

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜMÜŞHANE İL MERKEZİ İÇME SULARININ FİZİKSEL VE JEOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sultan USLU

KASIM 2014

GÜMÜŞHANE

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GÜMÜŞHANE İL MERKEZİ İÇME SULARININ FİZİKSEL VE JEOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sultan USLU

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

“Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı”

Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.11.2014

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 25.11.2014

KASIM 2014



KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ danışmanlığında Sultan USLU tarafından hazırlanan “GÜMÜŞHANE İL MERKEZİ İÇME SULARININ FİZİKSEL VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan (Danışman)


: Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ

Üye


: Doç. Dr. Ali GÜNDOĞDU

Üye


: Y. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

ONAY

Bu tez 7.11.2015 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN
Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜMÜŞHANE İL MERKEZİ İÇME SULARININ FİZİKSEL VE JEOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Sultan USLU

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ
2014, 75 sayfa

Bu çalışmada Gümüşhane İl merkezindeki yerüstü sularının fiziksel jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve yan kayaç türü ile ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

İnceleme alanından alınan su örneklerinin pH değerleri 6.3-8.2 ve iletkenliği 240-900 μ S arasında değişmekte olduğu belirlenmiş olup, ayrıca bu değerler Türkiye ve WHO içme suyu standartlarına uygun olduğu da anlaşılmıştır. Çalışma alanındaki su örneklerinin sertliği 18.1-115.1 $^{\circ}$ Fr arasında olup oldukça sert-sert-çok sert su olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca su örnekleri Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kriterleri'ne göre değerlendirildiğinde, bazı parametreler bakımından (pH, Na, SO_4^{2-} , Fe, Mn, Al, Co, Ni, Cu ve Cr miktarlarına göre) I. sınıf (yüksek kaliteli), bazı parametrelere (Cl^- ve iletkenlik miktarlarına) göre I. ve II. sınıf (az kirlenmiş) sular sınıfında yer almaktadır. Pb konsantrasyonlarına göre bir kaç örnek hariç (SK-5, SD-1, OD-1 VE OD-19 nolu su örnekleri) I. ve II. sınıf sular, Zn

içeriklerine göre bir kaç örnek (OD-10, OD-11, Ç-3, Ç-5, OD-9, OD-3-1 ve SK6-1 nolu su örnekleri) hariç I. ve II. sınıf sular, Cd miktarlarına göre bazı su örnekleri (Ç-6, OD-12, OD-8, Ç-8, OD-4-1, OD-3-1, Ç-1, OD-9, Ç-5, Ç-3, OD-11 ve OD-10 nolu su örnekleri) hariç I. ve II. sınıf sular olarak sınıflandırılmıştır.

İnceleme alanındaki sular genel olarak karbonatlı ve sülfatlı ($\text{Ca}+\text{Mg}>\text{Na}+\text{K}$) sular sınıfında olup, genellikle zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden ($\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^-+\text{SO}_4^{2-}$) daha fazladır. İnceleme alanındaki suların pH'sı ile sularda değişik konsantrasyonlarda bulunan metaller arasında pek bir ilişki olmadığına kanaat getirilmiştir. Suların çıktığı yerlerde su-kayaç etkileşimi ile Fe, Ni, Cd, Pb, Zn ve Cu gibi elementlerin sularda zenginleştiği, maden atıklarının veya endüstriyel atıkların sulara karışması ile bu elementlerin sularda artış gösterdiği değerlendirilmiştir. Sonuç olarak bazı su örneklerinin içme ve kullanma suyu açısından iyi sular sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fiziksel ve Kimyasal Parametreler, Gümüşhane, İçme Suyu, Su Kalitesi

ABSTRACT

MS THESIS

**INVESTIGATION OF PHYSICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS
OF GÜMÜŞHANE (TURKEY) CITY CENTRAL DRINKING WATER**

Sultan USLU

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geology Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

2014, 75 pages

It has been aimed to determine the physical and geochemical properties of the existing surface waters at the study area covering the Gümüşhane city center and the investigation of the wall rock-water interaction.

The pH of the water samples taken from the study area was 6.3-8.2 and their conductivity ranged between 240-900 μ S and this was concordant to Turkey and WHO drinking water standards. Hardness of the water samples in the study area was between 18.1-115.1 $^{\circ}$ Fr and was classified as extremely hard-hard-very hard water. In addition, when evaluated according to the Criteria for the Inland Surface Water Classification with respect to certain parameters (according to the amount of pH, Na, SO_4^{2-} , Fe, Mn, Al, Co, Ni, Cu and Cr) was located in the I. class (high quality) water class, according to some parameters (according to the amount of the Cl^- and conductivity) was located in the 1st and

2nd class (slightly polluted) water class. According to the Pb concentrations except by a few samples (SK-5, SD-1, OD-1 and OD-19 numbered water samples) was classified as I. and II. class water, according to the Zn contents except by a few samples (OD-10, OD-11, Ç-3, Ç-5, OD-9, OD-3-1 and SK6-1 numbered water samples) was classified as 1st and 2nd class water, according to the amount of Cd except by a few samples (Ç-6, OD-12, OD-8, Ç-8, OD-4-1, OD-3-1, Ç-1, OD-9, Ç-5, Ç-3, OD-11 and OD-10 numbered water samples) was classified as I. and II. class water.

Waters in the study area in general was from carbonated and sulfated ($\text{Ca}+\text{Mg}>\text{Na}+\text{K}$) water classes and usually, their poor acids are more than their strong acids ($\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^-+\text{SO}_4^{2-}$). The pH (6.3-8.2) of the water in the study area showed no relationship between the metals present with varying concentrations in water. It is thought that elements like Fe, Ni, Cd, Pb, Zn and Cu are enriched in the waters with the water-rock interaction in the area where water rises or by the mixture of waters with mine waste or the industrial waste these elements were thought to increase. Also, it was determined that some water samples were determined to be in the good water class in terms of drinking and usage waters.

Key Words: Physical and Chemical Parameters, Gümüşhane, Drinking Water, Water Quality

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışma, Gümüşhane ili, merkez içme sularının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yan kayaç türü ile ilişkisinin incelenmesini kapsamaktadır.

Çalışmalarımın her aşamasında yardımlarını ve desteğini gördüğüm, bilgi ve önerilerinden yararlandığım değerli hocam Sayın Doç. Dr. Ferkan SİPAHI'ye içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen Doç. Dr. Abdullah KAYGUSUZ'a, Y. Doç. Dr. Adem BAYRAM'a (KTÜ), Doç. Dr. Ali GÜNDOĞDU'ya, Y. Doç. Dr. Turgut ŞAHİNÖZ'e, Doç. Dr. Saime ŞAHİNÖZ'e, Y. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ'a, Doç. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER'e, Jeoloji Yük. Müh. Sebahattin GÜNER'e (MTA), Y. Doç. Dr. Cemalettin BALTACI'ya ve Arş. Gör. Dr. M. Ali GÜCER'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca çalışmalarımın çeşitli aşamalarında katkıda bulunan Gümüşhane il Sağlık Müdürlüğü çalışanlarından Fahri YALÇIN'a ve Kadriye DEMİREL'e, Gümüşhane Devlet Hastanesi Başhekimliği'ne, Üroloji Bölümü doktorlarına ve çalışanlarına, ince kesitlerin hazırlanmasında teknisyen Hakkı YOKUŞ'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her aşamasında destek ve yardımlarını esirgemeyen eşim Oral USLU'ya, anneme ve kızlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Sultan USLU
Gümüşhane, 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.1.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve Topoğrafyası.....	1
1.1.2. İklim ve Bitki Örtüsü	2
1.1.3. Ekomonik Durum	3
1.2. Önceki Çalışmalar	3
1.3. Genel Jeoloji.....	9
1.3. Çalışmanın Amacı	10
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Materyal ve Yöntem	11
2.1.1. Arazi Çalışmaları	11
2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları	11
2.1.2.1. İnce Kesitlerin Hazırlanması ve İncelenmesi	11
2.1.2.2. Su Analizleri	11
3. BULGULAR	17
3.1. Stratigrafi ve Petrografi	17
3.1.1. Gümüşhane Granitoyidi.....	18
3.1.2. Zimonköy Formasyonu.....	20
3.1.3. Berdiga Formasyonu.....	22
3.1.4. Alibaba Formasyonu.....	23
3.1.5. Alüvyonlar	26
3.2. Jeokimya.....	26
3.2.1. Suların Fiziksel Özellikleri	26

3.2.2.	Suların Kimyasal Özellikleri	31
3.2.2.1.	Metal Element Kirliliği.....	38
3.2.2.2.	Piper Diyagramı Değerlendirilmesi.....	41
4.	TARTIŞMA.....	44
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
6.	KAYNAKLAR.....	54
	ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. MP – AES cihazının çalışma şartları	15
Tablo 3.1. Çalışma alanından alınan su örneklerinin alındığı yerler ve kayaç türleri	27
Tablo 3.2. Çalışma alanından alınan su örneklerinin fiziksel özellikleri	28
Tablo 3.3. Suların iletkenliğine göre sınıflandırılması (Erguvanlı ve Yüzer, 1987)	29
Tablo 3.4. Çalışma alanından alınan su örneklerinin önemli bazı element analiz sonuçları	33
Tablo 3.5. Çalışma alanındaki suların sertlik derecelerine göre sınıflandırılması (Tuncay, 1994)	34
Tablo 3.6. Çalışma alanından alınan su örneklerinin korelasyon matrisi (% 95 güven aralığında)	36
Tablo 3.7. Çalışma alanından alınan su örneklerinin bazı katyon (mek/L) ve anyon (mek/L) bileşimleri	42
Tablo 4.1. İnceleme alanındaki su örneklerinin kirletici parametreleri ve su sınıfları (konsantrasyon değeri mg/L cinsinden verilmiştir)	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	2
Şekil 3.1. İnceleme alanındaki birimlerin stratigrafik dikme kesiti	17
Şekil 3.2. İnceleme alanının petrografi ve örnek alım haritası	18
Şekil 3.3. Gümüşhane Granotiyidi'ndeki siyenogranite ait örneğin mikroskoptaki görünümleri.....	20
Şekil 3.4. Zimonköy Formasyonu'ndaki andezitin mikroskoptaki görünümleri.....	21
Şekil 3.5. Bağlarbaşı Mahallesi'nde Berdiga Kireçtaşı'nın görünümü	22
Şekil 3.6. Berdiga Kireçtaşı'ndan alınan örneğin mikroskopta çift nikoldeki görünümü.	23
Şekil 3.7. Kermutdere Formasyonu'ndan alınan kumtaşı örneğinin mikroskopta çift nikoldeki görünümü.....	24
Şekil 3.8. Alibaba Formasyonu'ndaki andezitin mikroskopta çift nikoldeki görünümü.	25
Şekil 3.9. Alibaba Formasyonu'ndaki bazaltın mikroskopta çift nikoldeki görünümü.	25
Şekil 3.10. Çalışma alanındaki su örneklerinin pH'ı ile iletkenliği arasındaki değişim.....	30
Şekil 3.11. Çalışma alanından alınan su örneklerinin iletkenliği ile katyonlar (mg/L) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramlar.....	30
Şekil 3.12. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Fransız sertlik derecesi (Fr ⁰) ve pH'ı arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram.	35
Şekil 3.13. Çalışma alanından alınan su örneklerinin K ⁺ (mg/L) içeriği ile Fransız sertlik derecesi (Fr ⁰) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram.....	35
Şekil 3.14. Çalışma alanındaki su örneklerinin Fransız sertlik derecesi ile Ca ²⁺ ve Mg ²⁺ arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram.	35
Şekil 3.15. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Cl ⁻ (mg/L) içeriğinin (HCO ₃) ⁻ (mg/L) ve (SO ₄) ²⁻ (mg/L) içeriklerine göre değişimi.	37
Şekil 3.16. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Piper diyagramında sınıflandırılması.	43
Şekil 4.1. Çalışma alanındaki su örneklerinin gruplandırılmış element (µg/L ve mg/L) dağılım diyagramları	48

Şekil 4.2. Çalışma alanındaki su örneklerinin gruplandırılmış element ($\mu\text{g/L}$ ve mg/L) dağılım (Zn değerleri 10'na bölünmüştür) ve yan kayaçlarının element (ppm ve %) dağılım diyagramları	49
Şekil 4.3. Çalışma alanındaki su örnekleri ile yan kayaç arasındaki Fe (%) ile Cu (ppm), Ni (ppm), Zn (ppm) ve Pb (ppm) değişimi	50

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Ag	: Gümüş
An	: Anortit
Ba	: Baryum
BSS	: Bağlı Standart Sapma
Ca	: Kalsiyum
Cc	: Kalsit
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klor
cm	: Santimetre
CO ₃	: Karbonat
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Ç	: Çeşme
DSTİSS	: Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu Standartı
FAAS	: Flame Atomic Absorbtion Spectrometer
Fe	: Demir
Fr	: Fransız su sertliği
GD	: Güney Doğu
HCO ₃ ⁻	: Bikarbonat
ICP-AES	: Inductively Coupled Plazma- Atomic Absorbtion Spectrometer
K	: Potasyum
KB	: Kuzey Batı
KD	: Kuzey Doğu
LOD	: Gözlenebilme Sınırı
LOQ	: Tayin Sınırı
mg/L	: Miligram/litre
Mn	: Mangan
mm	: Milimetre
MP-AES	: Mikrodalga Plazma- Atomik Emisyon Spektrometre
My	: Milyon yıl
Na	: Sodyum
NO ₃	: Nitrat
NTU	: Nephelometric Turbidity Unit (Bulanıklık birimi)
Ni	: Nikel
OD	: Odak Noktası
OH ⁻	: Hidroksit
Oj	: Ojit
Or	: Ortoklas

Pb	: Kurşun
Plj	: Plajiyoklas
SD	: Su deposu
SK	: Su kuyusu
Q	: Kuvars
TİSS	: Türkiye İçme Suyu Standartı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
U	: Uranyum
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
Zn	: Çinko

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Su, canlılığın temelini oluşturan ve yaşamsal işlevlerin gerçekleştirilmesinde en ihtiyaç duyulan doğal bir kaynaktır. Canlılardaki birçok metabolik olayda su önemli rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra biyolojik sistemlerde değişik görevleri olan elementler (H, Na, K gibi) suda çözünmüş olarak bulunmaktadır. Bu elementler canlıların başlıca besin maddelerini oluşturur ve suda çözünmüş olarak bulunurlar. Bu özellik, suda çözünmüş olarak bulunan element düzeylerinin önemini ortaya koymaktadır. Saf su iki hidrojen ve bir oksijen atomundan meydana gelmiş, kimyasal formülü H_2O olan bir bileşiktir. Sıkıştırılamayan, rengi ve kokusu olmayan, katı, sıvı ve gaz halde bulunabilen bir maddedir. Deniz seviyesinde ve $+4^{\circ}C$ ' de özkütlesi $1g/cm^3$ 'tür.

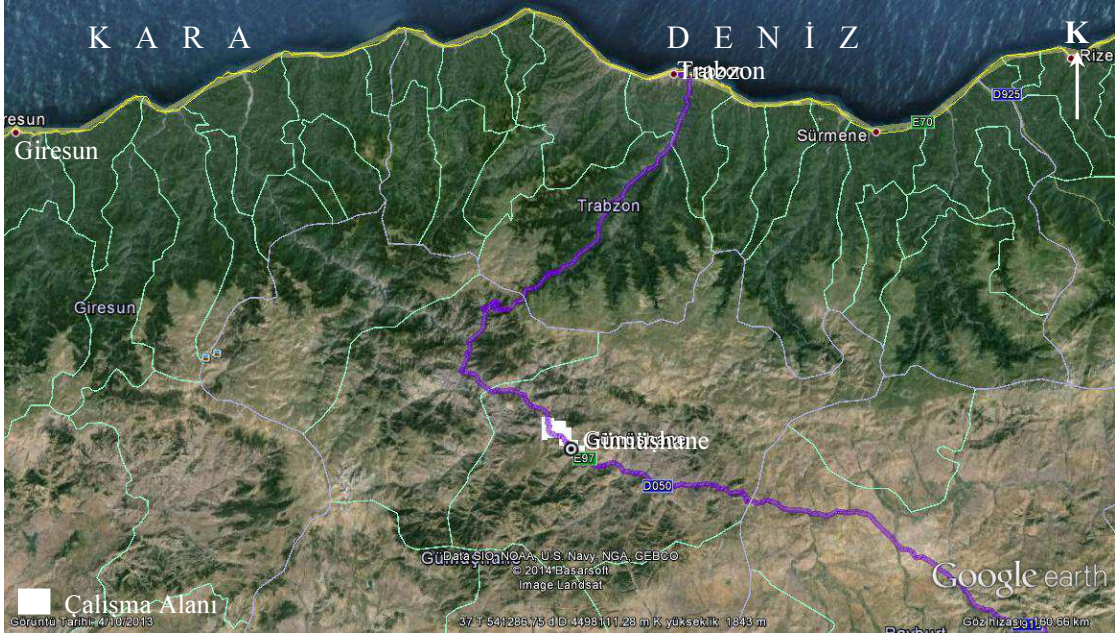
Susuz hayat mümkün değildir. Yetişkin bir insanın vücudunun ortalama %59'u sudur. Su vücudun her bölümünde dağılmış haldedir. Kan gibi bazı dokuların yapısında fazla miktarda su bulunurken, kemik gibi bazı dokularda ise daha az miktarda bulunur. Vücuttaki bütün fizyolojik olayların yürütülmesinde su ya doğrudan ya da dolaylı olarak metabolik işlemlere katılır. Bütün yaşamsal olaylar için gerekli olan suyun insanlara hijyenik olarak (içerisinde As, Cu, Pb, gibi zararlı kimyasal maddeleri ve patojen mikroorganizmaları içermeyecek özellikte) sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Gümüşhane il merkezindeki içme sularından ve bu sulara yakın yerlerdeki kayalardan numuneler alınarak, kimyasal analizlerinin yapılması ve bu analizlerden elde edilen verilerin karşılaştırılarak değerlendirilip, suların jeolojik yapıyla ilişkisinin araştırılmasıdır.

1.1.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve Topoğrafyası

Çalışma alanı Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nün güney kesiminde yer almakta olup, Gümüşhane İli merkezini kapsamaktadır (Şekil 1.1). Gümüşhane ili eski adı tarihi ipek yolu ve yeni adı Erzurum-Trabzon Karayolu olan bölge üzerinde kurulmuş olup, kuzeyde Trabzon, güneyde Erzincan, doğuda Bayburt ve batıda Giresun illeriyle sınırlanmıştır.

Şehrin topoğrafyası, şehri ortadan ikiye bölen ve GD-KB yönünde akan Harşit çayı dar V şekilli vadi oluşturduğundan, oldukça engebeli bir yapıya sahiptir. Bu nedenle yerleşme Harşit Vadisi boyunca olmuştur. Kuşakkaya Tepesi (1952 m) inceleme alanının en yüksek tepesini ve Tencil Tepe (1448 m) en düşük tepesini oluşturmaktadır.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

1.1.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Gümüşhane ili, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi ile komşu olması sebebiyle her iki iklimin de özelliklerini taşıyan geçiş iklimi özelliğindedir. Yazları daha kurak, kışları ise soğuk ve kar yağışlıdır.

İnceleme alanı bitki örtüsü bakımından fakirdir. Genellikle akarsu yatakları boyunca elma, vişne, ceviz, kayısı ve dut ağaçlarından oluşan meyve bahçeleri, kavak ve söğüt ağaçları görülmektedir. Doğal bitki örtüsünü yaygın olarak çalılıklar, yer yer çam ve pelit (meşe) ağaçları ve son yıllarda şehrin ekonomisine katkı sağlayan kuşburnu oluşturmaktadır.

1.1.3. Ekonomik Durum

Yöre halkı tarım ve hayvancılığın yanısıra pestil ve köme üretimi ile de gelir sağlamaktadır. Aynı zamanda şehirde metal (altın, gümüş, kurşun, çinko, bakır vb.) ve endüstriyel hammaddelerin (barit, kil ve çimento) bol miktarda bulunması, yöre halkına iş imkânı sağlamaktadır.

1.2. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı ve yakın yöresinde, yapılmış çok sayıda araştırma bulunmaktadır. İnceleme alanı ve yakın yörelerinde yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Ketin (1951), Aşkale, Bayburt ve Gümüşhane sahalarını içine alan bölgenin 1/100000 ölçekli jeolojik haritasını çıkarmış ve çalışmasında, Liyas yaşlı kayaçların volkano-tortul karakterli olduğunu, Paleozoyik yaşlı metamorfik temel üzerine transgresif olarak geldiğini, serinin içerdiği ammonitlerden dolayı Sinemuriyen-Toarciyen yaşlı ve kalınlığının 2000 m olduğunu belirtmiştir.

Erguvanlı (1952), Trabzon-Gümüşhane arasındaki Pontidlerin bir kesidi adlı araştırmasında Pontidlerde Senoniyen ve Lütesiye yaşında iki kompleksin varlığından söz etmektedir. Senoniyen kompleksi, filiş kalker ve marnlı kalkerleri içermektedir. Lütesiye kompleksi ise Porfirik yapıli andezitlerle aralarında mercekler halinde bulunan Lütesiye filişini içermektedir. Araştırmacıya göre Trabzon-Gümüşhane arasındaki Pontidler bünyesinde biri Senoniyen'den yeni diğeri ise eski olan iki tip granit bulundurmaktadır.

Gattinger (1962), Gümüşhane yöresinde yüzeylenen kayaçların stratigrafik dizilimini Permiyen yaşlı metamorfik seriler ve granitler, Liyas yaşlı kireçtaşları, üst Kretase yaşlı filişler ve Eosen yaşlı volkanik ve filiş serisi olarak sıralamıştır.

Çoğulu (1970), Gümüşhane-Rize bölgelerinde bulunan granitik kayaç topluluklarını jeolojik, petrolojik, jeokronometrik yönden inceleyerek Gümüşhane Plütunu'nun yaşını Üst Paleozoyik olarak tespit etmiş ve plütonu; granidiorit, kuvars monzonit ve granit olmak üzere üç fasiyese ayırmıştır.

Tokel (1972), Gümüşhane yöresinin stratigrafisini çıkarmıştır. Ayrıca bölgenin volkanik tarihçesini araştırarak, Üst Kretase ve Eosen volkanitlerini petrokimyasal yönden incelemiştir. Üst Kretase yaşlı filişler Kermutdere Formasyonu, Eosen yaşlı volkano-tortul birim ise Alibaba Formasyonu olarak ilk kez yazar tarafından tanımlanmıştır.

Yılmaz (1974), Gümüşhane Graniti'nin petrografik incelemesini yaparak birimi; Granidiorit, Çamlıca Adamelliti, Gümüşhane Adamelliti ve Porfirik Mikrogranit olmak üzere dört fasiyese ayırmıştır.

Baytekin ve Uslu (1974), Gümüşhane-Torul-Ayana-Kocadal yörelerinde yüzeylenen kayaçların stratigrafisini çıkartarak, en altta Paleozoyik yaşlı Granit, üzerine Paleozoyik yaşlı riolit, riolitik tüf ve breşlerden oluşan proklastikler, Jura yaşlı andezitik bazaltik birim ve bunların tüf breş ve aglomeraları, kırmızı kireçtaşları bunlarında üzerine tüffitik kumtaşı-tüfler ve kireçtaşlarının yer aldığını belirtmiştir.

Seymen (1975), Kermutdere Formasyonu'na Üst Kretase yaşını vererek üç ayrı formasyona ayırmıştır. Tabanda kumlu kireçtaşlarından oluşan Kındıralıkdere Formasyonu ve bunun üzerine gelen kırmızı kireçtaşlarından oluşan Elmalıdere Formasyonu ile en üstte volkano-tortul özellikte olan Tepeköy Formasyonu'ndan oluştuğunu bildirmiştir.

Zaralioğlu (1977), Gümüşhane-Torul-Zigana Geçidi-Kepli yaylası arasında kalan sahanın 1/10000 ölçekli jeoloji raporu adlı çalışmasında yöredeki kayaçların stratigrafisini çıkartarak, altta asitik kayaç ve piroklastları üstte ise bazik kayaç ve piroklastların bulunduğunu, ayrıca bu serilerin granit ve granidioritler tarafından kesildiğini belirtmiştir.

Eren (1983), "Gümüşhane – Kale arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi" adlı çalışmasında, Doğu Pontid Güney Zonunda yer alan Liyas yaşlı oluşuklar için ilk kez Zimonköy Formasyonu adını kullanmıştır. Gümüşhane Graniti'ni petrografik yönden inceleyerek beş ayrı fasiyese ayırmış ve kenar zonuna ait dasitlerin varlığını ilk kez ortaya koymuştur. Zimonköy Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen dolomite ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan Berdiga Formasyonunun Dogger-Malm yaşında olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, Berdiga Formasyonu ile Kermutdere Formasyonu arasında ve Kermutdere Formasyonu ile Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu arasında açısız uyumsuzluk olduğu tespit edilmiştir. Eosen'de bölgede şiddetli bir volkanik etkinliğin görüldüğünü belirtmektedir.

Çınar ve diğerleri (1983), Gümüşhane İli ve güneybatı yöresinin Jeolojisi ile maden zuhurlarına ilişkin raporlarında yöredeki kayaçların Üst Permo-karbonifer ile Eosen aralığında oluştuklarını belirtmişlerdir. Paleozoyik ile Jura arasında ve Üst Kretase ile Eosen yaşlı birimler arasında bir diskordansın varlığından söz ederek hemen tüm kayak birimlerinin Alpin Orojenezi'nin değişik fazlarının etkisinde kaldığını belirtmişlerdir.

Türk- Japon Heyeti (1985-1986) tarafından iki bölüm olarak hazırlanan raporda, yörenin 1/50000 ölçekli jeoloji haritaları hazırlanarak intrüzif kayaçların yaşları Rb-Sr

yöntemiyle tayin edilmiş ve yaşlı intrüzif kayaçları için 406 milyon yıl, genç intrüzif kayaçlar için ise 100 milyon yıl yaşlarında olduklarını bildirmişlerdir.

Kahraman ve diğerleri (1986), Gümüşhane ilinin cevherleşme olanaklarını araştırmışlar ve 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlamışlardır. Ayrıca yörede Paleozoyik'ten Eosen'e kadar değişik yaş ve litolojide kayaçların bulunduğunu, bu kayaçların başta intrüzifler olmak üzere volkanitler, tortullar, metamorfite ve damar kayaçları olduğunu belirtmişlerdir.

Özdoğan (1992), Karadağ (Torul-Gümüşhane) yöresindeki çalışmasında Gümüşhane Granitiyodi üzerine uyumsuzlukla gelen çökelleri Gülaçar Formasyonu olarak adlandırmış ve Liyas yaşlı olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı, Liyas yaşlı Gülaçar Formasyonu'nu birbiriyle yanal geçişli olduğunu belirtmiş, Cilaztepe Konglomera üyesi, Dörenedere kireçtaşı Üyesi ve Bülbüloğlu Tortul-Volkanik Üyesi olmak üzere üç farklı üyeye ayırmıştır. Yazar, Gülaçar Formasyonu'nu oluşturan volkanik kayaçların andezit-bazalt bileşiminde olup, alkali ve kalk-alkali nitelik taşıdıklarını ve adayı Volkanitlerinin ürünleri olduklarını belirtmiştir.

Yılmaz (1993), yaptığı çalışmada Erken Jura ve Dogger-Alt Kretase süreçleri için ayrı ayrı tortu birikim hızlarını saptayarak; Erken Jura (Lias)'daki 20-133 metre/milyonyıl arasında değişen birikim hızlarının bir riftleşme dönemine karşılık geldiğini, Dogger Alt Kretase sürecindeki tortu birikim hızlarının ise 8-11 metre/milyonyıl arasında değiştiğini ve karbonat platformu ortamını yansıttığını belirtmiştir.

Bektaş ve diğerleri (1995), Kuzeydoğu Türkiye'nin kuzeyden güneye doğru Mesozoyik-Senozoyik volkanitlerinin oluşturduğu kuzey zon, Hersinyen temele sahip ve daha çok tortul kayaçların geliştiği güney zon, ofiyolitik kayaçların yüzeylendiği eksen zon ve platform karbonatlardan oluşan Toros kuşağı olarak dört alt bölgeye ayrıldığını belirterek özellikle güney zondaki havza gelişimlerini irdilemişlerdir.

Yılmaz ve diğerleri (1996), Gümüşhane yöresinde yaptıkları çalışmada Erken Jura ve Orta Kretase yaşlı kayaçların rift hareketleriyle şekillendiğini belirterek bunları birinci ve ikinci riftleşme fazı olarak tanımlamış ve bu iki riftleşme fazının bir sakinlik dönemi ile ayrıldığını belirtmişlerdir.

Gedik ve diğerleri (1996), Doğu Pontidlerin Jeolojik Gelişimi adlı çalışmalarında, Permo-Karbonifer öncesi kabul edilen metamorfitelerin Doğu pontidlerin en yaşlı birimi olduğunu ve bu metamorfik birimin, geç Karbonifer öncesi yaşta olan Gümüşhane Graniti tarafından kesildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca hersinyen temel üzerine gelen Liyas yaşlı

Zimonköy Formasyonu yanal ve dikey fasiyes değişiklikleri göstermektedir. Kayaçların, ortalama doğrultuları yaklaşık K40B ve K25D olan çatlak sistemleri içerdiklerini çalışmalarında belirtilmişlerdir. Araştırmacılar, Doğu Pontidlerdeki Liyas havzalarının uzaklaşan bir transform fay sisteminin ürünü olduklarını belirtmişlerdir.

Arslan ve diğerleri (1997), ‘Doğu Pontid Volkanik Kayaçlarının Jeokimyası ve Petrojenezi’ adlı çalışmada, Doğu Pontidler’i Liyas,  st Kretase ve Eosen’de olmak üzere üç ana volkanik evreye ayırmışlardır. Her bir evreyi jeokimyasal ve petrolojik olarak ayrı ayrı incelemişler ve birbirleriyle karşılaşmalarını yapmışlardır. Liyas volkanizmasının ekstansiyonel rejim altında riftleşmeye bağlı olarak,  st Kretase volkanizmasının yitim sonucu, Eosen volkanizmasının ise yitim sonunda alt kabuk ve/veya üst mantodan kısmi ergime sonucu oluştuklarını belirtmişlerdir. Tüm bu jeokimyasal ve petrolojik verilerin Doğu Pontid volkanik kayaçlarının ada yayında oluştuklarına işaret ettiklerini vurgulamışlardır.

Yılmaz (1997), Gümüşhane ve yakın yöresinde gerçekleştirdiği çalışmada Mesozoyik havzaların dinamik kontrol etkenlerini ve çökelme koşullarını irdelemiştir. Yazar yörede Erken Jura ve Orta Kretase’de genişlemeli tektonik rejimin etkin olduğunu ve bunlara bağlı olarak türbiditik karakterli çökellerin biriktiğini; Dogger-Alt Kretase döneminin sakin tektonik koşullarda platform karbonatlarının birikim sürecine karşılık geldiğini belirtmiştir.

Gültekin (1998), Gümüşhane ve Bayburt yörelerindeki yapmış olduğu doktora çalışmasında mineralli su kaynaklarının tektonik hatlarla ilişkileri, fiziko-kimyasal özellikleri, izotopik özellikleri, iz element içerikleri, çözünmüş gaz içerikleri, radyoaktiflikleri ve içmeye uygunluklarını araştırmış ve bunların çoğunlukla içmeye uygun olmadıklarını belirlemiştir.

Yılmaz ve Korkmaz (1999), Gümüşhane ile Trabzon yöresindeki mesozoyik havzaların gelişimlerini irdeleyerek her iki yörede ve benzer fasiyeste kayaçların geliştiğini ve bu fasiyeslerin sığ eşiklerle birbirlerinden ayrıldığını belirtmiştir.

Kaygusuz (2000), Torul civarında yapmış olduğu doktora çalışmasında, Torul Granitoidi’nin petrografik ve jeokimyasal özellikleri ile birlikte Liyas,  st Kretase ve Eosen yaşlı volkanitlerin de ayrıntılı incelemesini yapmıştır. Bu çalışmada, granitoidlerin kalk-alkali, volkanitlerin ise toleyitik-kalk-alkali özellikte olduğunu belirtmiştir.

Tüdeş (2001), Gümüşhane Kenti ve Yakın Çevresinin Yerleşime Uygunluk Açısından Araştırılması tezinde Gümüşhane ve yakın çevresinin jeolojisini inceleyerek yerleşime uygunluk haritasını elde etmiştir.

Ersoy (2001), Kalecik Köyü (Torul-Gümüşhane) civarında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde bu yörede bulunan karstik yapıları incelenmiş ve kaynakların oluşumu, kökeni ve fiziko-kimyasal özelliklerini belirlenmiştir.

Saydam (2002), ‘Doğu Pontidler’de Geç Kretase Yaşlı Kırıntılı Çökellerin Sedimanter Petrografik ve Organik Jeokimyasal özellikleri’ adlı doktora çalışmasında; Trabzon (Dağbaşı, Hacımehmet), Gümüşhane (Mescitli, Yağlıdere, Musalla, Pirahmet, Balkaya, Kale, Kelkit, Telme, İnözü), Giresun-Alucra (Evliya Tepesi civarı, Çamlı yayla), Erzurum-Tortum (Çağlayan) yörelerinden ölçülü stratigrafik kesitler ölçerek söz konusu birimin kalınlığının 96 m - 750 m arasında değiştiğini belirtmiştir.

Kandemir (2004), Gümüşhane civarında yapmış olduğu doktora çalışmasında, Gümüşhane Granitoidi üzerinde uyumsuzluklarla yer alan üstten ise Berdiga Formasyonu tarafında uyumlu üstlenen birimleri Erken-Orta Jura olarak yaşlandırmış ve Şenköy Formasyonu olarak adlandırmıştır.

Sipahi (2005), Zigana Dağı (Torul-Gümüşhane) volkanitlerindeki hidrotermal ayrışmaların mineralojisi ve jeokimyasını ortaya koyduğu doktora çalışmasında; yöredeki volkanitlerin toleyitik-geçiş-kalkali özellikte ve volkanik yay ortamında geliştiğini belirtmiştir. Ayrıca, dasitleri jeokimyasal karakteristiklerine göre Dasit-I ve Dasit-II olarak tanımlamış ve inceleme sahasındaki alterasyon mineralojisinin jeokimyasal değişimlerini irdeleyerek magmatik kökenli hidrotermal sıvılarla meydana gelen alterasyonda illitlerin yaşını K-Ar yöntemine göre Kampaniyen-Daniyen (78.7 ± 2.3 My ve 75.3 ± 2.4 My) olarak ortaya koymuştur.

Güner ve diğerleri (2007), Gümüşhane ve çevresinin jeolojik ve tektonik evrimi, cevherleşmelerin oluşumunu araştırmış ve yörenin 1/25000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritasını yapmışlardır.

Aslan (2010), Gümüşhane’deki Eosen yaşlı birimlerin volkanitlerini mineralojik ve jeokimyasal açıdan inceleyerek volkanitlerin kristallenme yaşının U-Pb zirkon SHRIMP yöntemine göre 45.8 ± 1.2 My olduğunu belirtmiştir.

Akaryalı (2010), “Arzular (Gümüşhane KD-Türkiye) Altın Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensel İncelenmesi” adlı doktora tezi çalışmasında, Arzular Cevherleşme sahasında yaptığı alterasyon, sıvı kapanım, mineral kimyası ve

duraylı izotop çalışmalarına göre cevherleşmenin epitermal sistemde düşük sülfürlü damar tip cevherleşme olduğu sonucuna varmıştır.

Topuz ve diğerleri (2010), Gümüşhane Plütunu'nu incelemiş ve yüksek-K, kalk-alkali özellikte ve I-tipi granitoidik kayalardan oluştuğunu belirtmiştir. Ayrıca Gümüşhane plütununun biyotit ve hornblendlerde yapılan Ar-Ar yaş tayinine göre 320 ± 4 My ve zirkon yaş tayinine göre 324 ± 6 My yaşında olduğunu tespit etmişlerdir.

Akdoğan (2011), Gümüşhane ve Bayburt civarında yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, Erken-Orta Jura yaşlı kumtaşı ve şeyllere ait jeokimyasal verileri değerlendirmiştir. Kırıntılı kayalarda felsik bileşenlerin oranını temsil eden Th ve U gibi iz elementler ile mafik bileşenlerin oranını temsil eden Sc ve Cr gibi iz elementlerin geniş aralıklar sunduğunu belirtmiştir. Çalışmacı bu durumu, kayaların kaynak alanlarında felsik kayaların yanı sıra önemli oranlarda mafik kayalarında bulunması gerektiğine bağlamıştır. Kayalardan elde ettiği tüm kayaç jeokimyasının ada yayı, aktif kıtasal kenar ve pasif kıtasal kenar gibi farklı tektonik ortamları tanımladığını ve çökelme ortamının hem aktif volkanik yaydan hem de kıtasal kenardan malzeme alabilecek konumda olan yay gerisi havzalar olduklarını belirtmiştir.

Eyüboğlu ve diğerleri (2011), Gümüşhane civarında şoşonitik ve adakitik aktivitenin varlığından bahsederek adakitik magmatizmanın yaklaşık 56 My önce başladığını belirtmişlerdir.

Kaygusuz ve diğerleri (2012), Doğu Pontid Kuzey Zonu'nda ilk olarak Paleozoyik yaşlı granitlerin varlığını ortaya koymuşlardır. Bu Paleozoyik yaşlı kayalar, Tonya güneyi (Derinoba, Kayadibi, Şahmetlik ve Kızılağaç), Maçka güneyi (Soğuksu) ve Özdil yöresinde yüzeyleme verirler.

Alemdağ (2013), Gümüştaş (Gümüşhane) atık barajının temelini oluşturan andezit ve andezitik breş kaya kütlelerinin taşıma kapasitesi ve permeabilitesini çeşitli ampirik formüller ve sayısal analizler kullanarak değerlendirmiştir.

Sipahi ve Sadıklar (2014). Zigana dasitlerini jeokimyasal karakteristiklerine göre Dasit-I toleyitik-geçiş, Dasit-II ise geçiş-kalkalkali özellikte olduğunu ve dasitlerin zenginleşmiş bir kaynaktan aynı ana magmadan plajiyoklas±hornblend kontrollü fraksiyonel kristallenmeyle geliştiğini belirtmişlerdir.

Alemdağ ve diğerleri (2014), Mordut (Gümüşhane) civarında meydana gelen heyelanı incelemiş ve heyelana sebep olan nedenlerin kontrolsüz kazı ve patlatma ile mevcut kırıkların hareketlenmesi sonucu meydana geldiğini belirtmişlerdir.

1.3. Genel Jeoloji

Türkiye'nin orojenik gelişimi esas alınarak Ketin (1966) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin tektonik birlikleri, kuzeyden güneye doğru Pontidler (Karadeniz Bölgesi), Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları Kuşağı olarak dört ana tektonik birliğe ayrılmıştır. Bu tektonik birlikleri Ketin ve Canitez (1972) yeniden düzenleyerek, Karadeniz Bölgesi'ni "Doğu Pontidler" ve "Batı Pontidler" olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Geç Kretase yaşlı kayaçlar, kuzey ve güney bölgelerinde farklılıklar gösterdikleri için güney (iç) ve kuzey (dış) bölümlere ayrılmıştır (Akın, 1978; Gedikoğlu ve diğerleri, 1979; Özsayar ve diğerleri, 1981). Bektaş (1986), Doğu Karadeniz magmatik yayını farklı magmatik, tektonik ve sedimantolojik evrim aşamalarına göre, kuzeyden güneye doğru kuzey zon, güney zon ve eksen zonu olmak üzere üç alt zona ayırmıştır.

Karadeniz Bölgesi Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin orojenezinin etkisinde kalmış, dolayısıyla da dalma, bindirme, yay ve yay gerisi oluşumu gibi birçok olay sonucunda şekillenmiş (Şengör ve Yılmaz, 1981) ve birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Tokel (1977), Karadeniz magmatik arkının güneyindeki ofiyolitik kayaçları Paleotetisin kalıntıları olarak düşünmüş ve Karadeniz Bölgesi'nin kapanmış, kuzeye dalımlı bir yitim zonu yönünde geliştiğini belirtmiştir. Bektaş (1984) ise Karadeniz Bölgesi'nin güneye dalımlı bir yitim zonu olduğunu belirtmektedir.

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde temel kabul edilen Paleozoyik yaşlı kayaçlar, kristalen şistler ve granitlerden oluşmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Güney Zonu'nda büyük plütonik kütleler halinde Gümüşhane yöresinde ve Gümüşhane-Köse arasında (Zankl, 1961, 1962; Tokel, 1972; Coğulu, 1975; Açar, 1977; Gedikoğlu, 1978; Özdoğan, 1992) egemen olan bu kayaçlar, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Kuzey Zonu'ndaki önceki çalışmaya (Schultz-Wetsrum, 1961) göre küçük mostralalar halinde sadece Giresun güneyinde metamorfik kayaçlarla birlikte görülmektedir. Paleozoyik yaşlı granitlerin varlığı, Doğu Karadeniz Bölgesi Kuzey Zonu'nda ilk olarak Kaygusuz ve diğerleri (2012) tarafından ortaya konulmuş ve bu Paleozoyik yaşlı kayaçların Tonya güneyi (Derinoba, Kayadibi, Şahmetlik ve Kızılağaç), Maçka güneyi (Soğuksu) ve Özdil yöresinde yüzeyleme verdiği belirtilmiştir. Bu taban kayaçları, Erken-Orta Jura yaşlı volkano-tortul kayaçlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Görür ve diğerleri, 1983; Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz, 2002; Dokuz ve Tanyolu, 2006). Çok

geniş alanlarda yüzeyleme veren, kısa mesafelerde kalınlık ve fasiyes değişimleri gösteren birim değişik adlarla adlandırılmıştır (Karatepe Formasyonu, Seymen, 1975; Telme Yayla Formasyonu, Turan, 1978; Hacıören Formasyonu, Pelin, 1977; Hamurkesen Formasyonu, Açar, 1977; Balkaynak Formasyonu, Kesgin, 1983; Zimonköy Formasyonu, Eren, 1983; Şenköy Formasyonu, Yılmaz ve Kandemir, 2003). Orta Jura'da Paleotetis'in kapanmasıyla (Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz ve diğ., 1997; Dokuz ve diğ., 2010) Geç Jura'dan Erken Kretase sonuna kadar karbonatlar çökelir. Berdiga Formasyonu (Pelin, 1977) olarak adlandırılan bu birim yer yer masif ve tabaka kalınlığı güneye doğru azalmakta olup, üst seviyeleri çört yumruları ve bantları içeren kireçtaşı, dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Taslı, 1990; Yılmaz, 1997). Geç Kretase dönemi sarı renkli kumlu kireçtaşı, kırmızı renkli kireçtaşı ve türbiditler olmak üzere üç üyeye ayrılmaktadır (Tokel, 1972). Türbiditik istif genellikle ince-kalın tabakalı kumtaşları ile ince, orta tabakalı marn ardalanmasından oluşmaktadır (Saydam, 2002; Saydam Eker ve Korkmaz, 2011). Geç Kretase-Paleosen geçişi Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer yer gözlenmektedir. Şarman (1975), Tirebolu'nun güneydoğusunda Geç Kretase kireçtaşlarının devamı olarak Paleosen yaşlı birimleri tespit etmiştir. Hopa-Cankurtaran yöresinde volkano-tortul seri, Geç Kretase'den Eosen'e kesintisiz geçmektedir (Özsayar ve diğerleri, 1981). Kale (Gümüşhane) yöresinde Geç Kretase yaşlı filişle başlayan istif, uyumsuz olarak konglomera ve mikritik kireçtaşlarından oluşan Paleosen yaşlı Kale Formasyonu'na geçmekte ve Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu ile örtülmektedir (Aliyazıcıoğlu, 1999). Geç Paleosen-Erken Eosen döneminde sıkışma rejiminin ürünleri olan adakitik bileşimli magmatik kayalar oluşmaya başlamıştır (Topuz ve diğerleri, 2005, 2011; Karşı ve diğerleri, 2010; Eyüboğlu ve diğerleri, 2011). Kuvaterner yaşlı oluşuklar, traverten ve alüvyonlardan oluşmakta ve halen devam etmektedir.

1.3. Çalışmanın Amacı

Çalışma alanında şimdiye kadar içme suyu kaynağı ile yan kayaç arasındaki ilişkiyi irdeleyen herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Yapılan bu çalışmayla, Gümüşhane ili merkezindeki içme sularının fiziksel (Ph, iletkenlik, koku, tad, bulanıklık gibi) ve jeokimyasal (Fe, Cu, Zn, Cd, Cr, Al, Pb, Mn, Ca, Mg, Na K, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ gibi) özellikleri incelenmiş, bu bölgedeki kayaların jeokimyasal özellikleri ile içme sularının kimyasal özellikleri arasındaki ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal ve Yöntemler

Bu çalışma, Gümüşhane il merkezindeki içme suları kaynağı ile yan kayaç türü ve kimyası arasında ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla yürütülen çalışmalar arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere başlıca üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.1.1. Arazi Çalışmaları

İlk olarak arazi çalışmasında bölgenin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Petrografik çalışmalarda kullanmak üzere çalışma alanındaki kayaçlardan örnekler alınmıştır. Ayrıca içme suyu olarak kullanılan kaynaklardan belirlenen yerlerden fiziksel ve jeokimyasal analizler için su numuneleri alınmıştır. Bunun için farklı türde kayaçların bulunduğu alanların 32 farklı kısmından su numunesi alınmıştır.

2.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.1.2.1. İnce Kesitlerin Hazırlanması ve İncelenmesi

Arazi çalışmaları sırasında alınan kayaç örneklerinden mineralojik ve petrografik tayinlerin yapılabilmesi için Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, incekesit laboratuvarında ince kesitler hazırlanmıştır. Örneklerden 0.5x2x4 boyutlarında plakalar kesilip pürüzsüzleştirildikten sonra, 0.1x2.5x5 cm boyutundaki cam üzerine kanada balzamu ile yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapıştırılmış örnek, aşındırıcı tozlar kullanılarak 0.3 mm kalınlığa kadar inceltirilmiştir. Hazırlanan ince kesitler Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Mikroskobu Laboratuvarı'ndaki polarizan mikroskopta incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir.

2.1.2.2. Su Analizleri

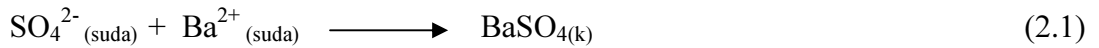
İçme suyu olarak kullanılan kaynakların (su deposu ve çeşme) belirlenen uygun kısımlarından 32 adet su örneği alındı. Örneklerin kimyasal analizleri (çeşitli anyon ve

katyon analizleri) Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Su örneklerinde mevcut anyonik ve katyonik türlerin analizleri çeşitli teknikler uygulanarak yapılmıştır. Anyonik türler olarak; sülfat (SO_4^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-) ve klorür (Cl^-), katyonik türler, yani metal olarak da; Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Na, K, Ca ve Mg analizleri gerçekleştirilmiştir.

Sülfat analizi TS 5095 (1987) Türbidimetrik yöntemine göre, karbonat analizi TS 3790 (1988) titrimetrik yöntemine göre ve klorür analizi de TS 4161 ISO 9297 (1998) titrimetrik yöntemine göre uygulanmıştır. Metal analizleri de MP-AES cihazında (Agilent Teknoloji 4100 model Mikrodalga Plazma – Atomik Emisyon Spektrometre) Emisyon Spektrometri yöntemine göre yapılmıştır (Balaram ve diğ., 2013; Vysetti ve diğ., 2014).

Sülfat tayininde; Lovibond Turbichack marka bir Türbidimetre cihazı kullanılmıştır. Cihazın tayin sınırı 0.05 ppm (mg/L)'dir. Türbidimetrik analiz, koloidal parçacıklar içeren bulanık bir çözeltinin ışığı saçma özelliğini temel alır. Çözeltinin bulanıklığı ile bu bulanıklığı oluşturan maddenin derişimi arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki kalibrasyon eğrilerinin hazırlanması ile belirlenir. Suda bulunan sülfat iyonu, suya Ba^{2+} iyonlarının eklenmesi ile asidik koşullarda aşağıdaki reaksiyon gereği BaSO_4 kristalleri oluşturur.



BaSO_4 koloidal bir çözelti oluşturur. Suda ne kadar çok SO_4^{2-} iyonu varsa, Ba^{2+} eklenmesinden sonra BaCl_2 şeklinde o kadar fazla bulanıklık oluşur. Kuvvetli asidik şartlarda bir numunede Ba^{2+} iyonları ile sadece SO_4^{2-} iyonları bulanıklık oluşturur. Böylece asidik ortamda diğer anyonların çökmesi engellenerek sadece SO_4^{2-} iyonlarının tayini mümkün olur. Bulanıklık NTU (Nephelometric Turbidity Units) olarak adlandırılan sayısal bir değer olarak ölçülür. Bu değer ne kadar büyük çıkarsa çözelti o kadar bulanıktır ve dolayısıyla sülfat yönünden o kadar derişiktir.

Bu çalışmada öncelikle 5.0–20.0 mg/L arasında 4 adet sülfat standardı hazırlandı (Na_2SO_4 tuzu kullanarak, 5.0; 10.0; 15.0 ve 20.0 mg/L). 15 mL hacimli cam tüplere her bir standarttan ayrı ayrı 1.0'er mL, üzerlerine 1.0 mL %10'luk HCl ve 1.0 mL %10'luk BaCl_2 çözeltisi ilave edildi. Son hacimler 10.0 mL'ye tamamlandıktan sonra tüpler yaklaşık 1 dakika çalkaladı ve NTU değerleri türbidimetre cihazında okundu. Standart

konsantrasyonlarına karşı NTU grafiği çizildi. Daha sonra standart yerine aynı işlemler tüm numuneler için uygulandı ve NTU değerleri cihazdan okundu. Elde edilen NTU değerleri, standart kalibrasyon grafiğinin doğrusal denkleminde yerine konarak numunelerin konsantrasyonları mg/L biriminde tayin edildi.

Bikarbonat (HCO_3^-) tayini, suyun alkalinite analizi ile tayin edilebilir. Alkalinite; suda bulunma ihtimali olan hidroksit (OH^-), karbonat (CO_3^{2-}) ve HCO_3^- iyonlarının asit bağlama gücü olarak tanımlanabilir. Toplam alkalinite de fenolftalein ve metiloranj indikatörlerinin varlığında H_2SO_4 ile yapılacak titrasyon neticesinde tayin edilebilir. OH^- ve CO_3^{2-} varlığında fenolftalein indikatörü dönüm noktasında pembe renk verir. Fenolftalein 8.2–8.3'den küçük pH'larda renksizdir. Metiloranj ise her üç alkaliniteden en az birinin varlığında sarı, pH 4.4'ün altında ise kırmızıdır. Bir su numunesinde 5 tür alkalinite olabilir: 1) Sadece OH^- , 2) OH^- ve CO_3^{2-} , 3) sadece CO_3^{2-} , 4) CO_3^{2-} ve HCO_3^- ve 5) Sadece HCO_3^- . Bir örnekte OH^- ve HCO_3^- birlikte bulunmaz.

Örnek üzerine fenolftalein indikatörü damlatıldığında örnekte hidroksit ve karbonat iyonları varsa, renk pembeye dönecektir. Eğer fenolftalein eklendiğinde renkte bir değişim olmazsa, örnekte sadece HCO_3^- alkalinitesi vardır. Bu çalışma kapsamında toplanan su numunelerinin pH değerleri 6.3–8.2 arasında olduğu tespit edilmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi, pH 8.3'ün altında fenolftalein suda renk vermez. Örneklerle fenolftalein damlattığımızda da hiçbir numunede renk değişimi gözlenmemiş olup örneklerde sadece HCO_3^- alkalinitesi olduğu sonucuna varılmıştır.

Bikarbonat tayini için 0.02 N 1.0 L H_2SO_4 çözeltisi, fenolftalein indikatörü (0.05 g fenolftalein'in %50lik 100 mL alkoldeki çözeltisi) ve metiloranj indikatörü (0.05 g metiloranj'ın 100 mL sudaki çözeltisi) reaktifleri kullanılmıştır.

Bikarbonat tayini için; her bir örnek için 100 mL alındı ve üzerine fenolftalein indikatörü eklendi. Herhangi bir renk değişimi gözlenmediğinden H_2SO_4 ile ilk etapta titrasyon yapılamadı. Daha sonra numunelere metiloranj ilave edildi ve renk sarıdan kırmızıya dönene kadar numuneler 0.02 N H_2SO_4 ile titre edildi. Titrasyon sonunda örneklerdeki HCO_3^- miktarları aşağıdaki formülden hesaplandı:

$$\text{HCO}_3^- \text{ miktarı (mg / L) } = \frac{S.N.E_k}{V} \times 1000 \quad (2.2)$$

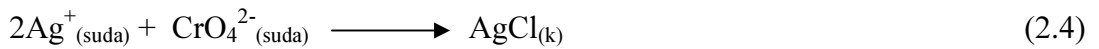
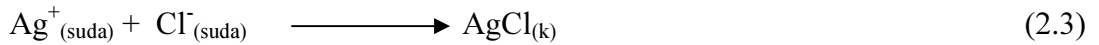
S : Titrasyonda harcanan H_2SO_4 hacmi (mL)

N : H_2SO_4 'ın normalitesi

E_k : HCO_3^- 'ın ekivalent gramı (61.0 g)

V : Numune hacmi (mL)

Suların içerdiği klorür, potasyum kromat'ın (K_2CrO_4) indikatör olarak kullanılması suretiyle gümüş nitrat ($AgNO_3$) çözeltisiyle titrasyonu neticesinde tayin edilebilir.



Çözeltideki klorür iyonları bittikten sonra gümüş iyonları kromat iyonlarıyla kırmızı renkli Ag_2CrO_4 çözeltisini oluşturur ve dönüm noktasına ulaşıldığı anlaşılır.

Klorür tayini için 0.01 $NAgNO_3$ çözeltisi (1.6988 g $AgNO_3$ saf su ile litreye tamamlanır ve standart $NaCl$ ile ayarlanır) ve %5'lik K_2CrO_4 çözeltisi (5.0 g K_2CrO_4 'ün saf suda 100 mL'lik çözeltisi) reaktifler gereklidir.

Klorür tayini için, 50 mL örnek alındı ve önce pH'sı Na_2CO_3 ile 6.8–7.2 arasına ayarlandı. Üzerine 1 mL K_2CrO_4 çözeltisi ilave edildi ve sürekli bir kırmızı renk oluşuncaya kadar ayarlı $AgNO_3$ ile titre edildi. Örneklerdeki klorür konsantrasyonları aşağıdaki formülden hesaplandı:

$$\text{Klorür miktarı (mg/L)} = \frac{S.N. \times 35.46}{V} \times 1000 \quad (2.5)$$

S : $AgNO_3$ sarfıyatı (mL)

N : $AgNO_3$ 'ün normalitesi

V : Numune hacmi (mL)

Su örneklerinin fiziksel özelliklerinden bulanıklık, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarı'nda ölçülmüştür. Bulanıklık ölçmede türbidimetri ve nefolometri tayin metodu olarak kullanılmakta olup bulanıklığın ölçü birimi mg/L SiO_2 NTU birimidir (Bilgin, 2003; Yılmaz, 2004).

Su örneklerinin fiziksel özelliklerinden pH ile iletkenlik ise Gümüşhane Halk Sağlığı Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir.

Metal Tayinleri için kullanılan MP–AES cihazı, ağır metal analizleri için literatürde çok fazla kullanılan ICP–AES (Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spektrometer) ve FAAS (Flame Atomic Absorption Spectrometer) cihazlarına oldukça kuvvetli bir alternatiftir. Çözeltide mevcut metal iyonları ICP–AES’de olduğu gibi 7000 °C civarında sıcaklıktaki plazma ortamına gönderilir ve atomic hale getirilen metal iyonlarının emisyon yapması sağlanır. Her metalin emisyon yaptığı dalga boyu birbirinden farklıdır ve böylece karışık haldeki metaller tek tek algınarak kantitatif tayin edilebilir. Metal atomlarından yayılan emisyonlar belli dalga boylarında detektörde tespit edilir. Dalga boyu farkından metalin türü ve emisyon şiddetinden de konsantrasyonu tayin edilebilir.

Cihazın en önemli avantajlarından biri; plazmanın yakılmasında ICP–AES’de kullanılan ve oldukça pahalı olan argon gazına ihtiyaç duymaması, onun yerine çok daha ekonomik olan azotun kullanılmasıdır. Üstelik cihaz, azotu havadan sıfır maliyetle elde edebilen azot jeneratörüne de sahiptir. MP–AES ayrıca ICP–AES gibi bağıl olarak çok düşük deteksiyon (algılama) limitlerine (LOD) sahiptir. Cihazın çalışma şartları ve performansı ile ilgili bilgiler Tablo 2.1’de özetlenmiştir. Cihazın belki de tek dezavantajı ise, ICP–AES’de olduğundan farklı olarak metalleri aynı anda (simultane) değil de ard arda (sequential) ölçmesidir. Bu da her metal için ayrı ayrı sürelerin ve çözelti hacminin harcanması demektir (Agilent Technology, 2011; Jankowski ve diğ., 2005).

Tablo 2.2. MP–AES Cihazının çalışma şartları ve sistemin analitiksel karakteristiği

Elementler	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Na	K	Ca	Mg
Dalga boyu, nm	396.152	228.802	340.512	425.433	324.754	371.993	403.076	352.454	405.781	213.857	588.995	766.491	393.366	285.213
Sisleştirici basıncı, kPa	240	140	240	240	240	120	240	240	240	140	240	240	120	240
Kararlılık ve numune alma süresi, s	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Peristaltik pompa hızı, rpm	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
LOD, µg/L	1.4	0.3	0.1	0.2	0.3	1.6	0.4	1.0	0.4	1.2	2.3	3.4	3.2	3.2
LOQ, µg/L	4.7	1.0	0.3	0.6	1.0	5.3	1.3	3.0	1.3	4.0	7.8	11.4	10.6	6.4
BSS, %	4.9	0.4	0.7	1.3	0.6	1.2	0.7	0.9	1.5	1.0	1.2	0.7	4.7	6.4

LOD: Gözlenebilme sınırı, LOQ: Tayin sınırı, BSS: Bağıl standart sapma

Bu çalışmada, her bir metalden 0–5.0 ppm (mg/L) aralığındaki konsantrasyonlarda bir seri standart çözelti hazırlandı. Önce bu çözeltilerin cihazda emisyon şiddeti değerleri ölçüldü. Cihaz tarafından her bir metalin emisyon şiddeti değerlerine karşı konsantrasyon grafikleri çizildi. Daha sonra tüm su numunelerinin emisyon şiddetleri cihazda ölçüldü. Grafiklerin denklemlerinden numunelerin metal içerikleri cihaz tarafından hesaplanarak belirlendi.

3. BULGULAR

3.1. Stratigrafi ve Petrografi

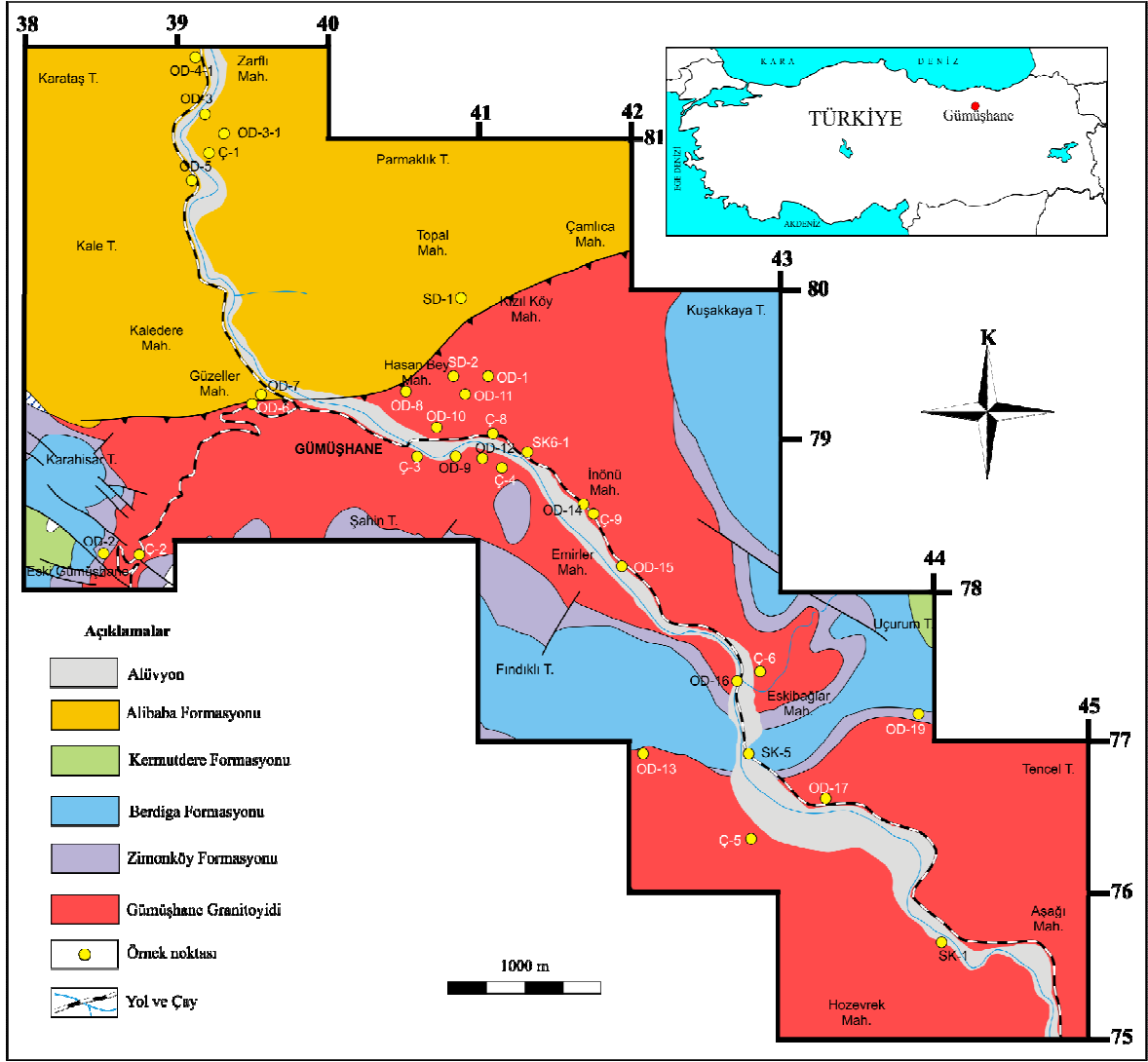
Gümüşhane ili, Doğu Pontid (Karadeniz) tektonik kuşağının güney zonunda yer almaktadır. Gümüşhane ili merkezini kapsayan çalışma alanında çoğunlukla granitoid, tortul ve volkanik karakterli kayalar izlenmektedir (Şekil 3.1 ve 3.2).

İnceleme alanının temelini Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoidi (Yılmaz, 1972) oluşturmaktadır. Bu granitoidik kayalar üzerine yer yer izlenen ince bir taban konglomerasıyla Jura (Liyas) yaşlı Zimonköy Formasyonu (Eren, 1983) olarak anılan volkano-tortul seri aşınma uyumsuzluğuyla gelmektedir. İnceleme alanında bu volkano-tortul seri çoğu kez çört yumru ve bantları içeren kireçtaşı tarafından üstlenmektedir. Zimonköy Formasyonu üzerine uyumlu olarak Malm-Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu (Pelin, 1977) gelmektedir. Berdiga Formasyonu, Kermutdere Formasyonu (Tokel, 1972) tarafından uyumsuz olarak üstlenmektedir. Bu formasyonun üzerine açılal uyumsuzlukla Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu (Tokel, 1972) gelmektedir.

Geçmiş Zaman	Devir	Devre	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	Açıklamalar
SENOZOYİK	TERSIYER KUV.	Eosen	Alibaba	~ 250		Alüvyon
						Andezit, bazalt ve Piroklastları (tuf ve kireçtaşı ara katkılı)
	KRETASE	Geç Kretase	Kermutdere	~ 350		Taban Konglomerası
						Volkano-tortul seri
MESOZOYİK	JURA	Dogger-Malm-Erken Kretase	Berdiga	~ 250		Dolomitik Kireçtaşı
	JURA	Liyas	Zimonköy	~ 400		Bazalt andezit ve piroklastları (tuf-mam ardalanmalı)
PALEOZOYİK	KARBONİFER	Gümüşhane Granitoidi				Taban Konglomerası
						Granitoid (granit, monzonit ve granitodiyorit)

Ölçeksizdir

Şekil 3.1. İnceleme alanındaki birimlerin stratigrafik dikme kesiti



Şekil 3.2. İnceleme alanının petrografi ve örnek alım haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek alınmıştır)

3.1.1. Gümüşhane Granitoyidi

Gümüşhane Granitoyidi, inceleme alanında, Gurbetyatağı Tepe, Harşit vadisi boyunca, İnönü, Emirler, Eskibağlar ve Bağlarbaşı mahallelerinde yüzeyleme verirmektedirler. Yüzeyleme alanı yaklaşık 20 km² dir. Ayrışmanın egemen olarak izlendiği alanlarda arenalaşmış kırıntılar şeklinde izlenir. Ayrışmanın etkin olduğu bölgeler sarımsı kahverengi bir renk sunarlar.

Gümüşhane Granitoyidi, petrografik olarak farklı bileşimdeki kayalardan oluşmaktadır. Bunlar monzonitten granodiyorite kadar değişen bir yelpaze içinde yer alır. Makroskobik olarak incelendiğinde granitler taneli dokuda ve iri kristalli kuvars ve ortoz

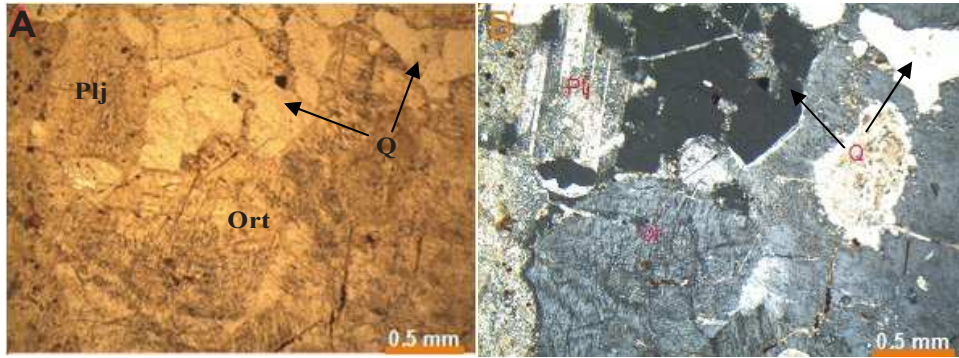
mineralleri içermektedir. Genellikle pembe renkli bir görünüm sunarlar ve taze yüzeylerinin bol çatlaklı olmasıyla tipiktirler.

Granodiyoritlerin mikroskobik incelemesinde; tüm kristalli yarı öz şekilli ince ve orta daneli doku görülür. Ana mineralleri plajiyoklas, kuvars, ortoklas, hornblend ve biyotit oluştururken tali mineraller apatit, zirkon, epidot ve opak minerallerden oluşur.

Plajiyoklaslar, öz ve yarı öz şekilli dikdörtgenimsi kristaller halinde bulunur (Şekil 3.3). İncelenen kesitlerde en bol bulunan açık renkli minerallerdir. Yapılan cins tayininde (010'a dik kesit) cinsinin andezin (An_{38}) olduğu saptanmıştır. İri plajiyoklas kristalleri, küçük hornblend ve opak mineral kalsitleşme ve killeşmedir. Ayrışma daha ziyade kristalin merkezi kısımlarında yaygın olarak görülür. Kuvars irili ufaklı öz şekilsiz kristaller halinde diğer minerallerin arasındaki boşlukları doldurmuştur (Şekil 3.3). Bazı kesitlerde dalgalı sönme görülür. Bazı kesitlerde de çatlaklı ve kırıklı yapıdadır. Ortoklas özşekilsiz kristaller halinde, kuvarsla birlikte diğer minerallerin arasını doldurur (Şekil 3.3). Mikropertitik yapı yaygındır ve karlsbad ikizi bazı minerallerde görülür. Bazı kesitlerde plajiyoklastlarla olan sınırlarda mirmekitler görülür. En yaygın ayrışma türü killeşmedir. Hornblend öz ve yarıözşekilli levhamsı kristaller halinde olup açık yeşil-koyu yeşil renklerde pleokroizma göstermektedir. (010) yüzeyine paralel kesitlerde maksimum sönme açıları 12-14°'dir. Bazı hornblendler ayrışarak, kalsit, klorit ve aktinolite dönüşmüşlerdir. Biyotit öz ve yarıözşekilli çubuğumsu prizmatik kristaller halindedir. (001) yüzeyine paralel dilinimi belirgindir ve bu dilinime göre paralel göstermektedir. Ayrışmamış minerallerde pleokroizma açık ve koyu kahverenginde görülmektedir. Bazı kesitler de kısmen ayrışarak klorite dönüşmüştür ve dilinimler boyunca epidot ve opak mineral yığışmaları gözlenmektedir. Genellikle biyotit ve hornblend minerallerin içinde küçük daneler halindedir. Epidot damar ve çatlak dolgusu olarak bulunmaktadır. Bazı epidot kristalleri, nisbeten iridir ve demetimsi veya ışınsal şekilde bulunmaktadır. Genellikle renksiz ile yeşilimsi sarı renkte olup, kırma indisi ve çift kırması çok yüksektir. İri kristalli örneklerde maksimum sönme açıları 26-28° arasında değişmektedir. Opak mineraller öz ve yarı özşekilli hem iri hem küçük kristaller halinde bulunmaktadır.

Gümüşhane Granitoyidi'nin yaşına yönelik ilk çalışma, Çoğulu (1975) tarafından ve daha sonra çok sayıda araştırmacı (Baykal, 1952; Gattinger, 1962; Yılmaz, 1972; Tokel, 1972; Eren, 1983; Hacıaloğlu, 1983; Robinson ve diğerleri, 1995; Yılmaz, 1992; Bektaş ve diğerleri, 1995; Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz ve diğerleri, 1997; Topuz ve diğerleri, 2010) tarafından çalışma yapılmıştır. Çoğulu (1975), Gümüşhane Granitoyidi'nde U-Pb

yöntemi ile yaptığı jeokronolojik çalışmalarla birim yaşını 298-338 My olarak belirlemiştir. Topuz ve diğerleri (2010) ise Gümüşhane Granitoidi'nde biyotit ve hornblendlerde yaptıkları Ar-Ar yaş tayinine göre 320 ± 4 My ve zirkon yaş tayinine göre 324 ± 6 My yaşında olduğunu tespit etmişlerdir. Bu birim, Liyas yaşlı Zimonköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üstlenmiştir. Gerek inceleme alanındaki veriler, gerek eski çalışmalardan elde edilen radyometrik yaş tayinleri ışığında birimin Geç Karbonifer yaşlı olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3.3. Gümüşhane Granitoidi'ndeki siyenogranite ait örneğin mikroskoptaki görünümleri. A) Tek nikol ve B) Çift nikol (Or: Ortoklas, Q: Kuvars, Plj: Plajiyoklas)

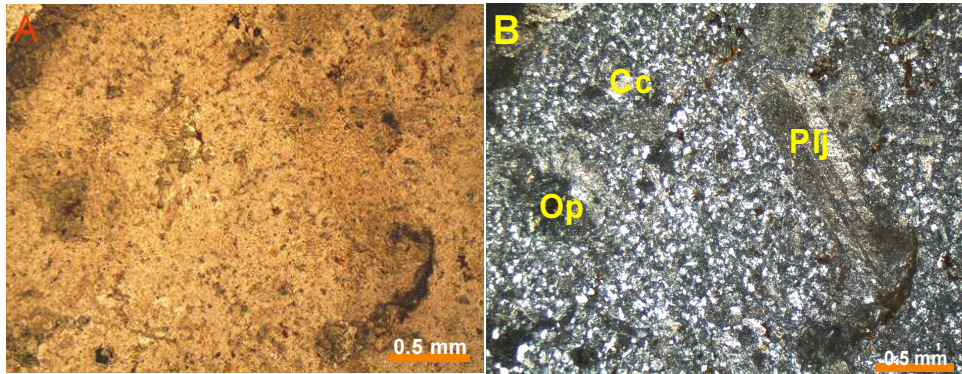
3.1.2 Zimonköy Formasyonu

Birim ilk kez, Gümüşhane doğusundaki Zimonköy yöresinde, litostratigrafi kurallarına uygun olarak Eren (1983) tarafından, Zimonköy Formasyonu adıyla tanımlanmıştır. Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane Graniti'nin üzerine aşınma uyumsuzluğu ile gelen bu formasyon, şehrin güneyinde Eskişehir Mahallesi (eski Gümüşhane), Maden Tepe ve Fındıklı Tepe Yamaçları, kuzeydoğusunda ise Kuşakkaya, Mandıra sırtı, Uçurum Tepe ve Gurbetyatağı Tepe'nin Harşit Çayı'na bakan yamaçlarında, genellikle dar şeritler halinde yüzeylenir.

Andezit-bazalt ve piroklastları, kırmızı kireçtaşları, yer yer kömür arabantları içeren ve kumtaşı-kireçtaşı-marn-kiltaşı seviyelerinden oluşan Zimonköy Formasyonu genellikle alacalı mor, gri-yeşil ve gri-siyah görünümlü ve yumuşak bir topoğrafya sunar. Formasyon, yer yer izlenen konglomeralarıyla başlar ve yanal olarak sık sık fasiyes değişimleri sunan ince-orta tabakalı dağılğan, alacalı marnlar, orta-kalın tabakalı, iyi boylanmış sıkı çimentolu türbiditik karakterli kumtaşları, bazalt, andezit ve bunlarla arakatıklı tuf, tüffit ve

piroklastikler ile orta tabakalı kumlu kireçtaşı ve arazide belirgin röliyef oluşturan çörtlerden (Saydam Eker ve diğerleri, 2012) oluşur. Birimin Berdiga Formasyonu ile olan geçişi kırmızı renkli silttaşları ile belirgindir.

Zimonköy Formasyonu'na ait volkanik birimde mikroskop tayini sonucu andezit tespit edilmiştir (Şekil 3.4). Andezitlerin mikroskopik incelemesinde mikrolitik porfirik doku gözlenmektedir (Şekil 3.4). Plajiyoklaslar iri levhamsı prizmatik kristaller, hamurda da küçük kristaller halinde bulunur. Yapılan cins tayininde (010'a dik kesit) cinsinin andezin (An_{36}) olduğu saptanmıştır. İri plajiyoklas kristalleri öz ve yarı özşekilli olup polisentetik ikizlenme gösterirler (Şekil 3.4). En yaygın bozuşma türleri, kalsitleşme ve serizitleşmedir. Biyotit genelde küçük prizmatik kristaller halinde bulunur. (001) yüzeyine paralel dilinim belirgin ve bu dilinime göre paralel sönme göstermektedir. Bazıları kenarından itibaren kloritleşmişlerdir. Opak mineraller bazı kesitlerde çok boldur. Genellikle köşeli ve düzensiz şekillidir. Hamur plajiyoklas, biyotit ve opak minerallerin oluşmaktadır.



Şekil 3.4. Zimonköy Formasyonu'ndaki andezitin mikroskoptaki görünümü. A) Tek nikol ve B) Çift nikol. (Plj: Plajiyoklas, Op: Opak mineraller, Cc: Kalsit)

Zimonköy Formasyonu'nun alt sınırının izlendiği alanlarda Gümüşhane Granitoyidi'ni uyumsuz olarak üstler. Birim Berdiga Formasyonu'na ait karbonatlı kayalar (dolomit, dolomitik kireçtaşı, kireçtaşı) tarafından uyumlu olarak üstlenir. Birimi oluşturan kayalarda yapılan incelemelerde, birime yaş verebilecek fosil verisi elde edilememiştir. Daha önceki çalışmalarda araştırmacılar (Eren, 1983) Zimonköy Formasyonu'nda saptanan makro ve mikro fosillere dayanarak bu birimlere Liyas yaşı verilmiştir. Bu çalışmalarda Zimonköy Formasyonu'nun Liyas yaşlı olduğu kabul edilmiştir.

3.1.3. Berdiga Formasyonu

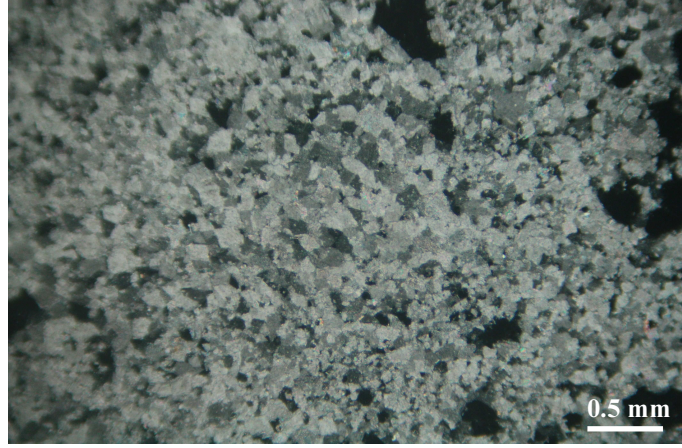
Birim ilk kez litostratigrafi kurallarına uygun olarak Pelin (1977) tarafından Alucra (Giresun) yöresinde Berdiga Dağı'na atfen Berdiga Formasyonu adı tanımlanmıştır. Birim Kuşakkaya Tepe, Gurbetyatağı Tepe, Uçurum Tepe, Fındıklı Tepe, Akçakale ve Eskişehir yörelerinde geniş yayılımlara sahiptir. Berdiga Formasyonu topoğrafik olarak inceleme alanındaki yüksek tepeleri ve dik kayalıkları oluşturmaktadır.

Birim tümüyle karbonatlı kayaçlardan oluşur (Şekil 3.5). Birim tabanda orta-kalın tabakalı, gri-bej renkli sert, bol çatlaklı, makro fosilsiz kireçtaşlarıyla başlar, üste doğru kalın yer yer masif tabakalı, pembe renkli dolomit ve dolomitik kireçtaşı ara seviyeleri içeren, gri bej renkli ve bol küçük bentik foraminifer içeren kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu seviyelerde karstik yapılar birime ayırtman bir özellik kazandırır. Birimin tabaka kalınlıkları farklılık göstermekte ve kalınlıkları 0.7-4 m arasında değişmektedir. Tabakaların doğrultuları KB-GD olup eğimleri KD'ya doğrudur. Eğim açıları 33 ile 64 derece arasında değişmektedir.



Şekil 3.5. Bağlarbaşı Mahallesi'nde Berdiga Kireçtaşı'nın görünümü

Berdiga Kireçtaşı'ndan alınan örneğin mikroskobik incelenmesi sonucu kristalize kireçtaşı (Dunham, 1962) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Berdiga Kireçtaşı'ndan alınan örneğin mikroskopta çift nikoldeki görünümü.

Birimin yaşı, Taslı (1990) tarafından yapılan çalışmada Berdiga Kireçtaşı'nın içerdiği mikrofosillere dayanarak Üst Jura-Alt Kretase olarak belirtilmiştir. Üst sınırı ise Kermutdere Formasyonu'na ait, sarı renkli, orta katmanlı kumtaşları tarafından uyumlu olarak üstlenir.

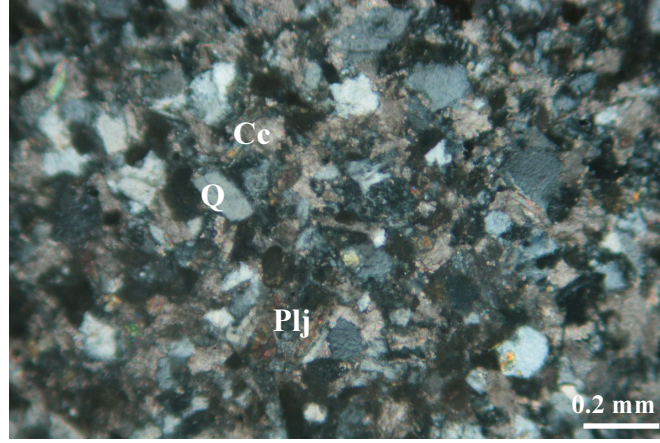
3.1.4. Kermutdere Formasyonu

İnceleme alanında çok küçük bir alanda gözlenen bu birim, Tokel (1972) tarafından Gümüşhane yöresinde en iyi gözlemlendiği yer olan Kermutdere Köyü'nden esinlenerek Kermutdere Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Berdiga Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir.

Kermutdere Formasyonu arazide ince orta tabakalanması ve sarımsı-gri rengiyle kolayca ayırt edilebilen bir görünüme sahiptir. Volcano-tortul özellikte olup genelde kumtaşı, kireçtaşı, kıltaşı ve marndan ibaret tortul kayalardan oluşmaktadır. Daha az olarak volkanik tüflerle ardalanmalıdır. Volcano-tortul serideki tabakalar KD-GB doğrultulu ve KD'ya eğimlidir.

Bu birimden alınan kumtaşı örneğinin mikroskobik incelenmesi sonucu kuvars, plajiyoklas, opak mineral ve kalsit çimento belirlenmiştir (Şekil 3.7).

Kermutdere Formasyonu'nun yaşı Eren (1983) tarafından yapılan incelemeler sonucu Geç Kretase olarak verilmiş ve tarafımızdan da benimsenmiştir.



Şekil 3.7. Kermutdere Formasyonu'ndan alınan kumtaşı örneğinin mikroskopta çift nikoldeki görünümü. Q: Kuvars, Plj: Plajiyoklas, Cc: Kalsit

3.1.5. Alibaba Formasyonu

Birim ilk kez Gümüşhane ve yakın yöresinde Tokel (1972) tarafından Alibaba Formasyonu olarak adlandırılmış ve tanıtılmıştır. Formasyon, çalışma alanında Güzeller, Kaledere ve Hasanbey Mahalleleri'nde yüzeylemektedir.

Alibaba formasyonu açısal bir uyumsuzlukla Kermutdere Formasyonu üzerine gelmektedir. Birim, yersel olarak izlenen ince bir taban konglomerası ve nummulitli kumlu kireçtaşlarıyla başlar ve volkano tortul istif özelliği taşır. Bunların üzerinde tabakalı tüfler volkanik breşlerle ardalanmalı olarak bulunmaktadır. Genellikle arazide üst seviyelerde andezit, bazalt ve piroklastları şeklinde gözlenmektedir. Birim grimsi siyah ve grimsi yeşil renkleriyle arazide belirgin bir görünüm arz etmektedir.

Gri ve siyahımsı gri renklerde gözlenen andezit ve bazaltlar makroskobik olarak incelendiğinde plajiyoklas ve ferromagnezyen mineraller tesbit edilebilmektedir. Taze olan andezitler çatlaklı bir görünüm arz etmektedirler. Topoğrafyada engebeli bir görüntü sunan bazaltik aglomeralar genellikle üst üst dizilmiş yastıklar şeklinde ve siyahımsı gri renklidir. Tane şekilleri yuvarlağımsı veya ovaldir. Aglomera elemanlarında yoğun eksofilasyon yapıları izlenir.

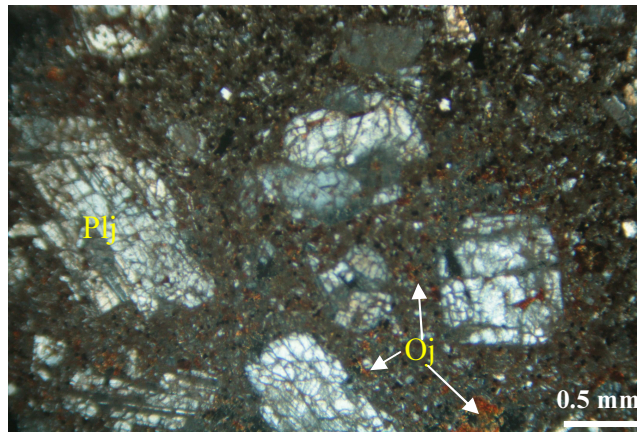
Alibaba Formasyonu'na ait andezit ve bazaltın mikroskobik incelemeleri sonucu andezit camsı-porfirik ve glomeroporfirik doku göstermektedirler (Şekil 3.8). İri ve küçük kristaller halinde, öz ve yarı öz şekilli olarak plajiyoklas minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 3.8). Plajiyoklaslarda polisentetik ikizlenme görülmekte ve yapılan sönme açısı

tayinine göre, plajiyoklasların andezin (An_{34-42}) bileşiminde olduğu belirlenmiştir. Opak mineraller az miktarda küçük daneler halinde ve dağınık olarak bulunur. Hamur cam ve plajiyoklas minerallerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.8. Alibaba Formasyonu'ndaki andezitin mikroskopta çift nikoldeki görünümü. Plj: Plajiyoklas

Bazalt, mikrolitik porfirik dokuda olup, plajiyoklas ve ojit minerallerinden oluşmaktadır. Plajiyoklaslar, iri ve küçük kristaller halinde, öz ve yarı öz şekilli olarak görülmektedir (Şekil 3.9). Plajiyoklaslarda polisentetik ikizlenme ve yapılan sönme açısı (34°) tayinine göre, bileşimlerinin labrador (An_{56}) olduğu belirlenmiştir. Ojitler iri, öz ve yarı öz şekilli kristaller halinde olup, birbirine dik iki yönlü dilime sahiptirler. Çapraz nikolde turuncu, kırmızımsı kahverengi renkler sunan ojitlerin sönme açısı 42° olarak tespit edilmiştir. Bazı ojit kristalleri, zonlu yapı göstermelerinin yanı sıra plajiyoklas ve opak mineral inklüzyonları içermektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Alibaba Formasyonu'ndaki bazaltın mikroskopta çift nikoldeki görünümü. Plj: Plajiyoklas, Oj: Ojit

Alibaba Formasyonu'nu oluşturan birimlerin yaşı, Tokel (1972), Eren (1983) tarafından Eosen olarak belirlenmiştir. Ayrıca Aslan (2010) tarafından andezitik tüflerde yapılan çalışmada U-Pb zirkon SHRIMP yöntemiyle bu birimin yaşı 45.8 ± 1.2 My bulunmuş ve bu çalışmada aynı yaş kabul edilmiştir.

3.1.5. Alüvyonlar

Bu birim şehri ikiye bölen ve bölgenin en önemli akarsuyu olan Harşit Çayı vadi yatağı boyunca ve onu besleyen yan derelerin Harşit Çayı'na döküldüğü yerlerde yüzeylenmektedir. Alüvyon çevre kayaların blok boyutundan kil boyutuna kadar değişen farklı boyuttaki malzemeleri içermektedir. Elemanlar genellikle yuvarlak ve az yuvarlak şekilli olmakla birlikte yer yer köşeli elemanlar da gözlenmektedir.

3.2. Jeokimya

Çalışma alanından alınan su örneklerinin alındığı yerler, koordinatları ve kayaç türleri Tablo 3.1'de verilmiştir. İçme sularının özellikleri fiziksel, biyolojik ve kimyasal olmak üzere üç grup altında toplanmakta olup, çalışma alanındaki su örneklerinin fiziksel ve jeokimyasal özellikleri incelenmiştir.

3.2.1. Suların Fiziksel Özellikleri

Suyun fiziksel özelliklerinden sıcaklığı, bulanıklığı, rengi, tadı, kokusu, iletkenliği ve pH'sı önemlidir. Çalışma alanından su örneklerinin fiziksel özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Alınan su örnekleri soğuk, berrak, renksiz ve kokusuzdur. İnsanların çoğu 15 renk birimi üzerindeki rengin farkına varırlar. Aşırı renk klorlamayla, ozonlamayla veya diğer oksidanlarla azaltılabilir. İçme sularında kabul edilebilir sınır değer 5 renk birimidir (TS 266, 2005). İncelenen sularda renk ölçümü yapılmamıştır. Ancak hiçbirinde görme duyusu ile fark edilebilecek kadar renklilik gözlenmemiştir.

Sulardaki bulanıklık; ışık geçirgenliği, dağıtma ve absorblama özelliği olarak belirtilmektedir. Bulanıklık, suyun içinde askı halinde bulunan maddelerden kil, silt, organik madde, mikroorganizma, çökelmiş haldeki CaCO_3 , Al(OH)_3 , Fe(OH)_3 veya benzer maddeler, gözle görülecek büyük tortular gibi nedenlerden ileri gelmektedir. Bulanıklık, su kalitesi açısından olumsuz bir etkidir. Ham suyun bulanıklığı 1 NTU'dan az ve 1000

NTU'dan fazla olabilir. Suların bulanıklığının tüm kullanım alanlarında düşük olması, içme sularında ise 5 NTU'dan az olması istenmektedir (TS 266, 2005). Çalışılan su örneklerinin bulanıklık değerleri 1-346 NTU değerleri arasında değişmektedir (Tablo 3.2). TSE standardı (TS-266, 2005)'na göre OD-2, Ç-9 ve OD-8 nolu su örneklerinde bulanıklık değerleri uygun sınırlar içinde iken, diğer su örneklerinde uygun sınırları aşmaktadır.

Tablo 3.1. Çalışma alanından alınan su örneklerinin alındığı yerler ve kayaç türleri

Örnek No	Alındığı yer	Koordinat	Kayaç Türü
SD-1	Karaer Mah. yukarı su depo	540850-4479910	Granitoyid
SK5	Alemdar'a ayrılan sarı köprü su kuyusu	542729-4476898	Alüvyon
OD-2	Süleymaniye Mah. imam evi	538567-4478196	Granitoyid
OD-1	Çamlıca Mah. su deposu	541050-4479414	Granitoyid
SK6-1	Gümüşhane Anadolu Lisesi loj.	541339-4478916	Alüvyon
OD-15	Yeni Mah. müftülük binası	541955-4478123	Alüvyon
OD-13	İnönü Mah. eğitim araçları binası	542086-4477923	Granitoyid
OD-19	Bağlarbaşı Mah. su deposu	543964-4476215	Granitoyid
Ç-2	Süleymaniye Mah. çeşme	538751-4478184	Granitoyid
SD-2	Karaer Mah su deposu	540832-4479418	Granitoyid
OD-7	Gümüşhane Devlet Hastanesi	539615-4479309	Alüvyon
OD-5	Özcan Mah. mezbahane	539069-4480703	Andezit-bazalt
OD-3	Hacı Emin Mah. Bahri Aydın evi	539169-4481145	Andezit-bazalt
SK-1	Sema Doğan Parkı su kuyusu	544023-4475675	Granitoyid
Ç-9	İnönü Mah. Mordut çeşme	541753-4478463	Alüvyon
OD-14	İnönü Mah. Mordut çay oca.	541752-4478476	Granitoyid
OD-17	Bağlarbaşı Mah. Toki	543264-4476584	Granitoyid
Ç-4	Karşıyaka Özdenoğlu çeşme	541123-4478809	Alüvyon
OD-16	Köprülüler Petrol	542737-4477370	Granitoyid
OD-6	Güzeller Mah.kız yetiştirme yurdu	539610-4479300	Alüvyon
Ç-6	Eski Bağlar çeşme	542761-4477427	Granitoyid
OD-12	Karşıyaka Mah. cami altı çay oca.	541017-4478869	Alüvyon
OD-8	Hasanbey Mah. Bilali Habeşi Cami loj.	540527-4479308	Andezit-bazalt
Ç-8	Karaer Mah. Atatürk Parkı çeşmesi	541108-4479002	Granitoyid
OD-4-1	Canca Mah. Şadırvanı	539090-4481600	Andezit-bazalt
OD-3-1	Hacı Emin Mah. durağı yanı çeşme	539330-4481036	Andezit-bazalt
Ç-1	Özcan Mah. çeşme	539196-4479874	Andezit-bazalt
OD-9	Gümüşhane erkek talebe yurdu	540873-4478891	Alüvyon
Ç-5	Bağlarbaşı Mah. Hacı Kasım çeşme	542861-4476332	Granitoyid
Ç-3	Karşıyaka Çilenkler çeşme	540601-4478893	Granitoyid
OD-11	Karaer Mah. Sağlık Müdürlüğü	540871-4479271	Granitoyid
OD-10	Karaer Mah. Zafer çay oca.	540725-4479057	Alüvyon

Tablo 3.2. Çalışma alanından alınan su örneklerinin fiziksel özellikleri

Örn. No.	Sıcaklık (°C)	Görünüm (Bulanıklık)*	Renk	Koku	Tad	pH	İletkenlik (µS)	Kayaç Türü
SD-1	<15	346	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.5	550	Granitoyid
SK5	<15	28.5	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.4	628	Alüvyon
OD-2	<15	2.82	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.5	-	Granitoyid
OD-1	<15	21	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.6	260	Granitoyid
SK6-1	<15	26	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.5	500	Alüvyon
OD-15	<15	33.7	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.5	600	Alüvyon
OD-13	<15	27.9	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.6	550	Granitoyid
OD-19	<15	28.5	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.4	900	Granitoyid
Ç-2	<15	93.5	Renksiz	Kokusuz	Normal	8.2	-	Granitoyid
SD-2	<15	29.5	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.5	680	Granitoyid
OD-7	<15	30.3	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.4	587	Alüvyon
OD-5	<15	24.8	Renksiz	Kokusuz	Normal	6.8	350	Andezit-bazalt
OD-3	<15	29.3	Renksiz	Kokusuz	Normal	-	-	Andezit-bazalt
SK-1	<15	29.5	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.0	550	Granitoyid
Ç-9	<15	2	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.7	560	Alüvyon
OD-14	<15	26.5	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.5	700	Granitoyid
OD-17	<15	27.8	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.3	730	Granitoyid
Ç-4	<15	23.5	Renksiz	Kokusuz	Normal	8.2	240	Alüvyon
OD-16	<15	14	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.7	640	Granitoyid
OD-6	<15	23.5	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.5	550	Alüvyon
Ç-6	<15	24	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.4	500	Granitoyid
OD-12	<15	24.5	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.5	660	Alüvyon
OD-8	<15	1.45	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.5	630	Andezit-bazalt
Ç-8	<15	31	Renksiz	Kokusuz	Normal	6.3	560	Granitoyid
OD-4-1	<15	27	Renksiz	Kokusuz	Normal	8.0	550	Andezit-bazalt
OD-3-1	<15	8.5	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.6	-	Andezit-bazalt
Ç-1	<15	14.5	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.7	430	Andezit-bazalt
OD-9	<15	25.8	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.0	260	Alüvyon
Ç-5	<15	30.3	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.6	700	Granitoyid
Ç-3	<15	24	Renksiz	Kokusuz	Normal	8.0	600	Granitoyid
OD-11	<15	24.8	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.5	268	Granitoyid
OD-10	<15	21	Renksiz	Kokusuz	Normal	7.5	550	Alüvyon

*NTU

Suların içinde çözülmüş halde bulunan maddeler (NaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 vb.) ve organizmalar suda belli bir miktardan fazla bulunursa suya farklı koku ve tat vermektedirler. Bu tat ve kokular acı, ekşi ve tuzlu tadında; balıksı, küfümsü, baharatsı ve otsu vs. kokularda olmak üzere oldukça değişiktir. Demir, mangan, çinko, bakır, sodyum, potasyum gibi çözülmüş anorganik tuzlar suya tat verirler. Genellikle suya koku veren

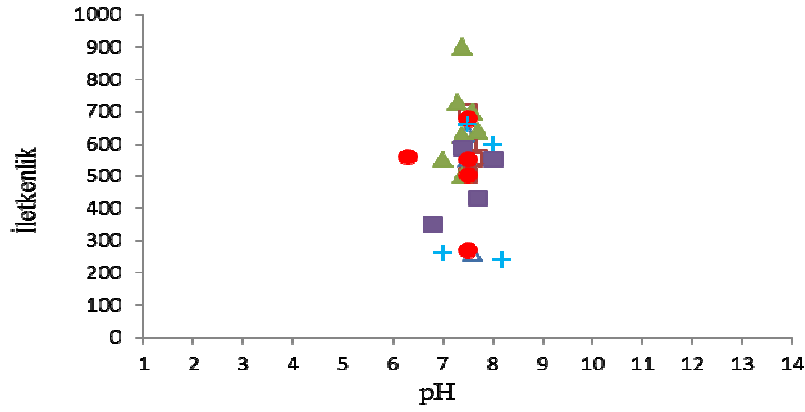
maddeler organik kaynaklı olup H₂S gibi bazı anorganik bileşikler de koku verebilmektedir. Özellikle içme sularında, suların sağlıklı olmasının yanında suyu cazip hale getirebilecek fiziksel koşulların olması da istenmektedir. İçme ve kullanma sularının renksiz, kokusuz ve tatsız olması kullanılma şanslarını arttırmaktadır. Çalışma alanından alınan suların tadı kontrol edilmiş ve tatsız oldukları öngörülmüştür.

Suların pH'sı 6.3 – 8.2 arasında değişmektedir. İçme ve kullanma suları Türkiye İçme Suyu Standartı (TS 266; TSE, 2005) pH 6.5 – 9.5 ve Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO, 2014) İçme Suyu Standartı pH 6.5 – 9.2 sınırları içinde olmalıdır. Çalışma alanındaki suların pH'sı, Ç-8 nolu örnek (pH=6.3) hariç, içme ve kullanma suları için verilen sınırlar içindedir (Tablo 3.2). Çalışma alanındaki suların iletkenliği ise 240-900 µS arasında değişmektedir. Türkiye İçme Suyu Standardı (TS 266; TSE, 2005) ve Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu Standardı verilerine göre suların iletkenliği < 2500 µS olmalıdır. İnceleme alanından alınan su örneklerinin iletkenliği (240-900 µS) Türkiye ve WHO içme suyu standartlarına uygundur. Suların iletkenliğine göre yapılan TSE standartı sınıflandırmasında (TS-266, 2005) bir örnek (Ç-9; 240) çok iyi, bir örnek (OD-19; 900) kullanılabilir ve diğerleri (260-730) iyi su olarak sınıflandırılmaktadır (Tablo 3.3). Çalışma alanından alınan su örnekleri iletkenlik değerlerine göre %3 çok iyi ve %94 iyi su olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3.3. Suların iletkenliğine göre sınıflandırılması (Erguvanlı ve Yüzer, 1987)

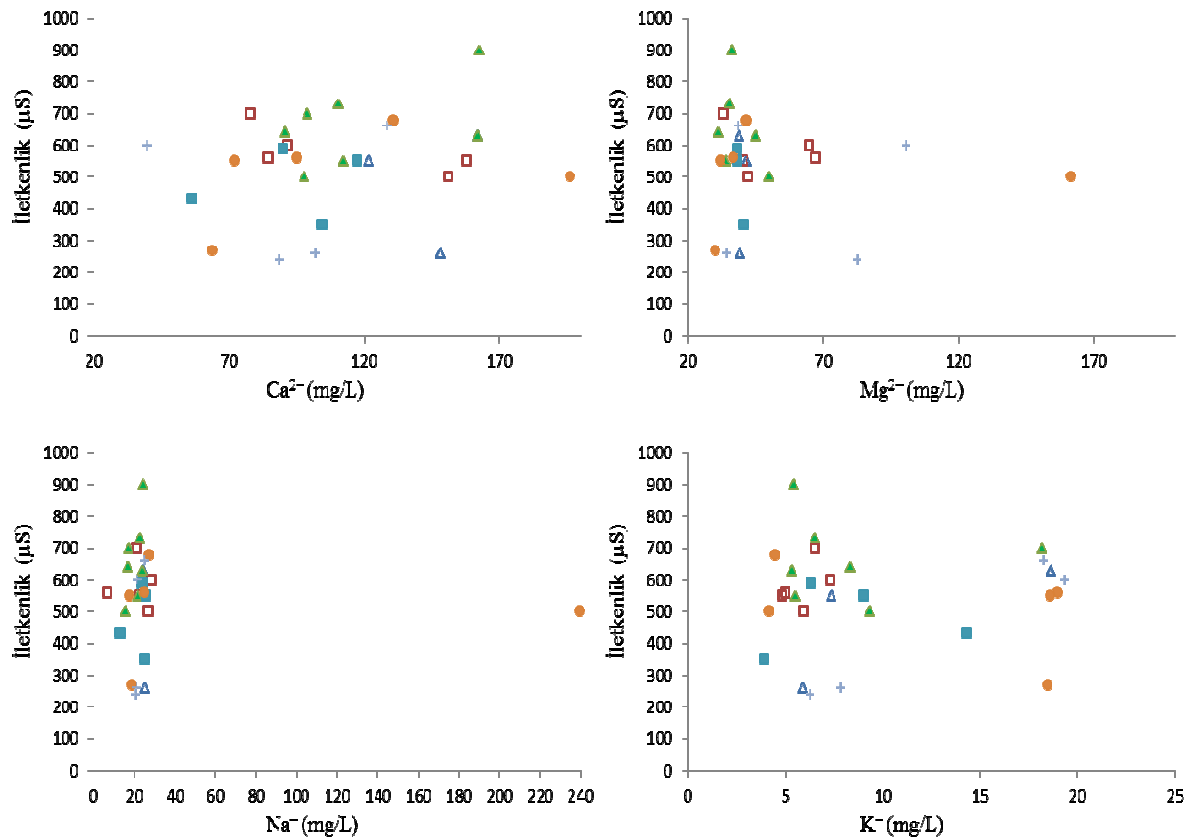
İletkenlik	Sınıf	Çalışma alanındaki Su örneklerinin iletkenliği
250 den az	Çok iyi	240 (1 örnek)
250-750	İyi	260-730 (30 örnek)
750-2000	Kullanılabilir	900 (1 örnek)
2000-3000	Şüpheli	-
3000 den fazla	Kullanılamaz	-

Çalışma alanındaki su örneklerinin pH'sı ile iletkenlikleri arasındaki ilişki irdelenmiş ve aralarında herhangi bir bağlantı kurulamamıştır (Şekil 3.10). Su örneklerinin iletkenliği artmasına karşılık pH'sı belli bir aralıkta ve sabit kaldığı görülmüştür. İletkenliğe suda çözülmüş iyonlar yol açar. Fe, Cu, Mn, Zn gibi metaller pH'yı düşürme eğilimi gösterirler. Dolayısıyla pH'da bir sabitlik söz konusu olur. Yani iyon miktarı artsa da pH pek değişmeyebilir. Başta Ca ve Mg'un HCO₃⁻ tuzları pH'yı belirler.



Şekil 3.10. Çalışma alanındaki su örneklerinin pH'ı ile iletkenliği arasındaki değişim. Simgeler Tablo 3.4'teki gibidir.

Çalışma alanındaki su örneklerinin iletkenliği ile katyon ve anyonlar arasındaki ilişki incelenmiştir (Tablo 3.4; Şekil 3.11). Buna göre suların iletkenliği ile Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ve K^+ arasında ilişki genelde dağınık olmakla beraber pozitif yönde bir ilişki görülmektedir.



Şekil 3.11. Çalışma alanından alınan su örneklerinin iletkenliği ile katyonlar (mg/L) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramlar. Simgeler Tablo 3.4'teki gibidir

3.2.2. Suların Kimyasal Özellikleri

Çalışma alanından alınan sular bazı önemli majör katyon-anyon ve iz elementler açısından analiz edilmiş ve jeokimyasal (Fe, Cu, Co, Ni, Mn, Zn, Cd, Al, Pb ve Cr) özellikleri araştırılmıştır (Tablo 3.4). Su örneklerinin metal element analiz sonuçları Türkiye (TS-266, 2005) ve WHO (2014) içme suyu standartları (kabul edilebilir maksimum değerleri) ile karşılaştırılmış, SD-1 ve OD-3-1 örnekleri hariç, bazı su örneklerindeki Cd ve Pb değerleri hariç WHO (2014) içme suyu standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.4). SD-1 nolu örnek Karaer Mah. Yukarı Su Deposu'ndan alınmış ve granitoidlerin üzerinde bulunmaktadır. SD-1 nolu su örneğinin Fe, Mn, Pb, Ca, Mg, Na ve $(\text{SO}_4)^{2-}$ içerikleri TSE standartlarının üzerinde ancak Na^+ içeriği hariç, WHO (2014) standartları dahilindedir. OD-3-1 nolu su örneğinde ise Pb, Ca ve Mg içerikleri TSE (TS-266, 2005) standartlarının üzerinde olup, Ca hariç, WHO (2014) standartları içindedir. Su örneklerinde analiz edilen elementler Türkiye içme suyu standartları açısından ayrı ayrı incelendiğinde; Fe elementinin SD-1 nolu örnek ($\text{Fe}=243.2 \mu\text{g/L}$) hariç Türkiye içme suyu standartlarına uygun olduğu görülmektedir. Su örneklerinin bir kısmının Pb içerikleri TSE (TS-266, 2005) ve WHO (2014) standart değeri olan $<10 \mu\text{g/L}$ 'nin üzerinde olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.4). Su örneklerinin Cd içerikleri 10 örnek (Ç-6, OD-12, OD-8, Ç-8, OD-4-1, OD-3-1, Ç-1, OD-9, Ç-5, Ç-3, OD-11 ve OD-10) hariç Türkiye içme suyu standartlarına ($<5 \mu\text{g/L}$) uygun olduğu görülmektedir. Çalışma alanından alınan 10 örnekte ise Cd değerleri $5.2-8.0 \mu\text{g/L}$ arasında değişmekte ve hem TSE (TS-266, 2005; $\text{Cd}<5 \mu\text{g/L}$) hemde WHO (2014; $\text{Cd}<3 \mu\text{g/L}$) standartlarının üzerindedir. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Ca içeriği ($39.9-239.7 \text{ mg/L}$) dört örnek (Ç-1, Ç-3, OD-11 ve OD-10) hariç, TSE (TS-266, 2005) standart değerlerinin üzerinde olup, OD-3-1 nolu hariç, WHO (2014) standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Mg içeriği beş örnekte (SD-1, Ç-9, Ç-4, OD-3-1 ve Ç-3) TSE (TS-266, 2005) standartlarının üzerinde ($61.9-161.4 \text{ mg/L}$) olup, WHO (2014) standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Su örneklerindeki Na içeriğinin bir örnekte (SD-1) çok yüksek (239.4 mg/L), diğerlerinde ise TSE (TS-266, 2005) ve WHO (2014) standart değerlerine uygun olduğu tespit edilmiştir. Su örneklerindeki K içeriği ise dokuz örnekte TSE (TS-266, 2005) standartlarının üzerindedir.

Kıta içi su kaynaklarının sınıfları (Resmi Gazete, 2012)'na göre su örnekleri pH, Na, SO_4^{2-} , Fe, Mn, Al, Co, Ni, Cu ve Cr miktarlarına göre I. sınıf (yüksek kaliteli), Cl^- ve

iletkenlik miktarlarına göre I. ve II. sınıf (az kirlenmiş) sular; Pb miktarlarına göre SK-5, SD-1, OD-1 VE OD-19 nolu su örnekleri hariç I. ve II. sınıf sular; Zn miktarlarına göre ise OD-10, OD-11, Ç-3, Ç-5, OD-9, OD-3-1 VE SK6-1 nolu sular hariç I. ve II. sınıf sular; Cd miktarlarına göre Ç-6, OD-12, OD-8, Ç-8, OD-4-1, OD-3-1, Ç-1, OD-9, Ç-5, Ç-3, OD-11 ve OD-10 nolu su örnekleri hariç I. ve II. sınıf sular sınıfında yer almaktadırlar.

Ülkemizde suların sertliğinin belirtilmesinde yaygın olarak Fr (Fransız) sertlik derecesi kullanılmaktadır. Suyun kalıcı sertliği aşağıdaki verilen formül yardımıyla içme sularında analiz edilen Ca^{2+} (mg/L) ve Mg^{2+} (mg/L) içerikleri kullanılarak hesaplanmaktadır (Lenntech, 2014).

$$M_{\text{CaCO}_3}/M_{\text{Ca}}=100.1/40.1=2.5 \quad \text{ve} \quad M_{\text{CaCO}_3}/M_{\text{Mg}}=100.1/24.3=4.1 \quad (3.1)$$

$$[\text{CaCO}_3]=2.5 \times [\text{Ca}^{2+}] + 4.1 \times [\text{Mg}^{2+}] \quad (3.2)$$

$$\text{Fr}=[\text{CaCO}_3]/10 \quad (3.3)$$

Formülde, $[\text{CaCO}_3]$ ifadesi su kalıcı sertliğini belirtmektedir. Fr ise Fransız su sertliğidir.

Sulardaki sertlik belli bir dereceye kadar insan sağlığı açısından faydalıdır. Ancak sertlik değeri artarsa suyun tadında bozulma olmaktadır. Sert sular sabun ve temizlik maddelerinin kullanılmasını artırır, kazan ve su borularında taşlaşma yapabilir. Ayrıca sert sular boya, meşrubat ve tekstil gibi endüstri kollarında zararlı olmaktadır. Çalışma alanından alınan su örneklerinin sertlik derecelerine göre sınıflandırılması Tablo 3.5’de verilmiştir. Çalışma alanından alınan su örneklerinin sertliği incelendiğinde bir örnek hariç (Ç-1 nolu örnek, $\text{Fr}=18$) oldukça sert ($\text{Fr}=28.4\text{-}31.7$), sert ($\text{Fr}=33\text{-}53$) ve çok sert ($\text{Fr}=55.1\text{-}115.1$) su olarak sınıflandırılmaktadır (Tablo 3.5). Çalışma alanından alınan su örnekleri genel olarak sert ve çok sert su özelliğindedir. Su örneklerinin alındığı yerdeki yan kayaç türleri dikkate alındığında sertlikle kayaç türü arasında direk bir ilişki görülmemiştir. Ayrıca su örneklerinin sertliği ile pH ve metaller (Fe, Pb, Ni, Na ve K) arasında bir ilişki olup olmadığı incelendiğinde, pH ile herhangi bir ilişki belirlenmemiştir (Şekil 3.12). Metallerden ise sadece K^+ ile sertlik arasında ilişki belirlenmiştir. K^+ ile sertlik arasındaki ilişki incelendiğinde örneklerin iki gruba ayrıldığı belirlenmiştir (Şekil 3.13). K^+ içeriği (14.3 - 19.3 mg/L) yüksek olan su örneklerinin (Ç-2, OD-8, Ç-3, OD-12, Ç-8, Ç-5, OD-11, Ç-1) sertliği değişken olup, bu su örneklerinin hepsinin yan kayaç türü granitoyidik kayalardır. Dolayısıyla su örneklerinin K^+ içeriğinin yan kayaca bağlı olarak değişiklik gösterdiği anlaşılmaktadır. Sertlik ile Ca ve Mg arasındaki ilişki incelendiğinde ise sertlik Ca ve Mg iyonlarının bir sonucu olduğu için doğal olarak aralarında pozitif yönde ilişki görülmüştür (Şekil 3.14).

Tablo 3.4. Çalışma alanından alınan su örneklerinin önemli bazı element analiz sonuçları

Element Örn./Birim	Fe µg/L	Cu µg/L	Co µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Zn µg/L	Cd µg/L	Al µg/L	Pb µg/L	Cr µg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	(SO ₄) ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Fr* sertlik	İletkenlik µS	Grafikteki Simge
SD-1	243.2	22.3	<0.3	7.5	60.2	<4.0	<1.0	<4.7	43.9	<0.6	195.9	161.4	239.4	4.2	502	50.6	1963	115	550	●
SK-5	<5.3	15.8	<0.3	16.1	<1.3	<4.0	<1.0	<4.7	23.7	<0.6	161.8	45.0	24.0	5.4	12.9	14.4	261	59	628	▲
OD-2	<5.3	4.0	<0.3	9.7	<1.3	<4.0	<1.0	<4.7	<1.3	<0.6	80.8	35.8	5.9	2.1	3.0	7.2	109	35	-	■
OD-1	<5.3	8.5	<0.3	61.2	<1.3	<4.0	<1.0	<4.7	43.7	<0.6	147.9	39.1	25.4	5.9	17.6	7.2	218	53	260	△
SK6-1	<5.3	7.4	<0.3	11.2	<1.3	624.0	<1.0	<4.7	17.5	<0.6	151.1	42.2	26.9	5.9	16.0	72.2	218	55	500	□
OD-15	<5.3	<1.0	<0.3	12.3	<1.3	<4.0	<1.0	<4.7	19.1	<0.6	91.6	64.8	28.4	7.3	18.7	21.6	174	49	600	□
OD-13	<5.3	5.9	<0.3	11.7	6.0	48.0	<1.0	<4.7	18.3	<0.6	157.5	40.4	22.4	4.8	15.0	7.2	218	56	550	□
OD-19	<5.3	5.4	<0.3	15.4	6.9	<4.0	<1.0	<4.7	20.1	<0.6	162.6	36.3	24.3	5.4	22.5	28.9	196	56	900	▲
Ç-2	11.0	<1.0	<0.3	7.8	<1.3	36.0	<1.0	<4.7	14.6	<0.6	125.5	68.3	16.8	15.9	124.0	10.8	163	59	-	■
SD-2	<5.3	<1.0	<0.3	9.8	<1.3	<4.0	<1.0	<4.7	16.3	<0.6	130.6	41.5	27.3	4.5	21.3	14.0	218	50	680	●
OD-7	<5.3	<1.0	<0.3	8.4	<1.3	<4.0	<1.0	<4.7	14.3	<0.6	89.9	38.4	24.2	6.3	17.3	50.0	185	38	587	■
OD-5	<5.3	<1.0	<0.3	9.3	<1.3	<4.0	<1.0	<4.7	15.1	<0.6	104.2	40.7	25.0	3.9	25.5	18.0	229	43	350	■
OD-3	<5.3	<1.0	<0.3	7.8	<1.3	<4.0	<1.0	<4.7	<1.3	<0.6	122.2	41.6	28.0	8.2	27.2	14.0	207	48	-	×
SK-1	<5.3	<1.0	<0.3	12.4	<1.3	<4.0	<1.0	<4.7	15.4	<0.6	112.1	34.0	21.6	5.5	26.5	14.0	196	42	550	▲
Ç-9	<5.3	<1.0	<0.3	9.8	<1.3	12.0	<1.0	<4.7	13.7	<0.6	84.4	67.3	6.8	5.0	30.5	7.2	196	49	560	□
OD-14	5.7	<1.0	<0.3	7.7	<1.3	<4.0	<1.0	<4.7	<1.3	<0.6	77.8	33.1	21.2	6.5	26.2	25.0	229	33	700	□
OD-17	<5.3	<1.0	<0.3	9.1	<1.3	<4.0	<1.0	<4.7	<1.3	<0.6	110.2	35.1	22.8	6.5	25.1	21.6	207	42	730	▲
Ç-4	7.3	<1.0	<0.3	8.3	<1.3	<4.0	4.2	<4.7	<1.3	<0.6	88.7	82.7	20.7	6.3	21.2	21.6	250	56	240	+
OD-16	<5.3	<1.0	<0.3	8.5	<1.3	<4.0	4.7	<4.7	<1.3	<0.6	90.7	31.2	16.7	8.3	9.27	10.8	174	35	640	▲
OD-6	15.4	<1.0	<0.3	7.5	<1.3	<4.0	5.0	<4.7	<1.3	<0.6	121.3	41.5	23.9	7.4	25.2	18.0	229	47	550	△
Ç-6	<5.3	<1.0	<0.3	7.6	<1.3	<4.0	5.2	<4.7	<1.3	<0.6	97.7	50.0	15.7	9.3	32.6	10.8	218	45	500	▲
OD-12	9.9	<1.0	<0.3	8.4	<1.3	<4.0	5.9	13.3	15.1	<0.6	128.5	38.7	25.3	18.3	26.1	14.4	218	48	660	+
OD-8	23.2	6.5	<0.3	8.5	<1.3	216	6.1	13.2	<1.3	<0.6	162.0	39.0	24.4	18.6	23.8	18.0	218	56	630	△
Ç-8	12.5	<1.0	<0.3	7.2	<1.3	24.0	6.3	<4.7	<1.3	<0.6	95.0	36.8	24.7	19.0	27.8	94.0	163	39	560	●
OD 4-1	11.0	<1.0	<0.3	7.5	<1.3	<4.0	6.6	21.5	<1.3	<0.6	117.4	38.3	25.5	9.0	28.5	21.6	229	45	550	■
OD-3-1	53.3	5.5	<0.3	7.3	<1.3	1848	6.8	19.6	17.5	<0.6	239.7	61.9	57.8	5.8	347	18.0	229	85	-	×
Ç-1	<5.3	<1.0	<0.3	8.2	<1.3	12.0	7.1	22.7	<1.3	<0.6	56.5	9.7	13.2	14.3	20.0	10.8	87	18	430	■
OD-9	<5.3	<1.0	<0.3	6.8	<1.3	2760	7.3	22.2	<1.3	<0.6	102.0	34.5	21.1	7.9	29.5	25.0	207	40	260	+

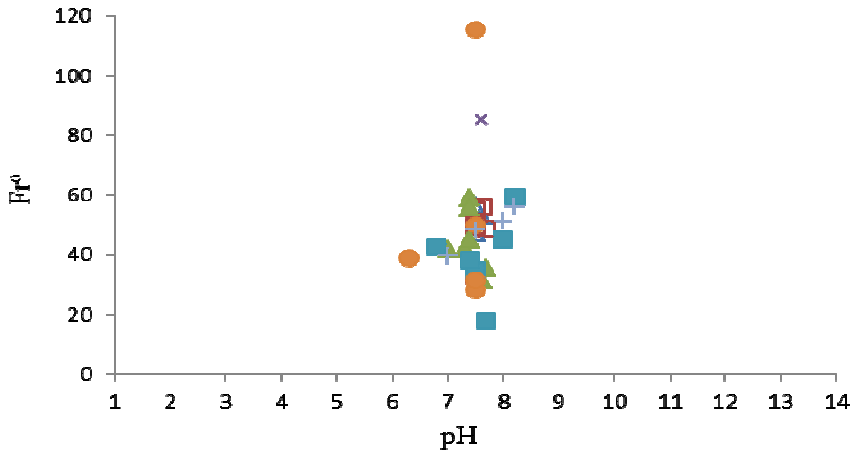
Tablo 3.4 (devamı)

Element Örn./Birim	Fe µg/L	Cu µg/L	Co µg/L	Ni µg/L	Mn µg/L	Zn µg/L	Cd µg/L	Al µg/L	Pb µg/L	Cr µg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	(SO ₄) ²⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Fr* Sertlik	İletkenlik µS	Grafikteki Simge
Ç-5	16.3	<1.0	<0.3	6.7	<1.3	2772	7.4	23.0	<1.3	<0.6	98.8	16.9	17.2	18.2	34.7	21.6	174	32	700	▲
Ç-3	35.2	<1.0	<0.3	4.3	<1.3	2772	7.5	21.0	<1.3	<0.6	39.9	100.8	21.7	19.3	31.7	18.0	283	51	600	+
OD-11	34.9	<1.0	<0.3	4.9	<1.3	2736	7.7	21.9	<1.3	<0.6	63.8	30.3	19.0	18.5	23.6	14.4	218	28	268	●
OD-10	36.4	<1.0	<0.3	4.8	<1.3	2724	8.0	23.8	<1.3	<0.6	72.0	32.3	17.5	18.6	20.1	14.4	196	31	550	●
TİSS**	<200	<2000	-	<20	<50	<5000	<5	<200	<10	<50	<75	<50	<200	<12	<250	<250				
DSTİSS***	<300	<2000	-	<20	<100	<15000	<3	<200	<10	<50	<200	-	<200	-	<250	<250				

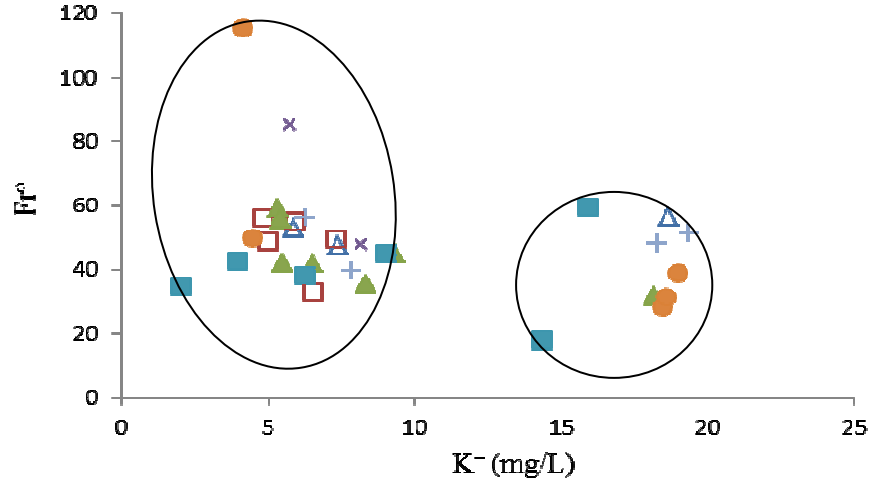
*Fr: Fransız su sertliği, **TİSS: Türkiye İçme Suyu Standartı, ***DSTİSS: Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu Standartı

Tablo 3.5. Çalışma alanındaki suların sertlik derecelerine göre sınıflandırılması (Tuncay, 1994)

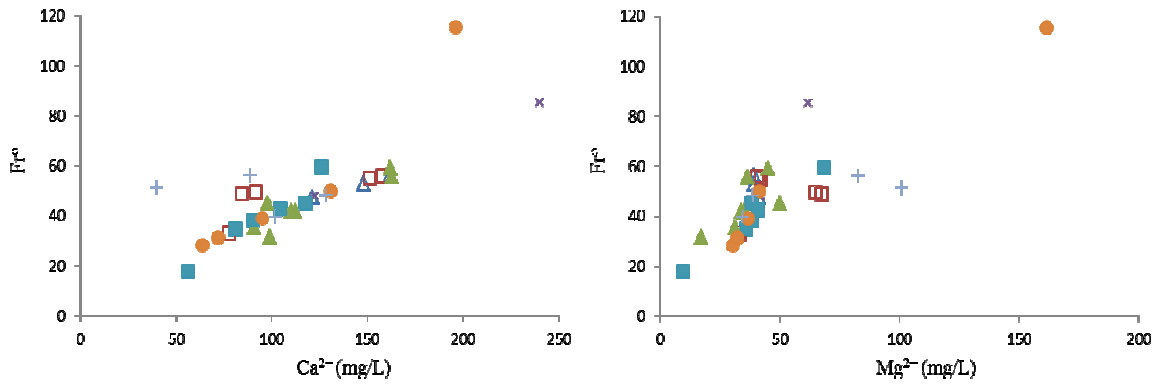
Su Sınıflama	Sertlik Derecesi		Çalışma alanından alınan su örneklerinin sertlik değerleri (mg/L)
	mg/L veya ppm CaCO ₃	Fr (Fransız)	
Çok yumuşak	0-72	0-7.2	-
Yumuşak	72-145	7.2-14.5	-
Orta sert	145-215	14.5-21.5	181 (1 adet)
Oldukça sert	215-325	21.5-32.5	284-317 (3 adet)
Sert	325-540	32.5-54	330-530 (19 adet)
Çok sert	>540	>54	551-1151 (9 adet)



Şekil 3.12. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Fransız sertlik derecesi (Fr^0) ve pH'ı arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram. Simgeler Tablo 3.4'deki gibidir



Şekil 3.13. Çalışma alanından alınan su örneklerinin K^+ (mg/L) içeriği ile Fransız sertlik derecesi (Fr^0) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram. Simgeler Tablo 3.4'deki gibidir



Şekil 3.14. Çalışma alanındaki su örneklerinin Fransız sertlik derecesi ile Ca^{2+} ve Mg^{2+} arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram. Simgeler Tablo 3.4'deki gibidir

İnceleme alanından alınan suların ölçülen bileşenleri arasında ilişki olup olmadığını araştırmak için korelasyon matrisi (% 95 güven aralığına göre) oluşturulmuştur (Tablo 3.6). Çalışma alanından alınan su örneklerinin korelasyonu incelendiğinde elementler arasında en yüksek korelasyon Mn ile Na ve Fe arasında mevcut ve pozitif yöndedir (Tablo 3.6). Su örneklerinin pozitif (+) korelasyon göstermesi iki parametre arasındaki doğru orantıyı, negatif (-) korelasyon ise ters orantıyı belirtir. Su örneklerinin pH'sı ile analiz edilen metaller arasında hiçbir ilişki tespit edilmemiştir.

Çalışma alanında kayaç türü olarak granitoid, andezit-bazalt, kireçtaşı ve alüvyonlar bulunmaktadır. Su örneklerinde katyon olarak bulunan Na^+ iyonunun plajiyoklasların ayrışması sonucu zenginleştiği düşünülmektedir. Mg^{2+} iyonunun ise granitoid, bazalt ve andezitlerdeki amfibol, biyotit ve ojitlerin ayrışması sonucu arttığını düşündürmektedir. Ca^{2+} iyonunun plajiyoklas, amfibol ve kalsit minerallerinin ayrışması sonucu, K^+ iyonu K-feldispat ve biyotit minerallerinin ayrışması sonucu sularda bulunabilmektedir.

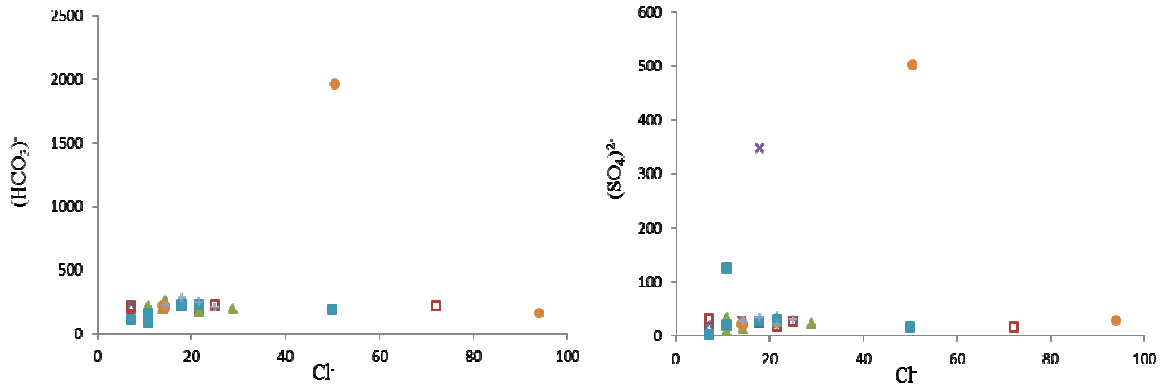
Tablo 3.6. Çalışma alanından alınan su örneklerinin korelasyon matrisi (% 95 güven aralığında)

	Fe	Cu	Ni	Mn	Zn	Cd	Al^{+3}	Pb	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^+	K^+	pH
Fe	1												
Cu	0.655	1											
Ni	-0.138	0.302	1										
Mn	0.931	0.722	-0.042	1									
Zn	0.125	-0.156	-0.239	-0.110	1								
Cd	0.049	-0.313	-0.337	-0.198	0.643	1							
Al^{+3}	0.092	-0.206	-0.267	-0.143	0.776	0.834	1						
Pb	0.417	0.705	0.608	0.536	-0.291	-0.561	-0.377	1					
Ca^{+2}	0.368	0.667	0.242	0.393	-0.210	-0.257	-0.192	0.614	1				
Mg^{+2}	0.773	0.525	-0.083	0.745	-0.040	-0.176	-0.188	0.451	0.267	1			
Na^+	0.956	0.722	-0.038	0.967	-0.070	-0.146	-0.094	0.555	0.487	0.766	1		
K^+	0.010	-0.310	-0.266	-0.201	0.502	0.718	0.625	-0.429	-0.353	-0.151	-0.193	1	
pH	-0,036	-0,001	0,007	-0,058	-0,154	-0,127	-0,031	-0,072	-0,160	-0,095	-0,089	-0,108	1

Alkalinite hemen hemen bütün doğal sularda, karbonat (CO_3^{2-}) ve hidroksit (OH^-) iyonlarından dolayı ortaya çıkmaktadır. Doğal suyun alkalinitesi nadiren 500 ppm (mg/L) CaCO_3 'ü aşmaktadır (Doğan, 1981). Çalışma alanından alınan su örneklerinde bir örnek (SD-1 nolu örnek, $\text{HCO}_3^- = 1963$ mg/L) hariç HCO_3^- (mg/L) değerleri 87 - 283 mg/L

arasında değişmektedir. TSE standardında (TS-266, 2005) alkalinite için bir sınır değeri verilmemiştir.

Sulardaki yüksek Cl^- konsantrasyonu bir kirlenme belirtisi olup önemli bir kalite parametresidir. İçme sularında klorür konsantrasyonunun belli sınırların içinde olması istenmekte olup fazla klorür miktarı suyun tadını bozmaktadır. TSE Standardında (TS-266, 2005), içme suyunda Cl^- değeri 250 mg/L'den düşük değer olarak belirtilmiştir. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Cl^- içerikleri 7.2-94 mg/L değerleri arasındadır (Tablo 3.4). TSE standardı (TS-266, 2005)'na göre çalışma alanından alınan su örneklerinin Cl^- değerleri uygun sınırlar içerisindedir. Çalışma alanındaki su örneklerinin Cl^- içerikleri ile HCO_3^- ve SO_4^{2-} içerikleri arasındaki ilişki incelendiğinde herhangi bir ilişki belirlenmemiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Cl^- (mg/L) içeriğinin (HCO_3^-) (mg/L) ve $(\text{SO}_4)^{2-}$ (mg/L) içeriklerine göre değişimi. Simgeler Tablo 3.4'deki gibidir

Jips, anhidrit ve piritin oksidasyonu ile oluşan sülfat, çevre sularına doğal yollardan karışan en önemli iyonlardan biridir. Bütün doğal sularda değişen miktarlarda sülfat bulunmaktadır. Bazı endüstriyel atık suların sülfat içeriği fazla olup doğal sulara karıştıklarında onların sülfat miktarını arttırmaktadır. Suda sülfatın yüksek olması, yüksek sertlik, yüksek sodyum tuzu, yüksek asidite ve suda oluşan acımsı tadı ifade etmektedir. İlaveten sularda sülfat değerinin yüksek konsantrasyonda olması evsel atık suların uzaklaştırıldığı beton kanallarında ve metal borularda aşındırma etkisi yaparak boruların deforme olup parçalanmasına sebep olmaktadır. Ayrıca sülfat, insan bağırsağında az miktarda absorbe edilmekte ve hücre zarını çok yavaş geçerek süratle bağırsaktan atılmaktadır. 1-2 g sülfat insanlarda müsil etkisi yapmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1994).

TSE standardı (TS-266, 2005)'na göre, çalışma alanından alınan su örneklerinin SO_4^{2-} miktarları iki örnek hariç (SD-1 ve OD-3-1 nolu örnekler) uygun sınırlar (3-124 mg/L arasında) içerisinde olup sularda 250 mg/L maksimum sınır değerinin altında bulunmaktadır (Tablo 3.4).

3.2.2.1. Metal Element Kirliliği

Çalışma alanından alınan su örneklerinin analiz edilen Fe, Mn, Cu, Co, Ni, Zn, Cd, Al, Pb ve Cr içerikleri Tablo 3.4'de verilmiş ve TSE standardı (TS-266, 2005)'na göre her bir element ayrı ayrı irdelenmiştir.

Yeraltı sularında hemen hemen her zaman, yüzey sularında ise yılın bazı aylarında yüksek konsantrasyonlarda bulunan demir ve mangan içme ve kullanma sularında sorun oluşturmaktadır. Bu iki element içme sularında istenmeyen renk ve bulanıklığa sebep olmakta, su borularının iç cidarlarında birikerek kesit daralmasına ve tıkanmalara yol açmaktadır. İçme sularında 200 $\mu\text{g/L}$ den fazla çözünmüş demir bileşiminin bulunması halinde özellikle çocuklarda ve mide rahatsızlığı çeken kişilerde ciddi rahatsızlıklar oluşabilmektedir. Bazen sularda rastlanan kırmızımsı pas rengi demir elementinden ileri gelmektedir. Çalışma alanından alınan su örneklerinin bir tanesi hariç (SD-1 nolu örnek) TSE standardı (TS-266, 2005)'na uygun olarak on dört örnekte Fe değeri 5.7-53.3 $\mu\text{g/L}$ arasında ve diğerlerinde <5.3 $\mu\text{g/L}$ 'ın altında bulunmaktadır (Tablo 3.4). Su örneklerindeki Mn değeri ise bir örnek hariç, iki örnekte 6.0-6.9 $\mu\text{g/L}$ ve diğerlerinde 1.3 $\mu\text{g/L}$ 'den küçük olup TSE standartı (TS-266, 2005)'nın izin verdiği maksimum sınır (<50 $\mu\text{g/L}$) değere uygun olduğu görülmektedir (Tablo 3.4).

Bakır, suda doğal olarak bulunmaz. Daha çok dezenfektan maddesi olarak kullanılan bakır sülfat eriyiğinden veya bakır boruların korozyona uğramasıyla bakır su içine karışmaktadır. Bakır hayvanların, bitkilerin yaşaması ve klorofil oluşumu başta olmak üzere çeşitli enzimlerin gelişimi için bulunması gereken temel bir elementtir. Vücut tarafından zor absorbe edilen bakır, insan vücudundaki esas elementlerden biridir. Bakır eksikliği insanda kansızlık, kemik yapısında bozukluk ve anemi hastalığına neden olurken fazla miktarlarda alınması halinde mukoza iltihaplanması, damar hastalıkları, karaciğer ve böbrek hastalıkları ve depresyonla seyreden merkezi sinir sistemi irritasyonları görülebilmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1994). Ayrıca bitkilerde fazla miktarda bakır büyümeyi engeller, küçük canlılar ve balıklar içinde zehir etkisi gösterir. İçme suyunun

TSE standardı (TS-266, 2005)'nda Cu için tavsiye edilen sınır değeri 100 µg/L ve kabul edilebilir en üst sınır değeri 2000 µg/L'dir. Çalışma alanında alınan su örneklerinin bir kısmında Cu değerleri 5.4-22.3 µg/L arasında değişirken diğerlerinde 1 µg/L'in altındadır (Tablo 3.4). Dolayısıyla su örneklerinin Cu değerleri TSE standardı (TS-266, 2005)'nın izin verdiği tavsiye edilen ve maksimum sınır değerlerini aşmamaktadır.

Kobalt, volkanik kayaçların içinde bulunmaktadır. Kobalt akciğer ve kalpte harabiyet ve işlev bozuklukları ile kan şekerinde, kolesterol ve yağ düzeylerinde artışa ve kanser gibi rahatsızlıklara sebep olmaktadır (Atabey, 2005). Çalışma alanından alınan su örneklerinin Co değerleri 0.3 µg/L'in altında olup oldukça düşüktür (Tablo 3.4). TSE standardı (TS-266, 2005)'nda Co için sınır değer verilmemiştir.

Kolayca her yerde bulunabilen nikel bileşikleri pratik olarak suda çözünmez. Suda çözünebilir tuzları, klorür, sülfat ve nitrattır. Nikel içeren bu bileşikler endüstriyel atıklarla derelere atılır ve nikel suya karışır. Nikel toksik bir element olmadığından gıda ve sularda bulunan nikelin ciddi bir sağlık problemi yaratacağı düşünülmemektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1994). TSE standardı (TS-266, 2005)'na göre Ni değeri 20 µg/L'yi aşmamalıdır. Çalışma alanından alınan su örneklerinin biri hariç (OD-1 nolu örnek; Ni=61.2 µg/L) Ni değerleri 4.3-16.1 µg/L arasında değişmektedir (Tablo 3.4). İncelenen sularda Ni değeri bir örnek hariç su örneklerinde izin verilen maksimum sınır değerinin altındadır.

Çinko sularda pek bulunmaz. Suyu tesisatlardan veya bakır kaplardan suyun asidik özelliği ile eriyerek geçebilmektedir. Fazlalığı suyun görünüş ve lezzetinde değişiklikler yaptığı gibi insan sağlığı açısından da zararlıdır. İçme suyunun TSE standardı (TS-266, 2005)'nda Zn için tavsiye edilen sınır değeri 100 µg/L ve kabul edilebilir en üst sınır değeri 5000 µg/L'dir. Çalışma alanından alınan su örneklerinin bir kısmında Zn içerikleri 12-2772 µg/L arasında değişirken diğerlerinde <4.0'ın altında olup TS-266 (2005)'ya göre izin verilen maksimum (<5000 µg/L) Zn değerinin altındadır. Çalışma alanındaki yedi adet su örneğinde (SK-6-1, OD-3-1, OD-9, Ç-5, Ç-3, OD-11 ve OD-12) Zn değeri (624-2772 µg/L) tavsiye edilen sınır değerinin (100 µg/L) üzerinde bulunmaktadır (Tablo 3.4).

Kadmiyum kuvvetli toksik bir element olup, galvanize boruların bozunması, plastik sanayinde stabilizatör maddesi olarak kullanılması ve endüstri atıklarının suya karışması ile artmaktadır. Kadmiyum vücuda içme suyu, yiyecek, hava, sigara ve endüstriyel yollarla alınabilmektedir. Kadmiyum ve bileşikleri kanserojenik olup, sağlık açısından birçok rahatsızlığa sebep olmaktadır: Bunlar baş ağrısı, susuzluk hissi, boğazda kuruluk, sinirlilik,

kuvvetli tahriş öksürüğü, bronşit, anfizem, anemi ve böbrek taşı gibi rahatsızlıklardır (Güler ve Çobanoğlu, 1994). Çalışma alanından alınan su örneklerinin Cd miktarları onbeş örnekte 4.2-8.0 µg/L arasında değişmekte ve diğerlerinde <1.0 µg/L'nin altındadır. TS-266 (2005)'ya göre sularda izin verilen maksimum Cd değeri <5 µg/L'den düşük olmalıdır. Çalışma alanından alınan on örnekte (Ç-6, OD-12, OD-8, Ç-8, OD-4-1, OD-3-1, Ç-1, OD-9, Ç-5, Ç-3, OD-11 ve OD-12) ise Cd değerleri 5.2-8.0 µg/L arasında olup TS-266 (2005) maksimum Cd değeri üzerinde ve sağlık açısından risk oluşturmaktadır (Tablo 3.4).

Kurşun yer kabuğunun doğal bileşeni olup, doğal sularda bulunmazken çevre kirliliği (endüstriyel atıklar, kurşun borularının deformasyonu ve kurşunlu benzinin yanması) sonucu kurşun içme sularına, akarsulara ve yeraltı sularına karışmaktadır. Çeşitli (içme suyu, hava, yiyecek, sigara, boya, toz ve toprak) yollarla vücuda alınan kurşun insan vücudu için gerekli olmayan toksik etki yapan bir elementtir. Kurşun yüksek dozda alındığında zehirleyici etki yapmasının yanı sıra iştahsızlık, karın ağrısı, yorgunluk, kurşun felçleri, duyu organları bozuklukları, strestle beraber beyinsel bozukluklara neden olmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1994). Çalışma alanından alınan su örneklerinin on yedi adetinde Pb değerleri <1.3'ün altında ve TSE standardı (TS-266, 2005)'na uygun (<10 µg/L) olup diğer örneklerde (SD-1, SK-5, OD-1, SK-6-1, OD-15, OD-13, OD-19, Ç-2, SD-2, OD-7, OD-5, SK-1, Ç-9, OD-12 ve OD-3-1) Pb değeri 13.7-43.9 µg/L arasında değişmekte ve yüksektir. Su örneklerinde en yüksek Pb değerine SD-1 nolu örnekte rastlanmaktadır. Bu durumun suyun örneklendiği kuyudan kaynaklanmış olabilir.

Sularda Cr^{3+} ve Cr^{6+} iyonları halinde bulunan kromun 3 değerlikli olanı suda hemen hemen hiç çözünmediğinden çok nadir rastlanırken, 6+ değerlikli olan krom kanserojenik özelliktedir. Dolayısıyla içme sularının krom kirliliğinden korunması gerekmektedir. Krom tuzları özellikle metalik kaplamalarda, boya fabrikalarında, boyalarda, patlayıcı maddeler, seramik ve kağıt gibi endüstrilerde kullanılmaktadır. Bu nedenle krom suya endüstriyel atıklardan kaynaklanan kirlilikle karışmaktadır. Cr^{6+} insanlara zararlı iken, Cr^{3+} nispeten daha az toksik etkisi olan, lokal veya yaygın sistemik bir etkisi olmayan hatta insan vücudu için gerekli olan kromdur. +6 değerlikli krom, ülser, bronşit, akciğer, cilt ve böbrek rahatsızlıklarına sebep olmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1994). TSE standardı (TS-266, 2005)'nda Cr için önerilen maksimum sınır değer 50 µg/L olarak belirtilmiştir. Çalışma alanından alınan su örneklerinde Cr değerleri 0.6 µg/L'dan düşüktür (Tablo 3.4). Dolayısıyla incelenen su örneklerinde Cr değerlerinin önerilen sınır değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Alüminyum yer kabuğunda en çok bulunan elementlerden biri olup doğal sularda çok az miktarlarda bulunmaktadır. Doğal sulara toprak ve kayalardan erime yoluyla karışan alüminyum ayrıca birçok evsel ve endüstriyel kullanımlardan dolayı suya karışmaktadır. Çözünmüş tuz, kolloid veya çözünmeyen bileşikler halinde sularda bulunan alüminyum suda çok az bulunduğu zaman bile renk değişimine neden olmaktadır. WHO (2014)'ya göre insan vücuduna günde alınması gereken 88 mg alüminyumun %4 ünden daha azı içme sularından sağlanmaktadır. Belirli bir toksik etkisi olmayan alüminyumun, içme suyu gibi çeşitli kaynaklardan fazla miktarlarda alınması halinde alzheimer gibi bazı nörolojik hastalıklara neden olduğu ileri sürülmektedir. TSE standardı (TS-266, 2005)'na göre Al değeri en fazla 200 µg/L olarak belirtilmiştir. Çalışma alanından alınan su örneklerinin bir kısmında Al değerleri 13.2-23.8 µg/L arasında değişirken diğerlerinde 4.7 µg/L'nin altındadır (Tablo 3.4). İncelenen su örneklerinin Al değerleri TSE standardı (TS-266, 2005)'na göre izin verilen maksimum sınır değerini altında kalmakta ve uygun olarak belirlenmiştir.

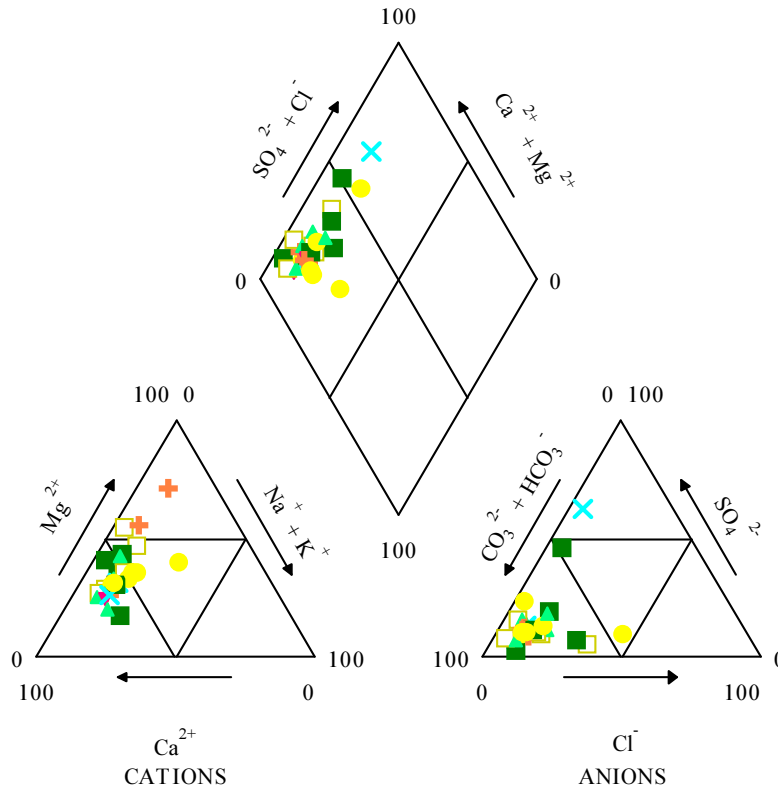
3.2.2.2. Piper Diyagramı Değerlendirilmesi

Çalışma alanından alınan su örneklerinin kimyasal sınıflaması Piper diyagramı kullanılarak yapılmıştır (Tablo 3.7; Şekil 3.16). Piper Diyagramı anyon ve katyonların (% mek/L cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.

Su örneklerinin katyonlarından Ca^{2+} iyonu 2.0 – 12.0 mek/L (Ç-3 ve OD-3-1 nolu örnekler) arasında, Mg^{2+} iyonu 0.81 – 13.45 mek/L (SD-1 ve Ç-1 nolu örnekler) arasında, Na^+ iyonu 0.26 – 10.41 mek/L (OD-2 ve SD-1 nolu örnekler) arasında ve K^+ iyonu 0.05-0.50 mek/L (OD-2 ve Ç-3 nolu örnekler) arasında değişmektedir (Tablo 3.4). Çalışma alanından alınan su örneklerinin anyonlarından Cl^- iyonu 0.21 – 2.69 mek/L (OD-1, OD-2, OD-13, Ç-9 ve Ç-8 nolu örnekler) arasında, HCO_3^- iyonu 1.43 – 32.18 mek/L (Ç-1 ve SD-1 nolu örnekler) arasında ve SO_4^{2-} iyonu 0.06 – 10.24 mek/L (OD-2 ve SD-1 nolu örnekler) arasında değişmektedir (Tablo 3.7). Su örneklerinde katyon olarak en fazla Mg^{+2} iyonu ve anyon olarak en fazla HCO_3^- iyonu bulunmaktadır.

Tablo 3.7. Çalışma alanından alınan su örneklerinin bazı katyon (mek/L) ve anyon (mek/L) bileşimleri

Örn. No.	Alındığı yer	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	(HCO ₃) ⁻	(SO ₄) ²⁻
SD-1	Karaer Mah. yukarı su depo	9.8	13.45	10.41	0.11	1.45	32.18	10.24
SK-5	Alemdar'a ayrılan sarı köprü su kuyu	8.1	3.75	1.05	0.14	0.41	4.28	0.26
OD-2	Süleymaniye Mah. imam evi	4.0	2.98	0.26	0.05	0.21	1.79	0.06
OD-1	Çamlıca Mah. su deposu	7.4	3.26	1.11	0.15	0.21	3.57	0.36
SK6-1	Gümüşhane Anadolu Lisesi loj.	7.6	3.52	1.17	0.15	2.06	3.57	0.33
OD-15	Yeni Mah. müftülük binası	4.6	5.40	1.23	0.19	0.62	2.85	0.38
OD-13	İnönü Mah. eğitim araçları binası	7.9	3.37	0.97	0.12	0.21	3.57	0.31
OD-19	Bağlarbaşı Mah. su deposu	8.1	3.03	1.06	0.14	0.83	3.21	0.46
Ç-2	Süleymaniye Mah. çeşme	6.3	5.69	0.73	0.41	0.31	2.67	2.53
SD-2	Karaer Mah su deposu	6.5	3.46	1.19	0.11	0.40	3.57	0.43
OD-7	Gümüşhane Devlet Hastanesi	4.5	3.20	1.05	0.16	1.43	3.03	0.35
OD-5	Özcan Mah. mezbahane	5.2	3.39	1.09	0.10	0.51	3.75	0.52
OD-3	Hacı Emin Mah. Bahri Aydın evi	6.1	3.47	1.22	0.21	0.40	3.39	0.56
SK-1	Sema Doğan Parkı su kuyusu	5.6	2.83	0.94	0.14	0.40	3.21	0.54
Ç-9	İnönü Mah. Mordut çeşme	4.2	5.61	0.30	0.13	0.21	3.21	0.62
OD-14	İnönü Mah. Mordut çay oca.	3.9	2.76	0.92	0.17	0.71	3.75	0.53
OD-17	Bağlarbaşı Mah. Toki	5.5	2.93	0.99	0.17	0.62	3.39	0.51
Ç-4	Karşıyaka Özdenoğlu çeşme	4.4	6.89	0.90	0.16	0.62	4.10	0.43
OD-16	Köprülüler Petrol	4.5	2.60	0.72	0.21	0.31	2.85	0.19
OD-6	Güzeller Mah.kız yetiştirme yurdu	6.1	3.46	1.04	0.19	0.51	3.75	0.51
Ç-6	Eski Bağlar çeşme	4.9	4.17	0.68	0.24	0.31	3.57	0.67
OD-12	Karşıyaka Mah. cami altı çay oca.	6.4	3.23	1.10	0.47	0.41	3.57	0.53
OD-8	Hasanbey Mah. Bilali Habeşi Cami loj.	8.1	3.25	1.06	0.48	0.51	3.57	0.49
Ç-8	Karaer Mah. Atatürk Parkı çeşmesi	4.7	3.07	1.08	0.49	2.69	2.67	0.57
OD 4-1	Canca Mah. Şadırvanı	5.9	3.19	1.11	0.23	0.62	3.75	0.58
OD-3-1	Hacı Emin Mah. durağı yanı çeşme	12.0	5.16	2.51	0.15	0.51	3.75	7.08
Ç-1	Özcan Mah. çeşme	2.8	0.81	0.57	0.37	0.31	1.43	0.41
OD-9	Gümüşhane erkek talebe yurdu	5.1	2.87	0.92	0.20	0.71	3.39	0.60
Ç-5	Bağlarbaşı Mah. Hacı Kasım çeşme	4.9	1.41	0.75	0.47	0.62	2.85	0.71
Ç-3	Karşıyaka Çilenkler çeşme	2.0	8.40	0.95	0.50	0.51	4.64	0.65
OD-11	Karaer Mah. Sağlık Müdürlüğü	3.2	2.52	0.82	0.47	0.41	3.57	0.48
OD-10	Karaer Mah. Zafer çay oca.	3.6	2.69	0.76	0.48	0.41	3.21	0.41



Şekil 3.16. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Piper diyagramında sınıflandırılması. Simgeler Tablo 3.4'deki gibidir

Piper diyagramında eşkenar üçgenlerde örnekler I, II ve IV nolu alana düşmüştür (Şekil 3.16). Buna göre sular Ca'lu, Mg'lu, karışık bileşimli ve bikarbonatlı sular olarak adlandırılmıştır. Su örnekleri Piper diyagramının eşkenar dörtgeninde ise 1, 3 ve 5 nolu alanlarda yer almıştır (Şekil 3.16). Çalışma alanına ait su örnekleri genel olarak, karbonatlı ve sülfatlı ($\text{Ca} + \text{Mg} > \text{Na} + \text{K}$) sular sınıfında olup, genellikle zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden ($\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 > \text{Cl} + \text{SO}_4$) daha fazla olan sular sınıfındadır. Ayrıca bu suların karbonat sertlikleri, karbonat olmayan sertliklerinden daha büyük olup böyle sular CaCO_3 ve MgCO_3 'lu ve karbonat sertlikleri %50 den fazla olan sular sınıfındadır (Canik, 1998).

4. TARTIŞMA

İçme suyunun kalitesi yaşam kalitesinin tanımlanmasında önemli bir parametredir. Suyun kalitesi, suda bulunan anyon, katyon ve askı maddeleri ile belirlenmekle birlikte suyun doğal fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra insan faaliyetlerinin de bir sonucudur. Suyun belli bir amaç için kullanılabilir olup olmadığı, su kalitesi ile belirlenmektedir.

Çalışma alanındaki su örneklerinin Kıta içi su kaynaklarının sınıfları (Resmi Gazete, 2012)'na göre su örnekleri sınıflaması Tablo 4.1'de verilmiştir. Çalışma alanından alınan toplam 32 adet su örneğinin analiz sonuçlarına göre bazı parametreler bakımından (pH, Na, $(SO_4)^{2-}$, Fe, Mn, Al, Co, Ni, Cu ve Cr miktarlarına göre) I. sınıf (yüksek kaliteli), bazı parametrelere (Cl^- ve iletkenlik miktarlarına) göre I. ve II. sınıf (az kirlenmiş) sular, Pb konsantrasyonlarına göre bir kaç örnek hariç (SK-5, SD-1, OD-1 VE OD-19 nolu su örnekleri) I. ve II. sınıf sular, Zn içeriklerine göre bir kaç örnek (OD-10, OD-11, Ç-3, Ç-5, OD-9, OD-3-1 ve SK6-1 nolu) hariç I. ve II. sınıf sular, Cd miktarlarına göre bazı su örnekleri (Ç-6, OD-12, OD-8, Ç-8, OD-4-1, OD-3-1, Ç-1, OD-9, Ç-5, Ç-3, OD-11 ve OD-10 nolu) hariç I. ve II. sınıf sular sınıfında bulunmaktadır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. İnceleme alanındaki su örneklerinin kirlenici parametreleri ve su sınıfları (konsantrasyon değeri mg/L cinsinden verilmiştir)

Örnek No	Alındığı yer	Kirlilik Parametresi	Suyun sınıfı	Kayaç Türü
SD-1	Karaer Mah. yukarı su deposu	Fe, Co, Cr, Ni, Mn, Zn, Cd, Al	I	Granitoyid
		Cu, Na, Cl	II	
		Pb	III	
		SO_4	IV	
SK5	Alemdar'a ayrılan sarı köprü su kuyusu	Fe, Cu, Co, Cr, Ni, Mn, Zn, Cd, Na, Al, Cl, SO_4	I	Alüvyon
		Pb	III	
OD-2	Süleymaniye Mah. imam evi	Fe, Cu, Co, Cr, Ni, Mn, Zn, Cd, Na, Pb, Al, Cl, SO_4	I	Granitoyid
OD-1	Çamlıca Mah. su deposu	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Zn, Cd, Na, Al, Cl, SO_4	I	Granitoyid
		Pb, Ni,	III	
SK6-1	Gümüşhane Anadolu Lisesi loj.	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Na, Al, SO_4	I	Alüvyon
		Pb	II	
		Zn	III	

Tablo 4.1 (devamı)

Örnek No	Alındığı yer	Kirlilik Parametresi	Suyun sınıfı	Kayaç Türü
OD-15	Yeni Mah. müftülük binası	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄ Pb	I II	Alüvyon
OD-13	İnönü Mah. eğitim araçları binası	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄ Pb	I II	Granitoyid
OD-19	Bağlarbaşı Mah. su deposu	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Zn, Na, Al, SO ₄ Pb, Cl	I II	Granitoyid
Ç-2	Süleymaniye Mah. çeşme	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄ Pb	I II	Granitoyid
SD-2	Karaer Mah su deposu	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄ Pb	I II	Granitoyid
OD-7	Gümüşhane Devlet Hastanesi	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Zn, Na, Al, SO ₄ Pb, Cl	I II	Alüvyon
OD-5	Özcan Mah. mezbahane	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄ Pb	I II	Andezit-bazalt
OD-3	Hacı Emin Mah. Bahri Aydın evi	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Pb, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄	I	Andezit-bazalt
SK-1	Sema Doğan Parkı su kuyusu	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄ Pb	I II	Granitoyid
Ç-9	İnönü Mah. Mordut çeşme	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄ Pb	I II	Alüvyon
OD-14	İnönü Mah. Mordut çay oca.	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Pb, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄	I	Granitoyid
OD-17	Bağlarbaşı Mah. Toki	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Cd, Pb, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄	I	Granitoyid
Ç-4	Karşıyaka Özdenoğlu çeşme	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Pb, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄ Cd	I II	Alüvyon
OD-16	Köprülüler Petrol	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Pb, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄ Cd	I II	Granitoyid
OD-6	Güzeller Mah. kız yetiştirme yurdu	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Pb, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄ Cd	I II	Alüvyon
Ç-6	Eski Bağlar çeşme	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Pb, Zn, Na, Al, Cl, SO ₄ Cd	I III	Granitoyid

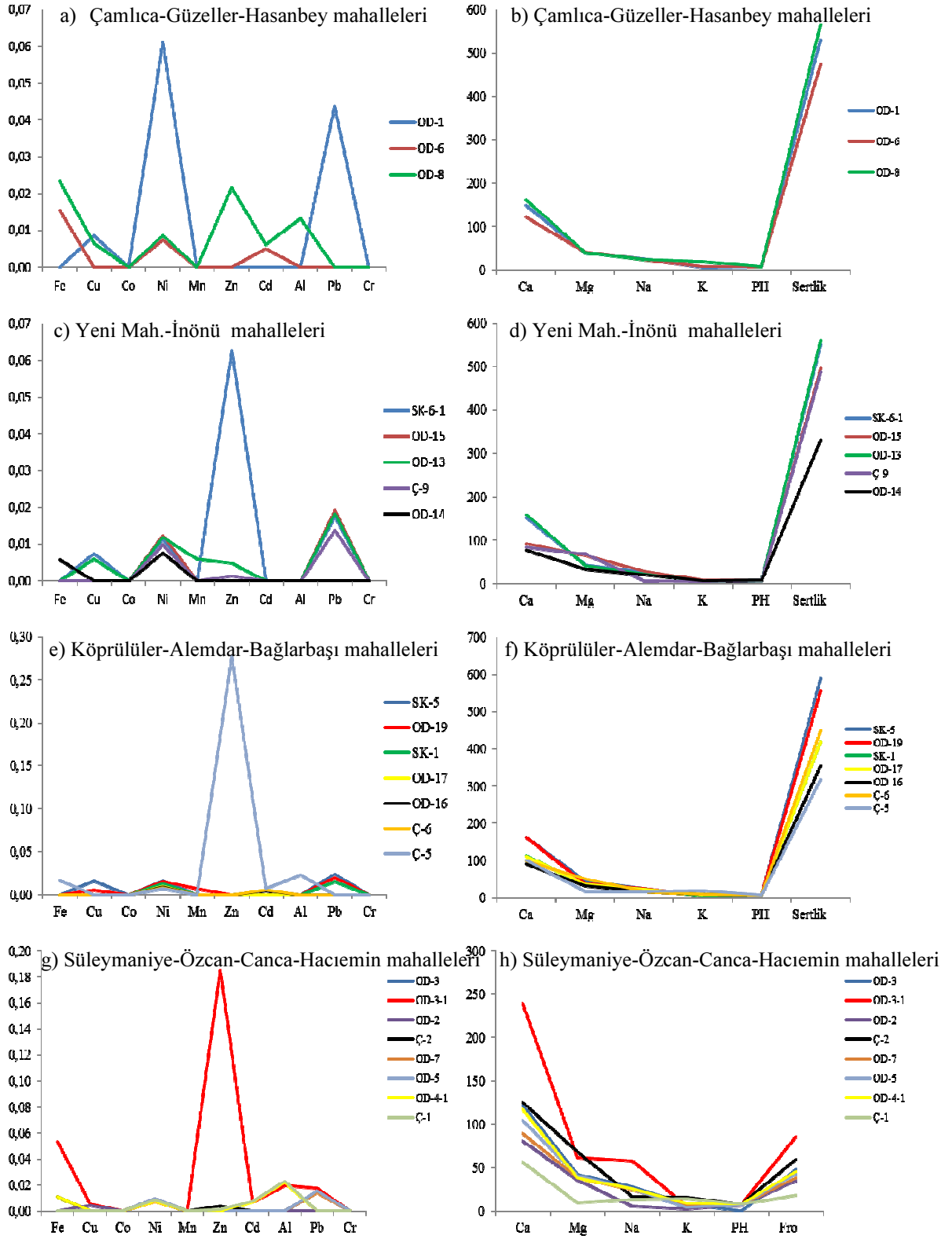
Tablo 4.1 (devamı)

Örnek No	Alındığı yer	Kirlilik Parametresi	Suyun sınıfı	Kayaç Türü
OD-12	Karşıyaka Mah. cami altı çay oca.	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Zn,	I	Alüvyon
		Na, Al, Cl, SO ₄	II	
		Pb	III	
		Cd	III	
OD-8	Hasanbey Mah. Bilali Habeşi Cami loj.	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Na,	I	Andezit-bazalt
		Pb, Al, Cl, SO ₄	II	
		Zn	III	
		Cd	III	
Ç-8	Karaer Mah. Atatürk Parkı çeşmesi	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Na,	I	Granitoyid
		Pb, Al, Zn, SO ₄	II	
		Cl	III	
		Cd	III	
OD-4-1	Canca Mah. Şadırvanı	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Pb,	I	Andezit-bazalt
		Zn, Na, Al, Cl, SO ₄	III	
OD-3-1	Hacı Emin Mah. durağı yanı çeşme	Cd	III	Andezit-bazalt
		Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Na,	I	
		Cl, Al, Cd	II	
		Pb	III	
Ç-1	Özcan Mah. çeşme	Zn, SO ₄	III	Andezit-bazalt
		Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Pb,	I	
		Zn, Na, Al, Cl, SO ₄	IV	
		Cd	IV	
OD-9	Gümüşhane erkek talebe yurdu	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Pb,	I	Alüvyon
		Na, Al, Cl, SO ₄	IV	
Ç-5	Bağlarbaşı Mah. Hacı Kasım çeşme	Zn, Cd	IV	Granitoyid
		Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Pb,	I	
		Na, Al, Cl, SO ₄	IV	
		Zn, Cd	IV	
Ç-3	Karşıyaka Çilenkler çeşme	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Pb,	I	Granitoyid
		Na, Al, Cl, SO ₄	IV	
OD-11	Karaer Mah. Sağlık Müdürlüğü	Zn, Cd	IV	Granitoyid
		Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Pb,	I	
		Na, Al, Cl, SO ₄	IV	
		Zn, Cd	IV	
OD-10	Karaer Mah. Zafer çay oca.	Fe, Cu, Co, Cr, Mn, Pb,	I	Alüvyon
		Na, Al, Cl, SO ₄	IV	
OD-10	Karaer Mah. Zafer çay oca.	Zn, Cd	IV	Alüvyon
		Zn, Cd	IV	

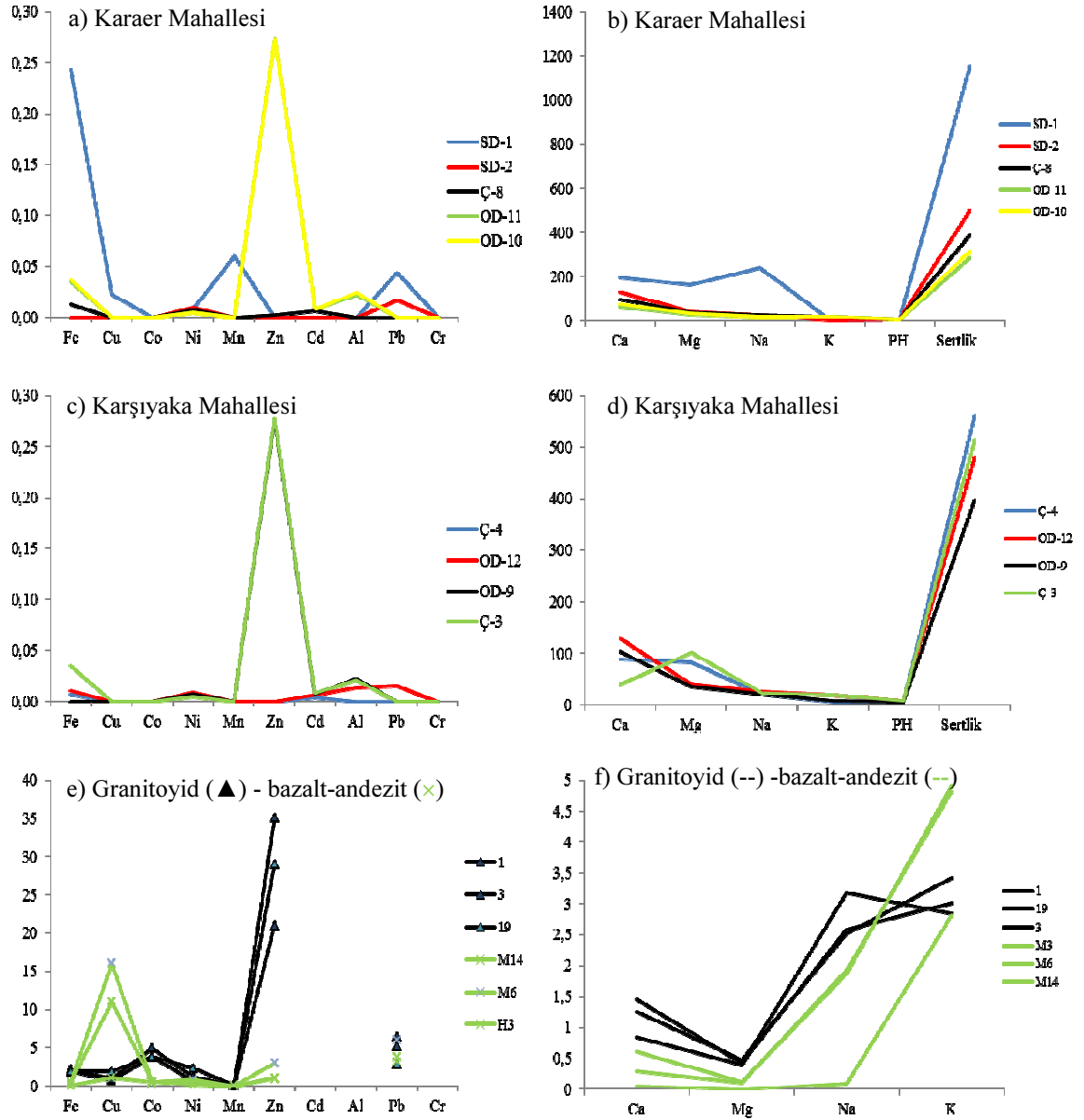
Çalışma alanından alınan su örneklerinde kirletici olarak Pb, Cd, Zn, Ni, Cl ve SO₄ bulunması bunların endüstriyel atıklarla (kurşun boruların korozyonu, ekzos dumanı), çevredeki madenlerin atıklarının içme sularına karıştığına bir göstergesi olabilir. Sularda, aniden görülen bir klorür konsantrasyon yüksekliği o suyun sanayiden kirlendiği şüphesini gösterebilir. İnceleme alanındaki su örneklerinin Kıta içi su kaynaklarının sınıfları

(2004)'na göre sınıflandırıldığında yüksek kaliteliden çok kirli olmak üzere değişik sınıf değerlerine sahip olması suyun amaca göre kullanılmasını tanımlayan bir sınıflama değildir. Su örneklerinin kullanılabilirlikleri TS-266 (2005)'da ve WHO (2014)'da verilen kabul edilebilir maksimum sınır değerlerle belirtilmektedir. Bu nedenle, halen kullanılmakta olan su örneklerinin bir kısmı Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflama Kriterleri (2004)'ne göre bazı parametreler açısından az kirli-kirli sular sınıfında yer alsa da, TSE standartı (TS-266)'na ve WHO (2014)'ya göre birer su örneğinde Fe, Ni ve SO₄, bazı su örneklerinde ise Cd ve Pb konsantrasyonları müsaade edilebilir maksimum değeri aşarken diğer parametreler aşmamaktadır. Dolayısıyla bir kısım su örnekleri kullanılabilir bir kısım su örnekleri, özellikle Cd ve Pb açısından, (Cd açısından Ç-6, OD-12, OD-8, Ç-8, OD-4-1, OD-3-1, Ç-1, OD-9, Ç-5, Ç-3, OD-11 ve OD-12 nolu su örnekleri; Pb açısından SD-1, SK-5, OD-1, SK-6-1, OD-15, OD-13, OD-19, Ç-2, SD-2, OD-7, OD-5, SK-1, Ç-9, OD-12 ve OD-3-1 nolu su örnekleri) ise kullanımı riskli sulardır (Tablo 3.4). İçme sularının kaynağını oluşturan doğal kaynak ve yeraltı suların çıktığı lokasyonlarda kum-çakıl, kireçtaşı, marn, granit ve kumtaşı gibi su kimyasını olumsuz yönde etkilemeyen jeolojik birimlerin bulunması suyun kalitesine olumlu katkı vermektedir. Bazı tortul, volkanik ve metamorfik kayaçlar ile fay zonlarında su-kayaç etkileşimi meydana geldiğinde doğal kaynak ve yeraltı sularının bazı ağır metal içerikleri artabilmektedir. Dolayısıyla bazı doğal ve yeraltı su kaynaklarının çıktığı yerlerdeki volkanitlerde su-kayaç etkileşimi ile Al, Fe, As, Ag, Hg, Co, Cd, Cr, Pb, Ni, Ba, Mn, Zn, Cu, Se ve Sb gibi elementler su kaynaklarında zenginleşebilmektedir. Ayrıca, suların dağıtımında kullanılan boruların türü ve özelliğini kaybetmiş olması da Pb, Ni ve SO₄ değerlerinin artmasına neden olabilmektedir.

Çalışma alanından alınan su örneklerindeki elementlerin ppm değerlerinin topluca tek bir diyagramda dağılımları incelendiğinde, genelde benzer davranışı gösterdikleri belirlenmiştir (Şekil 4.1 ve 4.2). Su örnekleri alındıkları yerlere göre gruplandırılmasına rağmen paralel dağılım göstermeleri ve bir kısmının bazı elementlerce zenginleşmesi yan kayaçlardan elementlerin yıkanması ve sulara karışması, yörenin madenlerce zengin olması ve maden atıklarının sulara karışması veya endüstriyel atıkların sulara karışması sonucu bir kirlenme ile ifade edebilir. Suların element dağılımlarının genelde paralellik göstermesi aynı veya benzer kökenli suları işaret etmektedir.



Şekil 4.1. Çalışma alanındaki su örneklerinin gruplandırılmış element ($\mu\text{g/L}$ ve mg/L) dağılım diyagramları (Zn değerleri 10'na bölünmüştür)



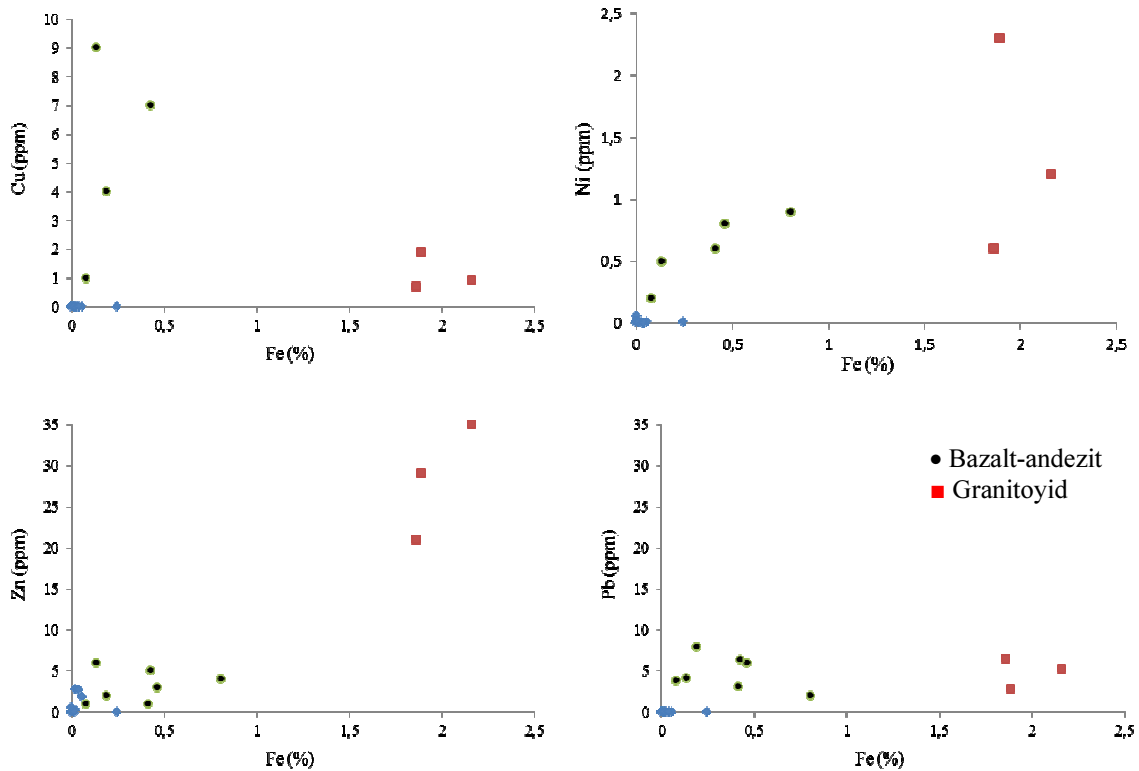
Şekil 4.2. Çalışma alanındaki su örneklerinin gruplandırılmış element ($\mu\text{g/L}$ ve mg/L) dağılım (Zn değerleri 10'na bölünmüştür) ve yan kayaçlarının element (ppm ve %) dağılım diyagramları

İnceleme alanından alınan suların kimyasal bileşimleri yine bu suların üzerinde bulunduğu granitoid ve bazalt-andezitin kimyasal bileşimi ile kıyaslandığında genelde element dağılımı az çok benzer dağılım sunmaktadır. Suların Ca içeriği granitoid (kimyasal değerler Topuz ve diğ, 2010'den) ve bazalt-andezite (kimyasal değerler Aslan, 2010'den) göre daha düşük olduğu, Na ve K içeriğinin ise son derece düşük olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.1 ve 4.2). Suların Fe, Pb, Zn ve Cu içeriği yüksek olup, granitoid

ve bazalt-andezite göre nispeten düşük, fakat TSE (TS-266, 2005) standartlarına Pb hariç uygundur.

Suların fiziksel özelliklerinden bulanıklığı önemlidir. Çalışma alanındaki su örneklerinin bulanıklık sınır değerini (< 5 NTU, TSE 2005) aşmasının (1-346 NTU) sebebi olarak su örneklerinin Ca ve Mg içeriğinin yüksek (Tablo 3.4) olması da dikkate alındığında çökelmiş haldeki CaCO_3 'tan kaynaklandığı düşünülmektedir.

İnceleme alanındaki su örneklerinde değişik konsantrasyonlarda bulunan Ca, Mg, Na, K, HCO_3^- gibi iyonlar ve Fe, Al, Cu, ve Mn gibi metaller arasında ilişki araştırılmış, fakat anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Ayrıca su örneklerinin Fe, Al, Cu, M, Ca, Mg, Na, Zn, Pb, Ni gibi element içerikleri ile yan kayaçların element içerikleri kıyaslanmış ve bazalt-andezit (değerler Aslan, 2010'dan alınmıştır) ile anlamlı bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.3). Çalışma alanındaki su örneklerinin Fe konsantrasyonlarının Cu, Ni, Zn ve Pb'ye göre değişimi bazalt-andezitlerle uyumlu ve yakınında yer almaktadır.



Şekil 4.3. Çalışma alanındaki su örnekleri ile yan kayaç arasındaki Fe (%) ile Cu (ppm), Ni (ppm), Zn (ppm) ve Pb (ppm) değişimi (bazalt-andezit değerleri Aslan, 2010 ve granitoyid değerleri Topuz ve diğ., 2010'dan alınmıştır)

İnceleme alanındaki su örneklerinin pH'sı ile metalleri (Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Na ve K) arasındaki ilişki birlikte değerlendirildiğinde, anlamlı sonuçlar elde edilmemiştir (Şekil 3.10). Dolayısıyla yaklaşık 7-8 pH değerlerinin inceleme alanındaki sularda bulunan elementlerin konsantrasyonlarda etkili olmadığı anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Gümüşhane ili merkezindeki suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır; bu amaç doğrultusunda su örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edilmiş, kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak sularının TSE (TS-266, 2005) standartlarına, Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıfları (2004)'na göre su kalitesi sınıflaması yapılmış, su örneklerinin bulunduğu yan kayaçların kimyası ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1. Su örneklerinin pH değerleri 6.3-8.2 ve iletkenliği 240-900 μ S arasında değişmekte olup, Türkiye ve WHO içme suyu standartlarına uygundur.

2. Çalışma alanındaki su örneklerinin sertliği bir örnek hariç (Ç-1 nolu örnek, Fr=18) oldukça sert (Fr=28.4-31.7), sert (Fr=33-53) ve çok sert (Fr=55.1-115.1) su olarak sınıflandırılmaktadır.

3. Çalışma alanından alınan su örneklerinin analiz sonuçlarına göre bazı parametreler bakımından (pH, Na, $(\text{SO}_4)^{2-}$, Fe, Mn, Al, Co, Ni, Cu ve Cr miktarlarına göre) I. sınıf (yüksek kaliteli), bazı parametrelere (Cl^- ve iletkenlik miktarlarına) göre I. ve II. sınıf (az kirlenmiş) sular, Pb konsantrasyonlarına göre bir kaç örnek hariç (SK-5, SD-1, OD-1 VE OD-19 nolu su örnekleri) I. ve II. sınıf sular, Zn içeriklerine göre bir kaç örnek (OD-10, OD-11, Ç-3, Ç-5, OD-9, OD-3-1 ve SK6-1 nolu) hariç I. ve II. sınıf sular, Cd miktarlarına göre bazı su örnekleri (Ç-6, OD-12, OD-8, Ç-8, OD-4-1, OD-3-1, Ç-1, OD-9, Ç-5, Ç-3, OD-11 ve OD-10 nolu) hariç I. ve II. sınıf sular olarak sınıflandırılmaktadırlar.

4. İncelenen su örneklerinin kimyasal açıdan karbonatlı ve sülfatlı ($\text{Ca}+\text{Mg}>\text{Na}+\text{K}$) sular sınıfında ve genellikle zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden ($\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^-+\text{SO}_4^{2-}$) daha fazladır. İncelenen suların karbonat sertlikleri, karbonat olmayan sertliklerinden daha büyük olan CaCO_3 ve MgCO_3 'lu ve karbonat sertlikleri % 50 den fazla olan sular sınıfında olmak üzere üç farklı kimyasal bileşim belirlenmiştir.

5. İnceleme alanındaki sularının pH'sı (6.3-8.2) ile sulara değişik konsantrasyonlarda bulunan metaller arasında bir ilişki olmadığı görülmüştür. Ayrıca suların çıktığı yerlerde su-kayaç etkileşimi ile Fe, Ni, Cd, Pb, Zn ve Cu gibi elementlerin sulara zenginleştiği veya maden atıkların veya endüstriyel atıkların sulara karışması ile bu elementlerin sulara arttığı düşünülmektedir.

6. Çalışma alanında Eskibağlar çeşme (Ç-6), Karşıyaka Mah. Cami altı çay ocağı (OD-12), Hasanbay Mah. Bilali Habeşi Cami lojmanı (OD-8), Karaer Mah. Atatürk Parkı çeşme (Ç-8), Canca mah. şadırvanı (OD-4-1), Hacıemin Mah. durağı yanı çeşme (OD-3-1), Özcan mah. Çeşme (Ç-1), Gümüşhane erkek talebe yurdu (OD-9), Bağlarbaşı Mah. Hacıkasım çeşme (Ç-5), Karşıyaka Çilenkler çeşme (Ç-3), Karaer mah. Sağlık Müdürlüğü (OD-11) ve Karaer Mah. Zafer çay ocağı'ndan alınan su örnekleri Cd içeriği için TSE (TS-266) standartlarında kabul edilebilir üst değerden ($<5 \mu\text{g/L}$) yüksek olduğu için sağlık açısından riskli sulardır.

7. Karaer Mah. yukarı su deposu örneğinin (SD-1) Fe ($<200 \mu\text{g/L}$), Mn ($<50 \mu\text{g/L}$), Pb ($<10 \mu\text{g/L}$) ve SO_4^{2-} ($<250 \text{ mg/L}$) içerikleri TSE (TS-266) standartlarından yüksek olduğu için, Alemdar'a ayrılan sarı köprü su kuyusu örneğinin (SK-5), Çamlıca mah. su deposu (OD-1), Gümüşhane Anadolu Lisesi Loj. (SK-6-1), Yeni Mah. Müftülük binası (OD-15), İnönü Mah. eğitim araçları binası (OD-13), Bağlarbaşı Mah. su deposu (OD-19), Süleymaniye Mah. çeşme (Ç-2), Karaer Mah. su deposu (SD-2), Gümüşhane Devlet Hastanesi (OD-7), Özcan mah. mezbahane (OD-5), Sema Doğan Parkı su kuyusu (SK-1), İnönü Mah. Mordut çeşme (Ç-9), Karşıyaka Mah. Cami altı çay ocağı (OD-12) ve Hacıemin Mah. Durağı yanı çeşme (OD-3-1) Pb ($<10 \mu\text{g/L}$) içeriklerinin TSE (TS-266) standartlarından yüksek olduğu için sağlık açısından kullanılması riskli sulardır.

8. Bu çalışma, bu yöredeki sulara yapılan ve sağlık açısından önemli olan metallerin analiz edildiği ilk çalışma niteliğindedir. Dolayısıyla su analizleri yapılırken canlı sağlığının korunabilmesi için içme sularında ve kaynaklarında ana iyon ve ağır metal analizlerinin sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için her yıl aynı iyon ve ağır metal analizlerinin yaptırılmasının son derece önemli olduğu anlaşılmış ve önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, Trabzon.
- Agilent Technology, 2011. Agilent 4100 Microwave Plasma Atomic Emission Spectrometer, *Site Preparation Guide*.
- Agilent Technology, 2014. 4200 Microwave Plasma-Atomic Emission Spectrometer. <https://www.chem.agilent.com/en-US/productsservices/Instruments-Systems/Atomic-Spectroscopy/4200-MP-AES/Pages/default.aspx>.
- Akın, H., 1978. Geologie, magmatismus und lagerstaetten-bildung im ostpontischen Gebirge-Türkei aus der Sicht der Plattentektonik, Geologische Rundschau, 68, 253–283.
- Alemdağ, S., 2013. Assessment of Bearing Capacity and Permeability of Foundation Rocks at the Gumustas Waste Dam Site, (NE Turkey) Using Empirical and Numerical Analysis, Arabian Journal of Geosciences, DOI: 10.1007/s12517-013-1236-3.
- Alemdağ, S., Akgün, A., Kaya, A. ve Gökçeoğlu, C., 2014. A large and rapid planar failure: causes, mechanism and consequences (Mordut, Gumushane, Turkey), Arabian Journal of Geosciences, 7, 3, 1205-1221.
- Aliyazıcıoğlu, İ., 1999. Kale (Gümüşhane) Yöresi Volkanik Kayaçlarının Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 96, Trabzon.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997. Geochemistry and petrogenesis of the Eastern Pontide Volcanic Rocks, Northeast Turkey, Chemi der Erde, 57, 157-187.
- Aslan, Z., 2010. UPb zircon SHRIMP age, geochemical and petrographical characteristics of tuffs within calc-alkaline Eocene volcanics around Gumushane (NE Turkey), Eastern Pontides. Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen, 187, 3, 329-346.
- Atabey, E., 2005. Tıbbi Jeoloji, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 124-134.
- Balaram, V., Vummiti, D., Roy, P., Taylor, C., Kar, P., Raju, A.K. ve Abburi, K., 2013. Determination of precious metals in rocks and ores by microwave plasma-atomic emission spectrometry for geochemical prospecting studies, *Current Science*, 104, 9, 1207-1215.
- Baykal, F., 1952. Kelkit-Şiran Bölgesindeki Jeolojik Araştırmalar, M.T.A Raporu, 2205, Ankara.

- Bektaş, O., 1984. Pontidlerde Üst Kretase Yaşlı Şoşonitik Volkanizma ve Jeotektonik Önemi, KTÜ Yerbilimleri Dergisi, 3, 1-2, 53-62.
- Bektaş, O., 1986. Paleostress Trajectories and Polyphase Rifting in Arc-Backarc of Eastern Pontides, M.T.A. Bulletin, 103-104, 1-15.
- Bektaş, O., Yılmaz C., Taslı k., Akdağ K. ve Özgür S., 1995. Cretaceous rifting of the eastern Pontide Carbonate platform, NE Turkey; the formation of carbonate breccias and turbidites as evidence of a drowned platform, Griornole di geologia, 57, 1-2, 233-244.
- Bilgin, M., 2003. Niğde İli İçme Sularının Fiziksel, Kimyasal ve Bakteriyolojik Olarak İncelenmesi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Uzmanlık Tezi, Niğde, 1-54.
- Canik, B., 1998. Hidrojeoloji, Yeraltı Sularının Aranması, İşletilmesi, Kimyası. Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Çoğulu, E., 1970. Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrolojik ve Jeokronometrik Etüdü, Doçentlik Tezi, İ.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul, 186.
- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrolojik ve Jeokronometrik Araştırmalar, İTÜ Yayını, No.1034, İstanbul.
- Doğan, L., 1981. Hidrojeolojide Su Kimyası, DSI yayınları, Ankara, 178s.
- Dokuz, A., Karşı, O., Chen, B. ve Uysal, İ., 2010. Sources and petrogenesis of Jurassic granitoids in the Yusufeli area, Northeastern Turkey: Implications for pre- and post-collisional lithospheric thinning of the eastern Pontides. Tectonophysics, 480, 259–279.
- Dokuz, A., Tanyolu, E., 2006. Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of Lower Jurassic and Upper Cretaceous clastic rocks from the eastern pontides, Yusufeli (Artvin), NE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 15, 181-209.
- Eren, M., 1983. Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Erguvanlı, K. ve Yuzer, E., 1987. Yer altı Suları Jeolojisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Erguvanlı, K., 1952. Trabzon-Gümüşhane Arasındaki Pontidlerin Bir Kesiti, TJK Bülteni, 3, 65-68.
- Ersoy, H. 2001. Kalecik Köyü (Torul-Gümüşhane) Çevresinin Karst Hidrojeolojisi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 62.

- Eyüboğlu, Y., Chung, S.L., Santosh, M., Dudas, F.O. ve Akaryalı, E., 2011. Transition from shoshonitic to adakitic magmatism in the eastern Pontides, NE Turkey: Implications for slab window melting. *Gondwana Research*, 19, 2, 413-429.
- Gattinger, T.E., 1962. 1:500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası Trabzon paftası ve izahnamesi, MTA Yayını, Ankara.
- Gedik, L., Kırmacı, M.Z., Çapkinoğlu, Ş., Özer, E. ve Eren, M., 1996. Doğu Pontidlerin Jeolojik Evrimi, KTÜ, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 30. Yıl Sempozyumu, Kormaz, S., Akçay, M., KTÜ Trabzon Bildiriler Kitabı-2, 654-677.
- Gedikoğlu, A., 1978. Harşit Granit Karmaşığı ve Çevre Kayaçları, (Doçentlik Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Yer Bilimleri Fakültesi, Trabzon.
- Gedikoğlu, A., Özсарay, T. ve Pelin, S., 1979. The main lines of the geotectonic evolution of the Eastern Pontids in Mesozoic. Era: geocomp-Is. 555-850.
- Görür, N., Şengör A.M.C, Akkök, R. ve Yılmaz, Y., 1983. Pontidlerde Neo-Tetis'in Kuzey Kolunun Açılmasına İlişkin Sedimentolojik Veriler, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 26, 11-20.
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1994. Su Kirliliği, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, Ankara, No: 12, ISBN 975-7572-60-8.
- Gültekin, F., 1998. Gümüşhane ve Bayburt yöresi mineralli su kaynaklarının hidrokimyası ve izotopik özellikleri, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 188.
- Güner, S., Yazıcı, E.N., Yılmaz, Z. ve Dursun, A., 2006. Gümüşhane Çevresinin Jeolojik-Tektonik Evrimi ve Cevherleşme. MTA Raporu, Ankara.
- Güven, İ.H., 1993. 1/100000 Ölçekli Paftaların Jeolojisi Komisyonu. MTA Genel Mudurluğu, Ankara.
- Hacıaloğlu, T., 1983. Kale- Vavuk Dağı (Gümüşhane) Arasının Jeolojisi ve Mikrofasies İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 121.
- Jankowski, K., Yaob, J., Kasiura, K., Jackowska, A. ve Sieradzka, 2005. Multielement determination of heavy metals in water samples by continuous powder introduction microwave-induced plasma atomic emission spectrometry after preconcentration on activated carbon, *Spectrochimica Acta B*, 60, 369–375.
- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve Yakın Yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 293s.
- Karşlı, O., Dokuz, A., Uysal, I., Aydın, F., Kandemir, R., Wijbrans, J., 2010. Generation of the Early Cenozoic, adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: implications for crustal thickening to delamination. Lithos, 114, 109-120.

- Kaygusuz, A., 2000. Torul ve Çevresinde Yüzeyleyen Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 255s.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F. ve İlbeli, N., 2012. Geochronological Evidence and Tectonic Significance of Carboniferous Magmatism in the Southwest Trabzon Area, Eastern Pontides, Turkey. International Geology Review, 54, 15, 1776–1800.
- Kesgin, Y., 1983. Bayburt, Akşar Köyü ve Güneybatısının Jeolojik İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji, İ.T.Ü. Kütüphanesi, No: 869, İstanbul.
- Ketin, İ., 1951. Bayburt Bölgesinin Jeolojisi. İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Mecmua 21, 113-127.
- Ketin, İ., 1966. Türkiye'nin Tektonik birlikleri, MTA Yayını, 66s, Ankara.
- Lenntech, 2014. <http://www.lenntech.com/ro/water-hardness.htm>
- Okay, A. ve Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides in A.G. Robinson ed., Regional Petroleumgeology of the Black Sea and Surrounding Region, American Association of Petroleum Geologist (AAPG) Memoir, No.68, p. 291-311.
- Özdoğan, K., 1992. Karadağ (Torul- Gümüşhane) ve Yakın Çevresinin Jeolojisi- Mineralojisi- Petrografisi ve Maden Zuhurlarının Jenetik İncelenmesi, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özsayar, T., Pelin, S. ve Gedikoğlu, A., 1981. Doğu Pontidler'de Kretase, KTÜ Yerbilimleri Dergisi, 2, 65-114.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Yer Bilimleri Fakültesi, No:13 Trabzon.
- Resmi Gazete, 2012. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetim Yönetmeliği, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Sayı: 28483, Ankara.
- Saydam Eker, C., Sipahi, F. ve Kaygusuz, A., 2012. Trace and rare earth elements as indicators of provenance and depositional environments of Lias cherts in Gumushane, NE Turkey. Chemie der Erde/Geochemistry, 72, 2, 167-177.
- Saydam Eker., Korkmaz, S., 2011. Mineralogy and whole-rock geochemistry of Late Cretaceous sandstones from the eastern Pontides (NE Turkey). Neues Jahrbuch für Mineralogie – abhandlungen, 188, 3, 235-256.
- Schultz-Wetsrum, H.H., 1961. Kuzeydoğu Anadolu Doğu Pontid Mineral Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Yatakları ile İlgili Mütaalalar, MTA Dergisi, 57, 63-71.

- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, Tectonophysics, 75, 181-241.
- Seymen, İ., 1975. Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği, Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi Yayını, İstanbul.
- Sipahi, F. ve Sadıklar, M.B., 2014. Geochemistry of dacitic volcanics in the Eastern Pontides (NE Turkey). Geochemistry International, 52, 4, 329–349.
- Sipahi, F., 2005. Zigana Dağı (Torul–Gümüşhane) Volkanitlerindeki Hidrotermal Ayrışmaların Mineraloji ve Jeokimyası, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Taslı, K., 1984. İkisu (Gümüşhane) ile Hamsiköy (Trabzon) Yörelerinin Jeolojisi ve Berdiga Formasyonu’nun Biyo-Stratigrafik Deneştirmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Taslı, K., 1990. Gümüşhane ve Bayburt Yörelerindeki Üst Jura-Alt Kretase Karbonat İstiflerinin Stratigrafik, Paleocoğrafik ve Mikropaleontolojik İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region, N.E. Turkey, Universty Colloge, London.
- Topuz, G., Alther, R., Schwarz, W.H., Siebel, W., Satır, M. ve Dokuz, A., 2005. Post-Collisional Plutonism with Adakite-like Signatures: the Eocene Saraycık Granodiorite (Eastern Pontides, Turkey), Contributions to Mineralogy and Petrology, 150, 441–455.
- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasözbeke A., Barth, M., Satır, M. ve Şen, C., 2010. Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: the Gümüşhane pluton (NE Turkey), Lithos, 116, 92-110.
- Topuz, G., Okay, A.I., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Satır, M., Şen, C., 2011, Post- Collisional adakite-like magmatism in the ağvanısmasif and implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey), lithos, 125, 131-150.
- TS 3790, 1988. Su Kalitesi-Alkalilik Tayini. Türk Standartları Enstitüsü (TSE).
- TS 4161 ISO 9297, 1998. Su Kalitesi-Klorür Tayini-Kromat İndikatörü Yanında Gümüş Nitrat ile Titrasyon (Mohr Metodu), Türk Standartları Enstitüsü (TSE).
- TS 5095, 1987. Suyun Analiz Metotları-Sülfat Tayini- Gravimetrik, Türbitimetrik ve Titrimetrik Metotlar (Methods for the Analysis of Water-Determination of Sulfate Content Gravimetric, Turbidimetric and Titrimetric Methods), Türk Standartları Enstitüsü (TSE).

- TSE (2005). TS 266, Türk İçme Suyu Standartları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tüdeş, Ş., 2001. Gümüşhane ve yakın çevresinin yerleşime uygunluk açısından araştırılması. KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 208s.
- Tuncay, H., 1994. Su Kalitesi. E.U., Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir, 243s.
- Turan, M., 1978. Şiran doğu yöresinin jeolojisi. Yüksek Lisans Tezi KTÜ. Trabzon (yayınlanmamış).
- Türk-Japon Ekibi, 1985. The Republic of Turkey Report on the Cooperative Mineral Expolaration of Gümüşhane area, Phase1, Metal Mining Agency of Japon.
- Vysetti, B., Vummiti, D., Roy, P., Taylor, C., Kamala, C.T., Satyanarayanan, M., Kar, P., Subramanyam, K.S.V., Raju, A.K. ve Abburi, K., 2014. Analysis of geochemical samples by microwave plasma-AES, Atomic Spectroscopy, 35, 2, 65-78.
- WHO (World Health Organization), 2014. <http://www.permoakdeniz.com/icme-suyu-standardi.html>.
- Yılmaz, C. ve Kandemir, R., 2003. Şenköy Formasyonu: Yeni bir Formasyon adlaması. 3. Stratigrafi çalıştayı bildiri özleri, Ankara, 14.
- Yılmaz, C., 1993. Accumulation rates of Jurassic-Lower Cretaceous sediments I the southern zone of the eastern Pontides, Giornale di Geologia, 55, 2, 131-145.
- Yılmaz, C., 1997. The Sedimentological Records of Cretaceous Platform-Basin Transitionin the Gümüşhane Region (NE Turkey), Geologie Mediterran., 24, 1, 2, 125-135.
- Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane-Bayburt Yöresindeki Mesozoyik Havzalarının Tektono-Sedimentolojik Kayıtları ve Kontrol Etkenleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 45, 1, 141-165.
- Yılmaz, C., Özgür, S. ve Tash, K., 1996. Gümüşhane yöresi Mesozoyik çökellerindeki çok evreli riftleşme kayıtlar, KD Türkiye, 49. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 11, 170-175.
- Yılmaz, F., 2004. Mumcular Barajı (Mugla-Bodrum)'nın Fiziko-Kimyasal Özellikleri, Ekoloji, 13, 50, 10-17.
- Yılmaz, Y., 1972. geology of the Gümüşhane Granitiyodi(petrography). İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Seri B, 157-172, İstanbul.
- Yılmaz, Y., 1974. Geology of the Gümüşhane granite (petrography). Rev. Fac. Sci. d'Univ. İstanbul, B 39, 157-172.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş. C. ve Şengör, A.M.C., 1997. Geology of Tectonic Evollution of the Pontides, AAPG Memoir, 68, 183-226.

Zankl, H., 1961. Magmatismus und Bauplan des Ostpontischen Gebirges im Querprofil des Harsit-Tales, NE Anatolien, Geol. Rdsch., 51, 218-239.

Zankl, H., 1962. Magmatismus und Bauplan des Ostpontischen Gebirges im Querprofil des Harsit-Tales, Bayerische Akademie der Wissenschaften, Abhandlungen, Neue Folge, München, Heft 109, 61-91.

Zaralıoğlu, M., 1977. Gümüşhane- Torul Zigana Geçidi Kepli Yaylası arasında kalan sahanın 1/100.000 ölçekli jeoloji raporu. MTA.

ÖZGEÇMİŞ

Sultan USLU, 17.07.1981 yılında Gümüşhane’de doğdu. İlkokulu Erzurum Tatbikat İlköğretim Okulunda 1991 yılında, orta okulu Erzurum G.A.M.P.O. Okulunda 1994’de, lise eğitimini de Ankara Anıttepe Lisesinde 1997’de tamamladı. 2001 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. Şu anda da Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans yapmaktadır. Evli ve 2 çocuk annesidir.