedir ve bu yüzden de bu değerlerin su kalitesini olumsuz anlamda etkileyecek değerlere sahip olmadığı gözlenmiştir.

Florür (F⁻); İnsan için en önemli florür kaynağı sudur. Suda florür değişik miktarlarda bulunabilir. Yüzeysel suları litrede 1 mg.dan daha az florür içerirken, yeraltı sularının florür oranı ise içinden geçtikleri arazinin jeolojik yapısıyla ve temas ettikleri florürlü maddelerin cins ve miktarlarına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin volkanik orijinli bölgelerde, sularda florür konsantrasyonları oldukça yüksektir (Hapçioğlu vd., 1992). Benzer şekilde feldispat ve feldispatoyitce zengin kayaçların bulunduğu alanlardaki yüzeysel ve yeraltı sularının flor içeriği de oldukça yüksektir. 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 sadece bir örnekte çok düşük değerlerde gözlenmiştir.

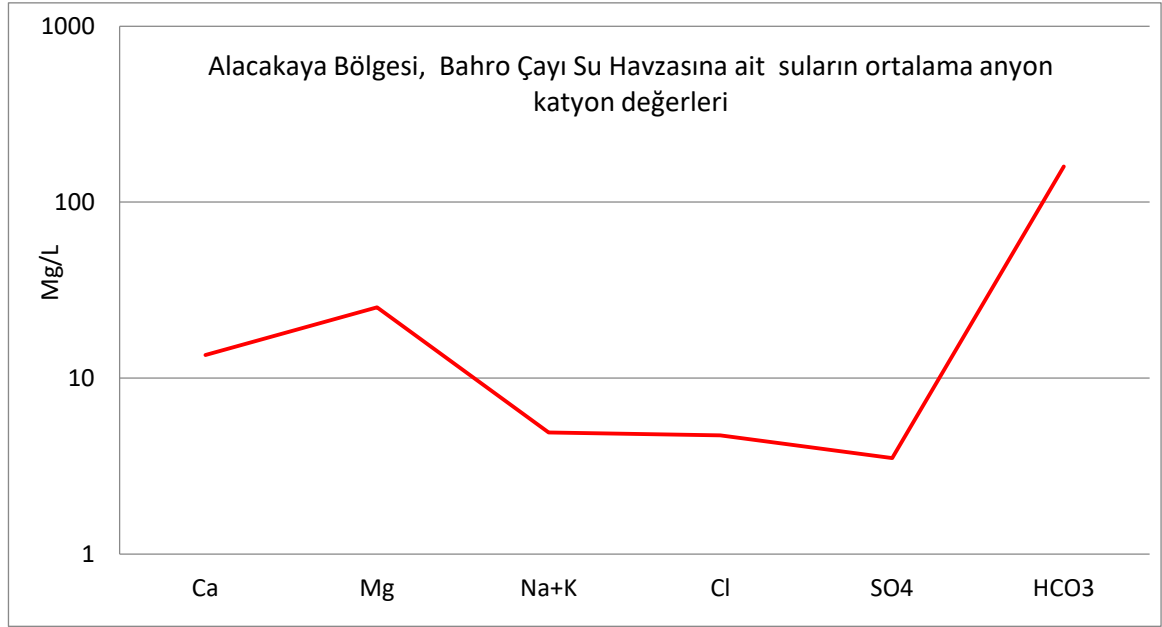
Genel olarak inceleme konusu sular düşük iyon derişimi ve düşük elektriksel iletkenlik değerlerine sahiptir. Buda bize bu suların sığ dolaşım sistemine ve kısa süreli su kayaç temas özelliğine sahip olduklarını göstermektedir. İnceleme konusu suların içerdiği fiziksel ve kimyasal parametreleri Kıta içi 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 Sınıflandırılması

Hidrojeolojide, suların kökensel açıdan değerlendirilmesi, toplu halde bir arada görülebilmesi, sınıflandırılması, birbirleriyle ilişkilerinin araştırılması ve karşılaştırılması gibi amaçlar için farklı diyagramlar geliştirilmiştir. Piper üçgen diyagramı (Şekil 4.3) ve Schoeller yarı logaritmik diyagramı (Şekil 4.4) gibi gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından, hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardır. Örneklem noktalarına ait majör katyon ve anyon değerleri kullanılarak yarı logaritmik (Schoeller) grafiği çizilmiştir (Şekil 4.4). Bu diyagram, örneklem yapılan 13 adet yüzey ve galerilerden alınan su örneklerinin analiz edilmesi sonucunda ortaya çıkan katyon ve anyon değerleri kullanılarak çizilmiştir. Bu diyagrama bakıldığında yöredeki suların katyon açısından Mg^{+2} baskın iken, ikinci sırada ise bazı örneklerde Ca, bazı örneklerde ise Na gelmektedir. Anyon açısından ise Cl ve SO_4 bakımından oldukça fakir sular olmakla birlikte HCO_3^- açısından ise oldukça zengin sular olarak tanımlanması mümkündür. Dolayısıyla hem Piper hem de Schoeller diyagramdan hareketle, bölgedeki suları Mg^{+2} ve HCO_3^- 'ca zengin sular olarak tanımlamak ve sınıflandırmak mümkündür. İncelenen sulara ait yarı logaritmik Schoeller diyagramında suların benzer iyon dizilimlerine sahip olmaları ve genelde paralel bir dizilim göstermeleri, bu suların aynı havzadan beslenen aynı veya benzer kökenli suları olabileceğini gösterir. 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 sahip olduklarını gösterir.



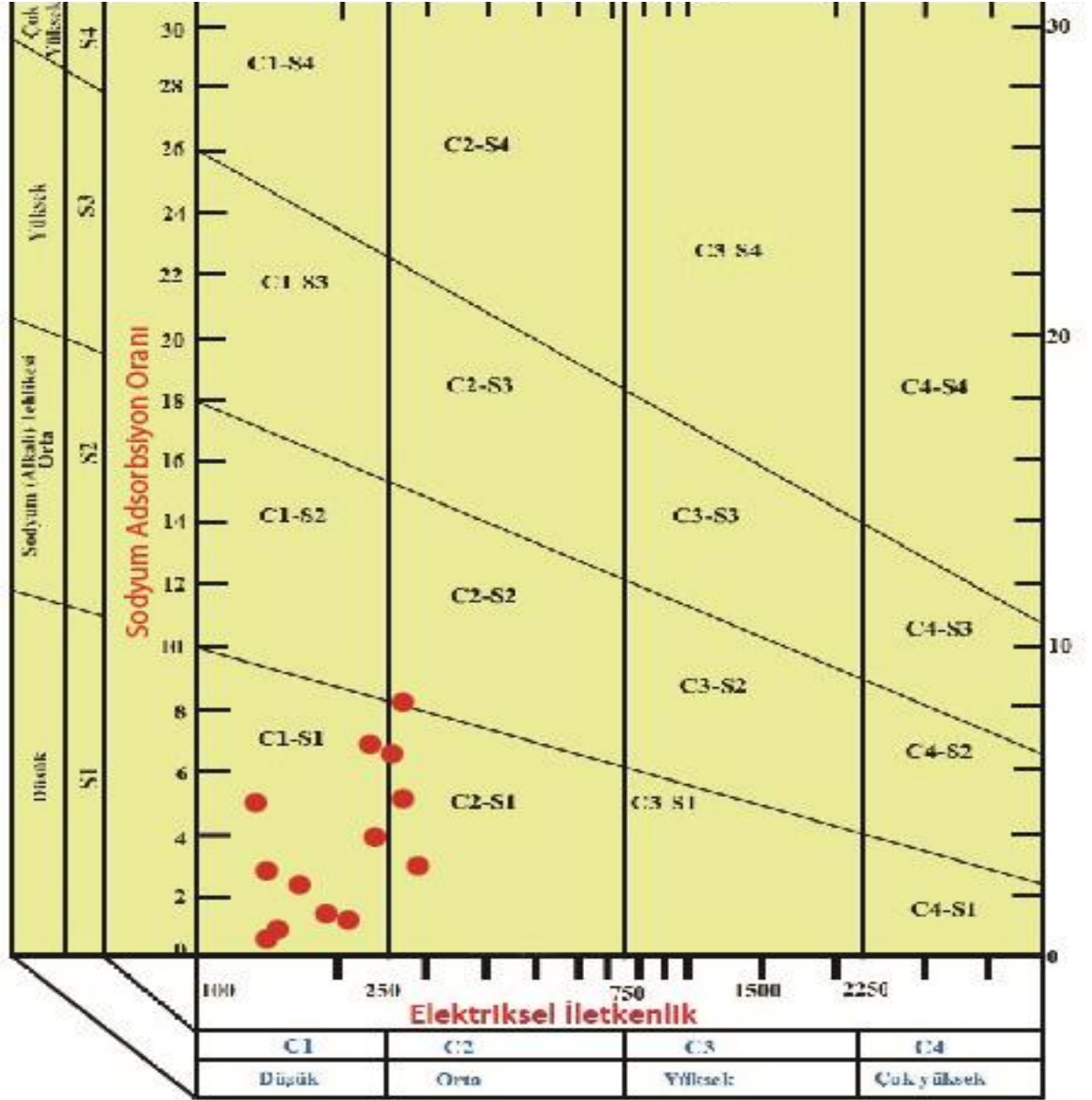
Şekil 4.3. İnceleme alanındaki suların Piper diyagramı üzerindeki dağılımı



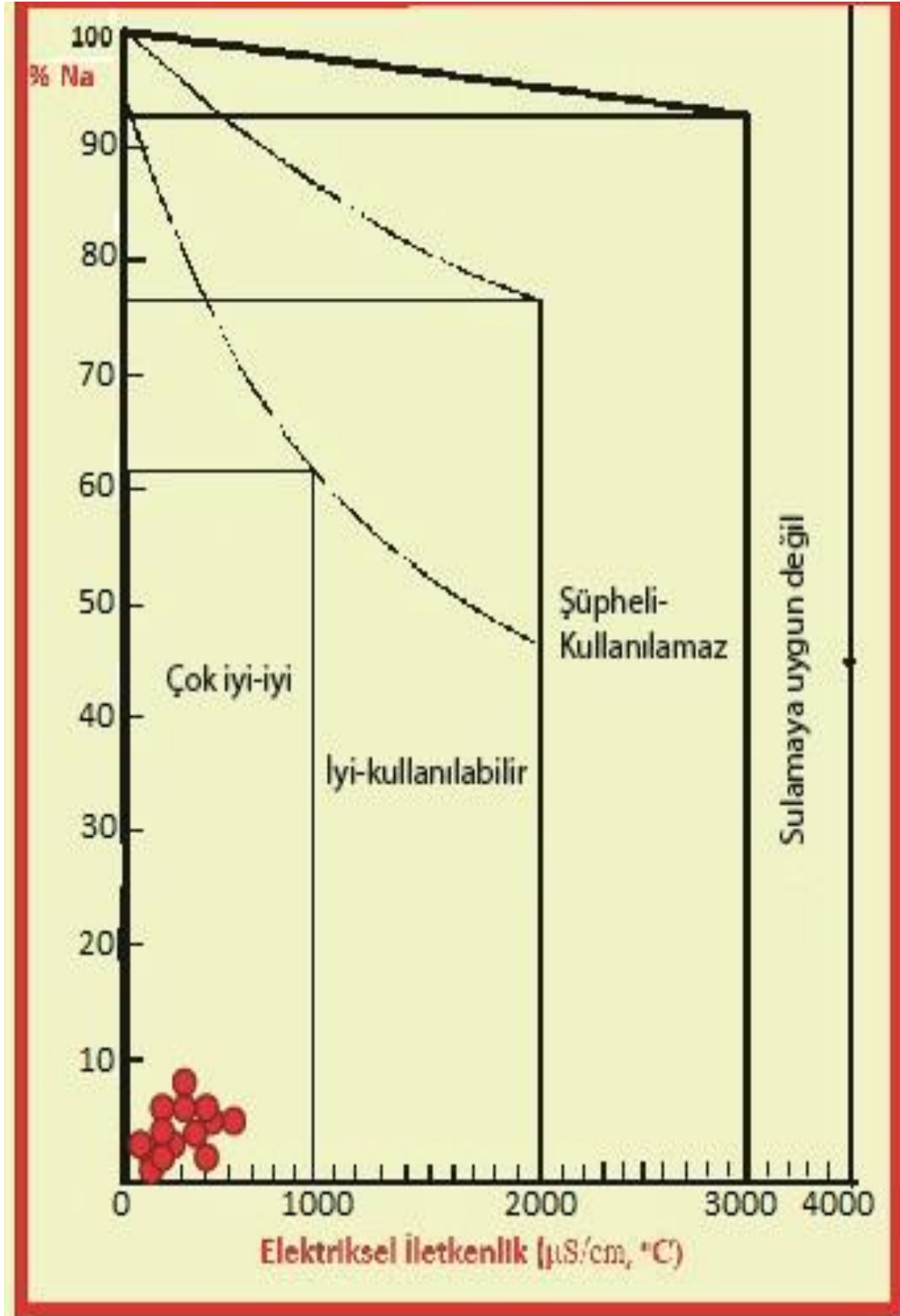
Şekil 4.4. Alacakaya Bölgesindeki sularının yarı logaritmik Schoeller diyagramları

4.4. Suların Sulamada Kullanım Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Söz konusu suların sulama amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları kullanılmıştır (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. Suların sodyum yüzdesi ve elektriksel iletkenlik değerlerine göre sulama sularının sınıflandırılmasını sağlayan diğer bir diyagram Wilcox diyagramıdır. Wilcox diyagramı suyun 25 °C’deki elektriksel iletkenliğine ve sodyum yüzdesi değerine göre düzenlenmiştir. İnceleme kapsamında bulunan suların Wilcox diyagramı kullanılarak sulama suyu değerlendirmesine göre, bölgedeki suların tamamı **iyi-çok iyi sulama suyu** olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.5. İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı.



Şekil 4.6. İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagramı

4.5. Suda Ağır Metal Değerlerinin İncelenmesi

Elazığ ili Alacakaya ilçesi yerleşim sınırları içerisinde yer alan ETİKROM A.Ş.'ye ait krom maden sahasında çevresindeki sulara 70 elementi kapsayan ağır metal analizleri yapılmıştır. Analizler ACME (Kanada) analiz laboratuvarında ICP-MS ile yapılmıştır. Yöredeki su örneklerinin ağır metal konsantrasyonları ve ICP-MS' in dedeksiyon limiti ile birlikte Tablo 4.4' de verilmiştir. Bu tabloya 34 elementin analiz sonuçları eklenmiştir, özellikle dedeksiyon limiti altında yer alan diğer elementler bu tablo içerisinde yer almamaktadır. 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), Stronsyum (Sr), Wolfram (W) ve Çinko (Zn)'ya rastlanmıştır.

Bölgedeki suların analizi sonucunda 1- 75 µg/L Al konsantrasyonu belirlenmiştir (Tablo 4.4). Alüminyumun yüksek değerleri özellikle Yukarıbahro çayına ait sulara gözlenmiştir. Galeri ve kaynak 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 altında değerler vermiştir. Sadece birkaç örnekte As okuması yapılabilmektedir ki bu da 0.6 µg/L ve 0.7 µg/L gibi çok düşük değerlerdir. Dolayısıyla bu anlamda düşünüldüğünde yöredeki su kaynaklarında potansiyel anlamda bir arsenik kirliliği veya endişesi görülmemektedir.

Tablo 4.4. İncelenen suların ICP-MS cihazındaki ağır metal analiz sonuçları

	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Br	Ca	Cl	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	In
	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPM	PPM	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPM	PPB
DL	0,05	1	0,5	0,05	5	0,1	5	50	1	0,02	0,5	0,1	10	0,1	0,05	0,01
YN-01	<0.05	3	<0.5	<0.05	<5	1,47	12	4,73	<1	<0.02	5,8	<0.1	<10	<0.1	0,19	<0.01
YN-02	<0.05	3	<0.5	<0.05	<5	1,47	12	4,73	<1	<0.02	5,8	<0.1	<10	<0.1	0,19	<0.01
GB-02	<0.05	<1	<0.5	<0.05	<5	1,63	196	2,58	41	0,03	4,8	0,1	<10	<0.1	1,04	<0.01
KF-1144	<0.05	37	0,6	<0.05	<5	1,18	26	2,79	<1	0,03	6,4	<0.1	<10	<0.1	4,23	<0.01
KF-1170	<0.05	33	<0.5	<0.05	<5	3,68	10	3,82	<1	0,06	9,7	<0.1	<10	<0.1	2,79	<0.01
KF-82-14	<0.05	7	<0.5	<0.05	<5	1,14	11	2,16	<1	<0.02	3,7	<0.1	<10	<0.1	0,14	<0.01
KF-82-16	<0.05	5	<0.5	<0.05	<5	0,84	12	2,67	<1	<0.02	4,2	0,1	12	<0.1	0,22	<0.01
KF-82-21	<0.05	3	<0.5	<0.05	<5	1,64	10	2,01	<1	<0.02	5,5	0,2	<10	<0.1	0,26	<0.01
BC-01	<0.05	4	<0.5	<0.05	12	2,21	22	19,1	<1	0,03	9,9	0,3	<10	<0.1	0,19	<0.01
BC-02	<0.05	75	0,7	<0.05	13	1,64	32	4,75	3	0,06	26,2	0,5	<10	<0.1	5,25	<0.01
BC-03	<0.05	45	0,6	<0.05	20	3,35	30	8,85	4	0,05	11,5	0,3	<10	<0.1	3,12	<0.01
BC-04	<0.05	64	0,6	<0.05	12	2,80	110	6,63	23	0,03	9,6	0,2	<10	<0.1	3,37	<0.01
BC-05	<0.05	20	<0.5	<0.05	8	3,37	46	9,19	7	0,03	8,2	0,2	<10	<0.1	1,52	<0.01
Ortalama	<0.05	24,9	0,6	<0.05	13,0	2,0	40,7	5,7	15,6	0,04	8,6	0,2	12,0	<0.1	1,7	<0.01
	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Rb	Sb	Si	Sr	Th	U	V	W	Zn
	PPB	PPM	PPB	PPB	PPM	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
DL	0,1	0,05	0,05	0,1	0,05	0,2	0,2	0,01	0,1	40	0,01	0,05	0,02	0,2	0,02	0,5
YN-01	1,1	29,14	<0.05	<0.1	1,50	0,4	<0.2	0,13	<0.05	5793	21,27	<0.05	<0.02	<0.2	0,03	1,4
YN-02	1,1	29,14	<0.05	<0.1	1,50	0,4	<0.2	0,13	<0.05	5793	21,27	<0.05	<0.02	<0.2	0,03	1,4
GB-02	0,5	38,51	<0.05	0,2	5,65	<0.2	<0.2	1,18	<0.05	395	4,19	<0.05	<0.02	0,5	0,06	<0.5
KF-1144	1,7	14,91	<0.05	0,3	5,12	<0.2	<0.2	6,65	<0.05	5378	8,84	<0.05	<0.02	1,4	0,05	<0.5
KF-1170	1,1	19,82	<0.05	0,3	2,45	<0.2	<0.2	6,76	<0.05	2522	20,27	<0.05	<0.02	0,3	0,05	<0.5
KF-82-14	0,5	24,64	0,06	<0.1	0,48	<0.2	0,3	0,15	<0.05	337	7,83	<0.05	<0.02	<0.2	<0.02	0,6
KF-82-16	0,6	26,49	<0.05	<0.1	0,48	<0.2	<0.2	0,43	<0.05	338	8,81	<0.05	<0.02	<0.2	0,02	3,2
KF-82-21	0,3	26,72	<0.05	<0.1	2,20	<0.2	0,3	0,19	<0.05	322	9,91	<0.05	<0.02	<0.2	<0.02	1,6
BC-01	0,3	34,48	0,11	<0.1	2,37	1,7	<0.2	0,15	<0.05	11627	63,13	<0.05	0,03	1,6	<0.02	0,5
BC-02	3,5	30,18	0,08	1,6	6,93	1,0	<0.2	11,18	<0.05	10112	13,93	<0.05	<0.02	4,8	0,15	<0.5
BC-03	1,8	29,62	<0.05	0,8	6,60	1,2	0,4	5,59	<0.05	8765	29,83	<0.05	<0.02	2,9	0,07	0,9
BC-04	2,0	31,44	<0.05	0,5	9,05	0,6	<0.2	7,62	<0.05	5321	33,17	<0.05	<0.02	2,2	0,05	<0.5
BC-05	1,4	30,00	<0.05	0,2	3,94	0,4	<0.2	3,29	<0.05	6123	41,79	<0.05	<0.02	1,1	0,05	0,5
Ortalama	1,22	28,08	0,08	0,56	3,71	0,81	0,33	3,34	<0.05	4832	21,9	<0.05	0,03	1,85	0,06	1,26

Bor (B), bölgedeki suların analizinde cihazın dedeksiyon limiti olan 5 µg/L' in altında değerler vermiştir. Sadece Yukarıbahro çayına ait sulara bu değer üzerinde 5-20 µg/L B içerikleri analiz edilebilmiştir (Tablo 4.4). 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 sahiptir.

Potansiyel anlamda bazik ve ultrabazik kayalar içerisinde önemli zenginleşmeler gösterebilen Cu, Co ve Cr elementleri çalışma alanındaki su örneklerinde analiz edilmiştir (Tablo 4.4). Bu sonuçlara göre Cu ve Co değerleri WHO (2008)'nun standartlarına göre çok düşük değerlere sahip olduğu gözlenirken, krom ise genelde küçük değerlere (0.05mg/L) sahip iken sadece bir örnekte BC-02 nolu örnekte 26.2 µg/L gibi en yüksek değere ulaşmıştır. Bu değer de WHO'nun değerinden düşük olmakla birlikte olasılıkla sudaki yüksek değer Kef bölgesindeki zenginleştirme tesisi ile ilişkili olması veya bu tesis kaynaklı olması muhtemeldir.

Mangan (Mn), çalışma alanındaki suların tamamında sınır değerlerin altında tespit edilmiştir (Tablo 4.4). Doğal olarak manganın anakayaç olarak bazik ve ultrabazik kayaları düşündüğümüzde bu kayalardan beslenen sulara daha yüksek 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 muhtemeldir. 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.

Wolfram (W) ve 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 4.4). Çevresel açıdan herhangi bir risk oluşturmamaktadır.

Yerkabuğunda ultrabazik kayaların içerisinde yüksek klark değerine sahip diğer bir önemli element ise nikeldir. Nikel çalışma alanından alınan sulara çoğu örnekte dedeksiyon limitinin altında değerler tespit edilmiştir (Tablo 4.4). Bu da zaten bu tür ortamlarda hareketliliği düşük ve immobil olan bu elementin kayalar veya bunların toprakları (laterit) içinde yüksek

konsantrasyonlarda olmasına karşın su içerisinde çözünmüş halde taşınmadığı ortaya çıkmaktadır. Bu durum yöredeki su kaynaklarının WHO'nun su kalitesi standartlarının (0.02 mg/L) çok daha altında değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bu da nikelin yöredeki sulara içilebilirlik anlamında herhangi bir risk oluşturmadığı tezini desteklemektedir.

Çalışma alanındaki sulara analizi edilen Mo, Pb, Sb, Si, Th, U, U, Th, Zn gibi diğer elementlerin çok düşük oranlarda gözlemlendiği ve WHO standartlarındaki değerin çok altında değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla bu elementlerin Alacakaya Bölgesindeki su kaynakları açısından bir risk oluşturmadığı ve bu element içerikleri açısından I. sınıf su kalitesi özelliği taşıdığı saptanmıştır.

Sonuç olarak, yöredeki su örneklerinin ağır metal analiz sonuçları kalite kriterleri açısından değerlendirildiğinde; kaynak ve galeri sularının tamamı I. sınıf su kalitesine sahiptir. Sadece Yukarıbahro çayı boyunca yer yer ağır metal kirliliği gözlenmektedir. Bu da WHO (2008)'nin içilebilir su standartları sınır değerleri ile karşılaştırıldığında, bölgedeki sulara herhangi bir ağır metal kirliliğinin olmadığını göstermektedir.

5. HİDROJEOLÖJİK SİSTEM VE RİSK ETMENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Yerel Hidrojeolojik Sistem

Çalışma alanı topografik olarak engebeli bir yapı sergilemektedir ve derin vadi ve tepeler sıkça gözlenmektedir. Bu vadilerin oluşumunda tektonik yapı 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 görülür. Yüksek kesimlerde ve galeri içlerinde küçük debili (0,1 - 0,2 L/sn) kırık ve çatlak zonlarını takip eder şekilde izlenmektedir (Şekil 5.1 ve 5.2). Benzer şekilde Yunusdere galerisinde olduğu gibi yüksek debili sular da uzanımı fazla olan fay zonları boyunca çoğalarak galerilerden atılmaktadır. Bu boşalım yılın her mevsimi debisi çok az değişimle devam etmektedir (Şekil 5.3). Yukarıbahro çayı ise yılın her döneminde değişik debilerle akışını devam ettirmektedir (Şekil 5.4) ancak özellikle ilkbahar aylarında oldukça yüksek debilere sahiptir.

Çalışma alanı litolojik olarak ofiyolitik istifin tabanı kesiminde yer alan tektonit ve kümülat grubu kayalardan meydana gelmektedir. Bu kayalarda çoğunlukla genel olarak geçirimsiz dunit ve harzburjit türü kayalardır. Birim etkili kırık zonları dışında pratikte geçirimsizdir ve hidrojeolojik anlamda yerel bariyerlerdir. Kayalar fay sistemlerine ve gerilmelere bağlı olarak gelişen kırık ve çatlak sistemlerinin oluşturduğu ikincil gözenekliliğe sahiptir. İnceleme alanı yeraltı suyu açısından zayıf hidrojeolojik özellik gösterir. Çatlak sistemlerinin gelişimine bağlı olarak kayaç içerisinde farklı boyutlarda hidrolik akım yolları oluşmuştur.

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 Mg açısından zenginleşmiştir. Yine kırık sistemlerinin oluşturduğu hidrolik akım yolları aracılığı ile 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 temmuz ayından itibaren içerisinde su buluna yegane akarsular Büyükbahro çayı ve Sori çayıdır.



Şekil 5.1. Galerî içlerinde kırık ve çatlak zonları boyunca sızan yeraltı sularının görüntüsü



Şekil 5.2. KEF 1082 Galerisi içerisindeki yoğun su çıkışı olan alanlar



Şekil 5.3. Yunusdere 1157 galerisi boyunca dışarı boşalan yeraltı suyu



Şekil 5.4. Yukarıbaro çayının BC-02 nolu örnek alım noktası

5.2. Hidrojeolojik Risk Etmenlerinin Maden Üretimi Açısından Değerlendirilmesi

Yörede çok sayılı galeri sistemi yer almaktadır ve bu galeriler değişik kotlarla birbiri ile bağlantı halindedir. Bölgedeki madencilik faaliyetlerinin artması ve yeni galerilerin açılmış olması, yöredeki yerlatı suyu boşalımını kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla da açılan galeri güzergahları boyunca yer yer sızıntı ve küçük kaynaklar halinde galeri içlerinde yer yer su birikintileri veya gölcükleri oluşmaktadır (Şekil 5.1, 5.2 ve 5.5). Galeriler içerisindeki bu su

birikintileri bölgedeki YAS su seviyesinin galerinin üst kodlarında bulunduğunu işaret etmektedir. Eğer YAS su seviyesi galerinin altında ise galerilerde su çıkışları gözlenmemektedir (Şekil 5.5). Aksi durumda ise galeri içerisinde farklı yerlerden su boşalmaları gerçekleşmektedir (Şekil 5.1 ve 5.2). Ayrıca galeri açılması 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 kalıcı halde 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. Krom ruhsat alanı içerisindeki Bahro Deresi ve Dereboyu Su Havzaları'nda gözlenen üretim alanları Şekil 5.6'da gözlenmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi sadece Batı Kef sahasında açık işletme ile üretim yapılmaktadır, diğer tüm alanlarda kapalı ocaklar ile yani galeriler yardımıyla üretim yapılmaktadır.

Bölgedeki kromit cevherinin derindeki konumunu belirlemek veya derindeki kromit damarını tespit etmek için arama amaçlı çok sayıda sondaj yapılmaktadır. Bu sondaj lokasyonları Şekil 5.7'de işaretlenmiştir. Özellikle Bahro Çayı Su Havzası Batı Kef bölgesi ile Doğu kesimindeki Lasir, Ayıpınar, Ayıdamar, Yunusdere, Garipbaba-1 ve Garipbaba-2 alanlarında çok sayıda sondaj lokasyonları yer almaktadır (Şekil 5.7). Bu sondajların sözkonusu ruhsat alanı dahilinde önümüzdeki dönemde de devam etmesi planlanmaktadır.

Yeraltı suyunun miktarının galeri içerisinde ani artması;

-ekipman kayıplarına,

-ekipman bakım masraflarının artmasına,

-pompaj ve drenaj masraflarının artmasına,

-çalışma güçlüğüne bağlı zaman kaybına,

-kayaçlarda ayrışmayı artırarak göçmelere ve aşırı sökülmeleere 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,

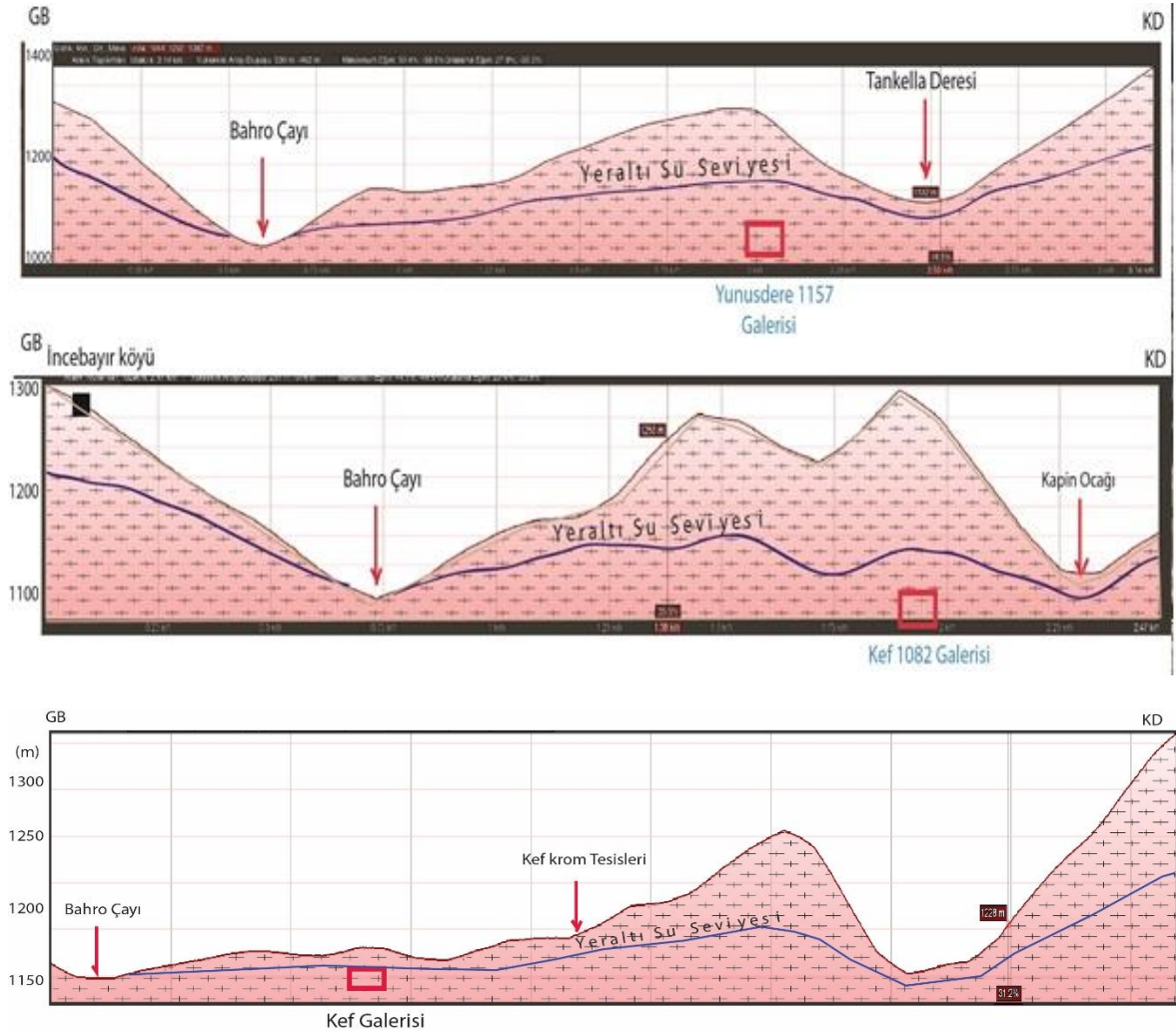
-yeraltı su kaynaklarının düzenli olarak gözlenmesi,

-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. İncelenen suların fiziksel ve

kimyasal parametre değerleri de maden üretimini engelleyecek veya etkileyebilecek risk etmenlerine sahip değildir.

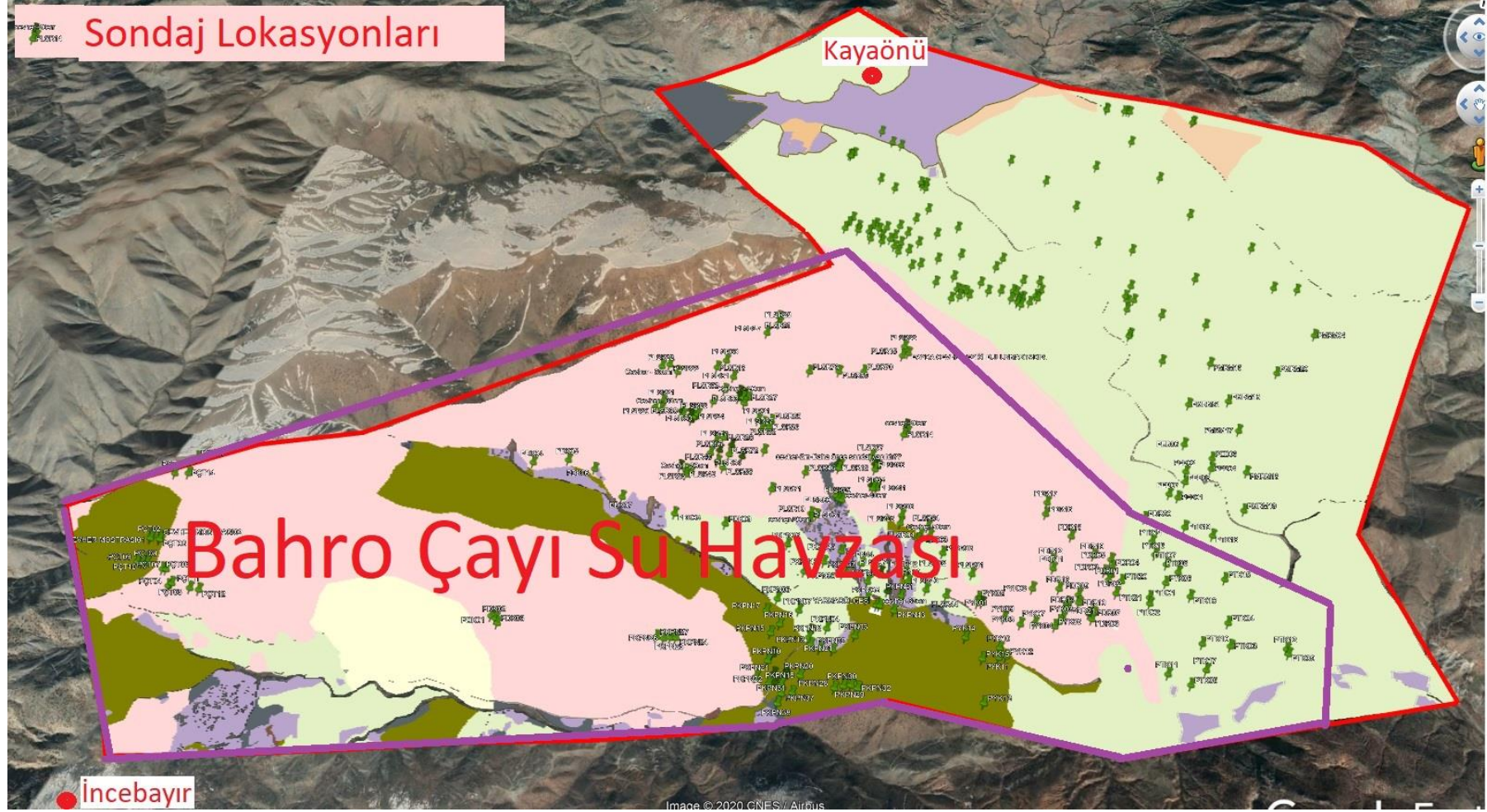
Bölgede Guleman Ofiyolitleri yüzeyleme vermektedir ve bu birimler de tamamen dünit-harzburgit türü kayaçlardan oluşmaktadır.



Şekil 5.5. Guleman krom yatakları Bahro Çayı Su Havzası çevresinde farklı alanlardan alınmış KD-GB doğrultulu jeolojik kesitler ve bölgelerdeki yeraltı su seviyesi durumları.



Şekil 5.6. Guleman krom yatakları Bahro Çayı Su Havzası çevresindeki kapalı ve açık ocakları gösteren harita (sadece Batı Kef'te açık işletme, diğer bölgeler kapalı işletme ile üretim yapılmaktadır).



Şekil 5.7. Guleman krom yatakları Bahro Çayı Su Havzası sondaj lokasyonlarını gösteren harita.

Bhairab nehrindeki (Bengaldeş)'deki nehir sularındaki ortalama Cr konsantrasyonu 36.49 µg/L' dir ve bu sonuçlar da, WHO (2008) standardının (50 µg/L) değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Buradaki ortalama As konsantrasyonu kış aylarındaki değerler (4.09 ± 0.63 µg/L), yaz aylarındakinden (3.27 ± 0.724 µg/L) daha yüksektir, bu da WHO (2008) standard değerlerinden (10 µg/L) daha düşüktür. Nehir suyundaki önemli miktarlarda As, esas olarak Bangladeş'in kuzey kesimindeki çalışma nehrine bağlı yüksek arazilerdeki Himalaya havzalarından gelmektedir (İslam vd., 2017; Mitamura vd., 2008). Ortalama Cd konsantrasyonu 1.74 µg/L içme suyu için standart değerden (3.0 µg/L) daha düşük ve yaz aylarında 1.14 µg/L standart konsantrasyondan daha düşüktü. Kış ve yaz aylarında, sudaki ortalama Pb konsantrasyonu sırasıyla 27.24 ve 20.39 µg/L idi; bu, içme suyu kalite standardından (0,05 µg/L.. ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA, 2020) tarafından önerilen toksisite referans değerleri dikkate alındığında, neredeyse tüm ağır metaller, özellikle Cr, As, Cd ve Pb, USEPA kriteri olan 0.016 maksimum konsantrasyon limitlerinden daha yüksektir. 0,34, 0,0018 ve 0,082 µg/L (USEPA, 2020), bu nehirden gelen suyun içme ve/veya yemek pişirme amacıyla güvenli olmadığını gösterir. Sudaki ağır metaller mevsimsel olarak değişerek kış mevsiminde yazı göre daha yüksek değerler sergilemiştir. Yaz aylarında, eser metallerin daha düşük seviyeleri nehir suyunun seyreltme etkisinden kaynaklanıyor olabilir (Proshad vd., 2018).

Keban Bölgesi'ndeki maden suları çeşitli elementler için analiz edilmiş ve bu sularda başlıca As, Cu, Mo, Pb, ve Zn değerleri WHO (1993) içme suyu standartlarından daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür (Sasmaz, 2015). Buna göre, galeride ortalama Cu, Pb, Zn ve As konsantrasyonları 67.0 ppm, 7.5 ppm, 7230 ppm ve 96.0 ppm olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Kanada' da madencilik faaliyetlerinden etkilenen göl sularında As konsantrasyonları 100-500 ppm olarak tespit edilmiştir (Smedley ve Kinniburg, 2002).

Alacakaya Bölgesi'ndeki bazı krom ocaklarında ise Marmek sahasındaki sularda ortalama Cr, Ni ve Co konsantrasyonları sırasıyla 1,2 ppm, 0,96 ppm ve 0,05 ppm şeklinde belirlenmiştir (Doğan, 2014; Sasmaz vd., 2016).

6. SONUÇLAR

Elazığ İli, Alacakaya 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 15.3 - 28.2 oC, pH 7.99 - 9.39, elektriksel iletkenlik (EC) 139- 280 μ S/cm arasında, Renk 22-95 arasında, Çözünmüş oksijen 9.10 ile 9.94 arasında değişmektedir. Galeri ve kaynaklardan çıkan sular genelde 15-17 oC arasında iken, dere suları ise mevsimsel etkenlerden dolayı daha yüksek sıcaklıklara sahiptir.

Sular elektriksel iletkenlik değerleri açısından “ elektriksel iletkenliği düşük iyi - çok iyi sular”, sertlik değerleri açısından ise Ca^{+2} ve Mg^{+2} toplam konsantrasyonları dikkate alındığında “ çok yumuşak sular” olarak sınıflandırılabilir.

Söz konusu sular Na^{+} , Cl^{-} , ve SO_4^{2-} iyonları özelliği açısından kıta içi su kaynaklarının sınıflamasına göre I. sınıf su kalitesi özelliğine sahiptir. Sadece Yukarıbahro çayı üzerindeki BC-02 nolu örnek noktası yakınındaki lokal bir alanda yüksek Na^{+} dan dolayı II.sınıf su kalitesi özelliği göstermiştir.

Bölgedeki sular, Schoeller ve Piper diyagramından da görüldüğü gibi; aynı havzadan beslenen, benzer kökenli, katyonlar açısından Mg (birkaç örnekte Mg yanında Ca da gözlenmiştir) anyon açısından ise HCO_3^{-} ca zengin olan $MgHCO_3$ tip sular olarak sınıflandırılmışlardır. Çalışma alanındaki sular genel olarak sığ dolaşım sistemine ve kısa süreli su kayaç temas özelliğinden dolayı düşük anyon+katyon ve elektriksel iletkenlik değerlerine sahiptir. Bu durum kısmen suyun bazik karakteri nedeniyle yan kayaçlardan çözüldükten sonra olasılıkla beslenme havzası yakınında çökelmiş olmalıdır.

İnceleme alanında bulunan suların tamamı ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramlarından da görüldüğü üzere az tuzlu ve az sodyumlu sular ($ClS1$) ve iyi - çok iyi sulama suyu olarak sınıflandırılmıştır.

Özellikle Çalışma alanında yer alan Yukarıbahro çayı üzerindeki bazı örneklerde gözlenen renk değerlerindeki artış sudaki koloidal askı maddelerinden kaynaklanmaktadır. Bölgede gerçekleştirilen madencilik faaliyetlerinin söz konusu sulardaki renk artışına herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

Çalışma alanından alınan suların katyon bolluklarına göre genelde $Mg^{+2} > Ca^{+2} > Na^{+} > K^{+2}$ (Tablo 4.3) şeklinde bir dizilim gösterirken, bazı örneklerde ise ikinci sırada bolluk gösteren katyon olarak Na^{+} , Ca^{+2} ün yerini almaktadır. Anyon sonuçlarına göre ise bolluk dizilimleri $HCO_3 > NO_3 > Cl > SO_4 > F$ (Tablo 4.3) şeklinde iken, bazı örneklerde ikinci ve üçüncü sıradaki anyonların bazen SO_4 , bazen de Cl olduğu gözlenmiştir.

Bölgedeki sular, bazik ve ultrabazik kayaçlar içerisinde gelmektedir. Yüzey veya yağmur suları bu kayaçların içerisinde geçerken bu kayaçları yıkayarak bünyesine bir takım metalleri almaktadır. Bu kayaçlarda gözlenen en yaygın metal Mg' dur. Bunun dışında eser halde bulunan pek çok element de bu sular tarafından çözündürülerek, bünyelerinde asılı halde kalabilmektedir. Sularda yapılan 70 elementi içine alan su analizlerinde pek çok elementin çok düşük konsantrasyonlarda bulunması nedeniyle cihazın dedeksiyon limitinin altında kaldığı gözlenmiştir. Özellikle alınan 19 noktadaki su analizlerinde Cu, As, Ni, Cr, Mn, B, Zn, Pb gibi ağır metallerin çok düşük oranda gözlemlendiği saptanmıştır. Sadece birkaç örnekte Yukarıbahro çayı üzerindeki noktalarda Dünya Sağlık Örgütü WHO (1993)'ün içme suyu standart değerlerine yaklaştığını göstermektedir. Bu sonuçlardan da görüldüğü üzere Alacakaya bölgesi kaynak ve dere sularında herhangi bir ağır metal kirliliği gözlenmemiştir. Tüm elementleri WHO (1993)' nün değerlerin çok altında değerlere sahip olduğu görülmüştür. Dolayısıyla yöredeki sular hem içme hem de kullanma suyu olarak rahatlıkla kullanılabilir ve herhangi bir çevresel risk veya olumsuzluk göstermemektedir. Ancak yöredeki madencilik faaliyetlerinin devamı süresince özellikle yeni açılan galerilerdeki su kaynaklarından rutin örnekler alınarak, potansiyel kirleticiler olabilecek elementler (Cu, As, Ni, Cr, Mn, B, Zn, Pb) için su analizleri yapılmalıdır. Bu işlem için herhangi bir gözlem kuyusu veya kuyularına ihtiyaç yoktur.

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

Yöredeki kayaçlar bazik-ultrabazik bileşimli ofiyolitik kayaçlardan oluşmuştur ve bu kayaçların iyi akifer olma özellikleri yaygın tektonizmanın etkisiyle ancak fay, kırık ve çatlak zonları boyunca gelişebilir. Bunun dışında bir kumtaşı veya kireçtaşı gibi yüksek rezervli akiferler oluşturmazlar. Böylece bu kayaçlar içerisinde çok yüksek hacimli su kütlelerini bünyelerinde tutmaları mümkün değildir. Dolayısıyla bölgede yüksek debili ve ani boşalımlı su hareketleri bu galeriler boyunca beklenmemelidir.

Alacakaya krom ruhsat alanı içerisindeki Bahro Çayı Su Havzası içerisinde yerleşim alanı bulunmamaktadır. Ancak Ruhsat alanının GB köşesinin dışında İncebayır köyü yer almaktadır. Bu köy Bahro çayının güney kesiminde ve oldukça yüksek kotlarda yer almaktadır. Bu köy ve çevresinde herhangi bir madencilik faaliyeti yapılmamaktadır. En yakın madencilik faaliyeti yapılan Batı Kef açık ocağı 1 km.'den daha uzak bir mesafede bulunmaktadır. Dolayısıyla bu köyün çevresinde herhangi bir madencilik faaliyeti veya maden arama sondaj faaliyeti yürütülmemektedir. İncebayır köyünün içme suyu kaynakları, köyün güneyindeki daha üst kotlardan sağlanmaktadır. Dolayısıyla bölgedeki madencilik faaliyetleri, İncebayır köyü

içmesuyu beslenme alanına oldukça uzaktır ve bu faaliyetlerden de olumsuz etkilenmesi de mümkün değildir.



KAYNAKLAR

- 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.
- Güven , A., 2013. Hazar gölü (Elazığ) çevresindeki alüvyon akiferlerinin hidrojeoloji incelemesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 76 s. Elazığ.
- Hapçıoğlu, B., Dişçi, R., Demir, L., Bacak, E., Güray, Ö. ve Özer, N., 1992. Türkiye içme sularında florürün bölgesel dağılımı, İstanbul Üni. Dış 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 International Journal, 6 (4), 241-254.
- Mitamura, M., Masuda, H., Itai, T., Minowa, T., Maruola, T., Ahmed, K.M., Seddique, A.A., Dipak, B.K., Nakaya, S., . Li, X.D., Uesugi, K., Kusakabe, M. 2008. Geological structure of an arsenic-contaminated aquifer at Sonargaon, Bangladesh. The Journal of Geology 116, 288-302.
- Proshad, R., Islam, M.S., Haque, M.A., Hoque, M.F., Ahmed S.2018. Apportionment of hazardous elements in agricultural soils around the industrial vicinity of Bangladesh. Journal of Environmental and Earth Science, 1 (1), 1001-1011.
- 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, 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
- Smedley P.L., Kinniburgh, D.G. 2002. A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry 17; 517-568.
- 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
- Zengin, Y., 1960, The distributkm of chromite reserves in successive layers and scattered lenlsses, In symposium on chrome ore, CENTO, Ankara, 122.-136.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Cihan YÜCEL

© 2006 The Authors
Journal compilation © 2006 Blackwell Publishing Ltd

11/11/2014

11

11/11/2016

© 2006 The Authors

■ [REDACTED]

© 2006 The Authors

11/11/2016

10/1/2008

QUESTION
