



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



**KELKİT VE KÖSE (GÜMÜŞHANE) İLÇE MERKEZİ İÇME SULARININ  
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ İLE YAN KAYAÇLARLA OLAN  
İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nadire YAZICI**

**TEMMUZ 2019  
GÜMÜŞHANE**



**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KELKİT VE KÖSE (GÜMÜŞHANE) İLÇE MERKEZİ İÇME SULARININ**  
**HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ İLE YAN KAYAÇLARLA OLAN**  
**İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nadire YAZICI**

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**“Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı”**  
**Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.05.2019**

**Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 25.06.2019**

**TEMMUZ 2019**



## KABUL ve ONAY



Dr. Öğr. Üyesi. Mehmet Ali GÜCER danışmanlığında **Nadire YAZICI** tarafından hazırlanan **“KELKİT VE KÖSE (GÜMÜŞHANE) İLÇE MERKEZİ İÇME SULARININ HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ İLE YAN KAYAÇLARLA OLAN İLİŞKİLERİNİN 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 : Dr. Öğr. Üyesi Esra HATİPOĞLU TEMİZEL

Üye : Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER

ONAY

Bu tez 07.08/2019 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (GÜBAP) Koordinatörlüğü’nce desteklenmiştir. Proje No: 19.F5114.07.03

## TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“Kelkit ve Köse (Gümüşhane) İlçe Merkezi İçme Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri ile Yan Kayaçlarla Olan İlişkilerinin İncelenmesi”** isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/05/2019



**Nadire YAZICI**

**ÖZET**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KELKİT VE KÖSE (GÜMÜŞHANE) İLÇE MERKEZİ İÇME SULARININ  
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ İLE YAN KAYAÇLARLA OLAN  
İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Nadire YAZICI

Gümüşhane Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER  
2019, 79 sayfa

İnceleme alanı, Gümüşhane (KD Türkiye) ilinin güneyinde yer alan Kelkit ve Köse İlçe merkezi ve yakın çevresini kapsamaktadır. Bu çalışmada, Kelkit ve Köse yerleşim merkezindeki içme sularının hidrojeokimyasal özellikleri ortaya konmuş ve metal element içerikleri belirlenmiştir. Bununla birlikte, suların içerisinden geçtiği litolojiler de belirlenerek içme suyu kaynağı ile yan kayaç arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Su numuneleri genel olarak halka açık kamu kurumlarının su depo ile Alüvyon, Kelkit Formasyonu, Berdiga Formasyonu ve Köse Graniti üzerinde yer alan kaynaklardan derlenmiştir. Örneklerin pH değerleri 7.50-8.09, iletkenlikleri 166.9-1386  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve sertlikleri 8.4-70.8 arasında değişmektedir. Bu veriler, kıta içi yerüstü su kaynakları sınıflamasına göre, suların I, II ve III sınıf kalitede olduğunu göstermekte ve asidik ortamdan ziyade bazik bir karakteri işaret etmektedir. Ayrıca, elde edilen sertlik sonuçları,

Kelkit bölgesindeki su örneklerinin yumuşak, orta derecede sert ve sert su özelliğinde, Köse bölgesindeki su örneklerinin ise sert, orta sert ve çok sert su niteliğinde olduğunu göstermiştir. Suların fiziksel parametreleri tüm numunelerde renk, bulanıklık, tat ve koku değerleri açısından uygundur. Çalışma alanındaki sular genel olarak karbonatlı ( $\text{Ca}+\text{Mg} > \text{Na}+\text{K}$ ) ve sülfatlı sular sınıfında olup, genellikle zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden ( $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}+\text{Cl}^-$ ) daha fazladır. Tüm örneklerle ait iyonların meq/l değerlerini birleştiren doğrular birbiri ile çakışmakta ya da paralel geçmekte olup, suların beslenme kaynağının aynı olduğunu mevsimsel değişimlerden etkilenmediğini işaret etmektedir. Bunun yanı sıra, incelenen örneklerin Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn ve Al değerleri genel olarak izin verilebilir aralıkta olup, TS-266 ve Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) standartlarına uygundur. Bu değerler aynı zamanda Gümüşhane İl merkezi içme suyu değerleri ile de benzer dağılım sergilemektedir. Örneklerdeki çözünmüş metallerin (Zn, Cu, Co, Ni, Pb) dağılımı, çalışma alanı ve yakın çevresindeki kayaç türleri ve cevherleşmeler ile doğrudan ilişkilidir. Birkaç tanesi dışında, diğer numuneler kabul edilebilir sınırlarda dağılım göstermiştir. Karbonatların çözülmesi (kireçtaşı ve dolomit), jips ayrışması ve gözlemlenen değişiklikleri açıklayan iyon değişimi ( $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{HCO}_3^-$ ) gibi süreçler suyun kimyasal bileşiminin su-kaya etkileşimleri tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Ayrıca, örneklerdeki  $\text{SiO}_2$ 'nin albit ayrışması sonucu sulara geçtiği de tespit edilmiştir. Sonuç olarak, örneklerin büyük bir çoğunluğunun içme suyu açısından iyi sınıf sular kategorisinde yer aldığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrojeokimya, İçme suyu, Kelkit-Köse (Gümüşhane), Su kalitesi

**ABSTRACT**  
**MS THESIS**

**THE INVESTIGATION OF HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF  
THE KELKIT AND KÖSE DISTRICT CENTERS DRINKING WATERS AND  
THEIR RELATIONSHIP BETWEEN THE SURROUNDING ROCKS**

Nadire YAZICI

Gümüşhane University  
The Graduate School of Natural and Applied Science  
Department of Geological Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mehmet Ali GÜCER  
2019, 79 pages

The study areas are located of Kelkit and Köse District centers in the south of Gümüşhane (NE Turkey) and their surroundings. In this study, hydrogeochemical features and metal elements of drinking waters in Kelkit and Köse district centers were examined. In addition, the lithologies in which the water passes through were determined and the relationships between the source of drinking water and the side rock were examined. Water samples were generally collected from water reservoirs and sources on Alluvium, Kelkit Formation, Berdiga Formation and Köse Granite. The pH, conductivity and hardness values of the samples vary between 7.50-8.09, 166.9-1386  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and 8.4-70.8 °F, respectively. According to the classification of the continental surface water resources, these data indicate that the waters are of I, II and III quality and indicate a basic character rather than an acidic environment. In addition, the hardness results showed that the water



samples in Kelkit area were soft, medium hard and hard water, while the water samples in Köse area were hard, medium hard and very hard water. The physical parameters of water for all samples are suitable in terms of color, turbidity, taste and odor values. The waters in the study area are generally classified as carbonated ( $\text{Ca}+\text{Mg} > \text{Na}+\text{K}$ ) and sulfated waters and generally, their weak acid roots are more than strong acid roots ( $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}+\text{Cl}^-$ ). The lines that combine the meq/l values of the ions of all the samples coincide or pass in parallel, indicating that the source of water supply is the same and is not affected by seasonal changes. In addition, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn and Al values of the studied samples are generally within the permissible range and comply with TS-266 and World Health Organization (WHO) standards. These values also show similar distribution with the drinking water values of Gümüşhane Province. The distribution of dissolved metals (Zn, Cu, Co, Ni, Pb) in the samples is directly related to the rock types and mineralizations in the study area and its vicinity. Except for a few, other samples were distributed within acceptable limits. The chemical composition of waters seems to be controlled by water-rock interactions, such as the dissolution of carbonates (limestone and dolomite), weathering of gypsum, as well as ion exchange processes ( $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{HCO}_3^-$ ) which explain the observed variability. In addition, it was found that  $\text{SiO}_2$  in the samples passed into the waters as a result of albite decomposition. As a result, it was determined that most of the samples were in the category of good class waters in terms of drinking water.

**Keywords:** Hydrogeochemistry, Drinking water, Kelkit-Köse (Gümüşhane), Water quality

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmaya maddi destek sağlayan Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (GÜBAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım başta yol göstericim danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince her türlü desteğini esirgemeyen hocalarım sayın Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ ve Doç. Dr. Enver AKARYALI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmaları ve örneklerin hazırlanmasında katkıları olan kıymetli meslektaşım, Jeoloji Mühendisi Yasin MERDAN'a, ince kesitlerin hazırlanmasındaki büyük katkılarından dolayı teknisyen Ferdi DAYANÇ'a, numune alımı sırasında yardımlarını esirgemeyen Kelkit ve Köse Belediyeleri Fen İşleri birimlerinin yetkili personellerine teşekkürü borç bilirim.

Bana her zaman ileriye gösteren, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, bugünlere gelmeme sebep olan annem Nurten KURT'a, babam Recep KURT'a ve kardeşim Nidanur KURT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında maddi ve manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen Sevgili Eşim Mustafa Gürbüz YAZICI'ya ve değerli dostum ve meslektaşım Ümmühan SEMİZ'e çok teşekkür ederim.

Nadire YAZICI  
Gümüşhane, 2019

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET .....	IV
ABSTRACT .....	VI
TEŞEKKÜR .....	VIII
İÇİNDEKİLER .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Konum, Yerleşim ve Ulaşım .....	1
1.3. Jeomorfoloji, İklim ve Bitki Örtüsü .....	1
1.4. Çalışmanın Amacı .....	3
1.5. Bölgesel Jeoloji .....	3
1.6. Önceki Çalışmalar .....	5
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	10
2.1. Yöntem ve Materyaller.....	10
2.2. Arazi Çalışması .....	10
2.3. Laboratuvar Çalışmaları .....	10
2.3.1. Mikroskopik Tayinler.....	10
2.3.2. Su Analizleri.....	12
2.4. Büro Çalışmaları.....	16
3. BULGULAR .....	17
3.1. Stratigrafi ve Petrografi .....	17
3.1.1. Kurtoğlu Metamorfiti .....	20
3.1.2. Köse Graniti .....	20
3.1.3. Şenköy Formasyonu .....	23
3.1.4. Berdiga Formasyonu .....	25
3.1.5. Kelkit Formasyonu .....	26
3.1.6. Alüvyon ve Yamaç Molozu .....	29
3.2. İçme Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri.....	29
3.2.1. Suların Fiziksel Özellikleri.....	33

3.2.2. Suların Kimyasal Özellikleri .....	34
3.2.2.1. Elektriksel İletkenlik (EI) .....	34
3.2.2.2. Hidrojen İyon Aktivitesi (pH) .....	35
3.2.2.3. Fransız Su Sertliği (Fr) .....	35
3.2.3. Sulardaki Majör İyonlar .....	37
3.2.3.1. Sodyum (Na) ve Potasyum (K) .....	39
3.2.3.2. Kalsiyum (Ca) ve Magnezyum (Mg) .....	39
3.2.3.3. Alkalinite ( $\text{HCO}_3$ ).....	40
3.2.3.4. Sülfat ( $\text{SO}_4$ ) .....	40
3.2.3.5. Klorür (Cl).....	41
3.2.4. İz Metaller .....	42
3.2.4.1. Demir (Fe) ve Mangan (Mn).....	42
3.2.4.2. Çinko (Zn) .....	43
3.2.4.3. Bakır (Cu).....	43
3.2.4.4. Alüminyum (Al) .....	44
3.2.4.5. Kadmiyum (Cd).....	44
3.2.4.6. Kobalt (Co).....	44
3.2.4.7. Nikel (Ni) .....	45
3.2.4.8. Kurşun (Pb) .....	45
3.2.4.9. Krom (Cr) .....	45
3.2.5. Hidrokimyasal Fasiyes sınıflaması.....	49
3.2.5.1. Piper Diyagramı .....	49
3.2.5.2. Schoeller Diyagramı.....	52
3.3. Su - Kayaç Etkileşimi.....	53
3.3.1. Kayaç Jeokimyası.....	53
3.3.2. Su - Kayaç İlişkisi .....	57
4. TARTIŞMA.....	60
4.1. Fiziksel ve Jeokimyasal Parametrelerin İrdelenmesi .....	60
4.2. Potansiyel Toksik Element İçerikleri .....	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	69
6. KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1.	Çalışma alanının yerbulduru haritası .....	2
Şekil 1.2.	Türkiye'nin tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek) ve inceleme alanının bu birliklerdeki yeri .....	4
Şekil 2.1.	Çalışma alanlarında (a) Çeşme (Kelkit), (b) Su deposu (Kelkit), (c) Cami şadırvanı (Köse) ve (d) Cami çeşmesinden (Ünlüpınar-Kelkit) su numunelerinin alınması. ....	11
Şekil 2.2.	(a) Petrografik kesit yapımında kullanılan PetroThin marka cihazın görünümü. (b) Alınan kayaç numunelerinden yapılan petrografik incelemeler.....	12
Şekil 2.3.	Su örneklerinin alındığı noktaların Google Earth uydu görüntüsü. (a) Kelkit İlçe merkezi ve yakın civarından alınan numuneler. (b) Köse İlçe merkezinden alınan örnekler.....	13
Şekil 3.1.	Gümüşhane yöresinin genelleştirilmiş dikme kesiti. ....	18
Şekil 3.2.	(a) Doğu Pontidler'in jeolojisi ve çalışma alanının konumu (Güven, 1993'den değiştirilerek). (b) Çalışma alanı ve civarının jeoloji haritası .....	19
Şekil 3.3.	Köse ilçe merkezinin kuzey kesimi boyunca yüzeyleme veren bol çatlaklı ve yer yer ayrılmış granitlerin görünümü.....	21
Şekil 3.4.	Köse Graniti'ne ait granit örneğinin mikroskop görüntüsü. (a) Granitlerde gözlenen Kfs, Qz ve Hbl mineraller birlikteliği ve (b) aynı alanın tek nikol görüntüsü. (c)-(d) Qz, Ksf, Pl ve Bt kristallerinin çapraz nikol görüntüleri .....	22
Şekil 3.5.	Şenköy Formasyonu'na ait bazaltların görünümü.....	23
Şekil 3.6.	Şenköy Formasyonu'na ait bazalt örneğinin mikroskobik görünümü: (a) ve (b) Mikrolitik hamur içerisinde yarı özşekilli plajiyoklas ve klinopiroksen fenokristalleri. (c) ve (d) Aynı örneklerle ait çapraz nikol görüntüleri.....	24
Şekil 3.7.	Berdiga Formasyonu'na ait masif kireçtaşı bloklarının Pekün (Kelkit) beldesi güney kesimi boyunca görünümü.....	26
Şekil 3.8.	Kireçtaşı el örneğinin mikroskobik görünümü. (a) Biyomikritik kireçtaşı içerisinde gözlenen <i>Globotruncana sp.</i> fosili kavkaları. (b) Yer yer kristalize olmuş kalsit mineralleri.....	26
Şekil 3.9.	Çalışma alanında Kelkit Formasyonu'nun muhtelif alanlardan görünümü. (a) açık yeşilimsi renk tonu ve yumuşak topografik görünüm. (b), (c) ve (d) İstifin düşük tabaka eğimine sahip kesimlerinin görünümü. (e) ve (f) Formasyon içerisinde gelişmiş küçük ölçekli kıvrım yapıları.....	27

Şekil 3.10. Kelkit Formasyonu'ndan alınan ince taneli kumtaşı örneğinin mikroskopik görünümü. (a) Kuvars, polikristalin kuvars ve kayaç parçaları, (b) Polijen konglomerada bulunan metamorfik kayaç parçası ve polikristalin kuvarslar .....	28
Şekil 3.11. Kelkit-Ünlüpınar (Pekün) yol güzergâhında yüzeyleme veren alüvyon malzemesi .....	29
Şekil 3.12. Su örneklerinin $K^+$ (mg/l) ve $Na^+$ (mg/l) içeriği ile Fransız sertlik derecesi ( $Fr^\circ$ ) arasındaki ilişki. ....	37
Şekil 3.13. Örneklerin $Ca^{+2}$ (mg/l) ve $Mg^{+2}$ (mg/l) içeriği ile Fransız sertlik derecesi ( $Fr^\circ$ ) arasındaki ilişki. ....	37
Şekil 3.14. İnceleme alanından alınan su numunelerinin iletkenliği ile katyonlar (mg/l) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramlar .....	40
Şekil 3.15. İnceleme alanından alınan su örneklerinin $Cl^-$ (mg/l) içeriğinin ( $HCO_3^-$ ; mg/l) ve ( $SO_4^{-2}$ ; mg/l) içeriklerine göre değişimi. ....	41
Şekil 3.16. Kelkit ve Köse su numunelerinin Piper diyagramında sınıflandırılması. Kapalı alanlar Gümüşhane İl merkezi içme sularının değerlerini (Uslu, 2014) göstermektedir. ....	50
Şekil 3.17. İncelenen örneklere ait Schoeller diyagramı. (a) Kelkit Örnekleri. (b) Köse örnekleri.....	52
Şekil 3.18. Köse Graniti'ne ait granit/monzogranit örnekleri ana oksitlerinin dağılımı .	55
Şekil 3.19. Kelkit Formasyonu'na ait kumtaşı örneklerinin ana oksit dağılımı .....	56
Şekil 3.20. Su ve kayaçların iz element analiz sonuçlar. (a) Kelkit örnekleri. (b) Köse örnekleri.....	59
Şekil 4.1. Çalışma alanından lokasyon ve kayaç türlerine göre derlenen su numunelerinin $SO_4^{-2}$ , $Cl^-$ , $HCO_3^{-}$ ve sertlik ( $Fr^\circ$ ) parametrelerinin karşılaştırılmış dağılımı. (a) Kelkit ve Berdiga Formasyonlarından alınan örneklere ait parametreler. (b) Kelkit yerleşim merkezinde alüvyonlardan alınan örnekler. (c) Köse İlçe merkezinde Kelkit Formasyonu ve alüvyonlardan derlenen numuneler. (d) Köse yerleşim merkezinde Köse Granitinden derlenen numuneler. ....	66
Şekil 4.2. Çalışma alanından lokasyon ve kayaç türlerine göre derlenen su numunelerinin metal (Fe, Zn, Cu, Co ve Pb) element içeriklerinin karşılaştırılmış dağılımı. (a) Kelkit ve Berdiga Formasyonlarından alınan örneklere ait parametreler. (b) Kelkit yerleşim merkezinde alüvyonlardan alınan örnekler. (c) Köse İlçe merkezinde Kelkit Formasyonu ve alüvyonlardan derlenen numuneler. (d) Köse yerleşim merkezinde Köse Granitinden derlenen numuneler. ....	68

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 2.1.	MP–AES cihazının çalışma şartları ve sistemin analitiksel karakteristiği ..	15
Tablo 3.1.	Kelkit ve Köse ilçe merkezinden alınan su örneklerinin alındığı yer ve kayaç türleri.....	30
Tablo 3.2.	Kelkit ve Köse ilçe merkezlerinden alınan suların fiziksel özellikleri.....	33
Tablo 3.3.	Suların iletkenliklerine göre sınıflandırılması (Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına göre Kalite Kriterleri RG-15/04/2015-29327)...	35
Tablo 3.4.	İnceleme alanındaki suların sertlik derecelerine göre sınıflandırılması.....	36
Tablo 3.5.	İncelenen içme sularında bulunan major iyonlar (mg/l) .....	38
Tablo 3.6.	Kelkit ve Köse İlçe merkezlerinden alınan örneklerin önemli bazı element analiz sonuçları .....	46
Tablo 3.7.	Su numunelerine ait Piper diyagramında kullanılan parametre değerleri ...	51
Tablo 3.8.	Köse Graniti'ne ait granit/monzogranitlerin tümkayaç jeokimyası .....	54
Tablo 3.9.	Kelkit Formasyonu kumtaşlarının tümkayaç jeokimyası.....	55
Tablo 3.10.	Su-kayaç etkileşimine bağlı olarak belirlenen sonuçlar .....	57
Tablo 3.11.	$\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{+2}$ , $\text{Mg}^{+2}$ katyonları ile $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{-2}$ , $\text{HCO}_3^-$ anyon değişim değerleri.....	58
Tablo 3.12.	$\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{+2}$ , $\text{Mg}^{+2}$ katyonları ile $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{-2}$ , $\text{HCO}_3^-$ anyon değişimlerine bağlı olarak kaya-su etkileşimine göre kimyasal olaylar .....	58
Tablo 4.1.	Kelkit ilçesinde alınan numunelerin kirletici parametreleri ve su sınıfları (anyon-kasyon değerleri mg/l, ağır element konsantrasyon değerleri µg/l cinsindedir) .....	61
Tablo 4.2.	Köse ilçesinde alınan numunelerin kirletici parametreleri ve su sınıfları (konsantrasyon değeri mg/l cinsindedir) .....	63

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Ag	: Gümüş
An	: Anortit
Ba	: Baryum
BSS	: Bağlı Standart Sapma
Bt	: Biyotit
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klor
CO <sub>3</sub>	: Karbonat
Cpx	: Klinopiroksen
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Ç	: Çeşme
DSTİSS	: Dünya sağlık Teşkilatı İçme Suyu Standartı
FAAS	: Flame Atomic Absorbtion
Fe	: Demir
Fr	: Frasnızsız su sertliği
GD	: Güney Doğu
Hbl	: Hornblend
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	: Bikarbonat
MP-AES	: Inductively Coupled plazma- Atomic emisyon Sperctrometer
K	: Potasyum
Kal	: Kalsit
KB	: Kuzey Batı
KD	: Kuzey Doğu
Kfs	: Potasyum feldspat
km	: Kilometre
Kp	: Kayaç parçası
LOD	: Gözlenebilme sınırı
LOQ	: Tayin sınırı
Met.kp	: Metamorfik kayaç parçası
mg/l	: Miligram/litre
Mn	: Mangan
mm	: Milimetre
MP-AES	: Mikrodalga plazma- Atomik Emisyon Spektrometre
My	: Milyon yıl
Na	: Sodyum
NO <sub>3</sub>	: Nitrat



NTU	: Nephelometric turbidity unit (Bulanıklık birimi)
Ni	: Nikel
OD	: Odak noktası
OH <sup>-</sup>	: Hidroksit
Pb	: Kurşun
Plj	: Plajiyoklas
SD	: Su Deposu
SK	: Su Kuyusu
Qz	: Kuvars
TİSS	: Türkiye İçme Suyu Standartı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
U	: Uranyum
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
Zn	: Çinko

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

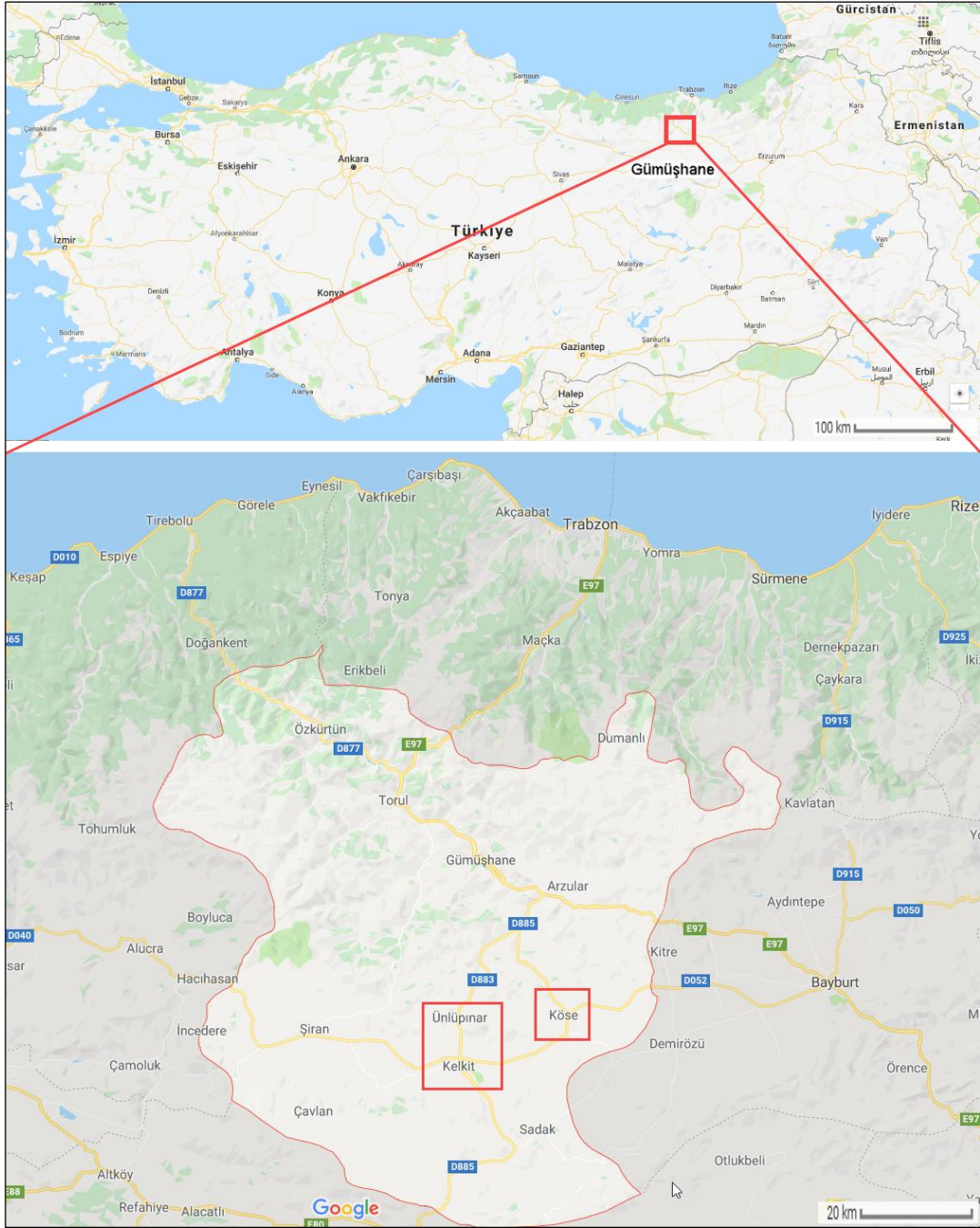
Su, canlılığın temelini oluşturan ve yaşamsal işlevlerin gerçekleştirilmesinde en ihtiyaç duyulan doğal bir kaynaktır. Canlılardaki birçok metabolik olayda su önemli rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra biyolojik sistemlerde değişik görevleri olan H, Na, K gibi elementler suda çözülmüş olarak bulunmakta ve canlıların başlıca besin maddelerini oluşturmaktadır. Bu özellik, suda çözülmüş olarak bulunan element düzeylerinin önemini ortaya koymaktadır. Vücuttaki bütün fizyolojik olayların yürütülmesinde su, ya doğrudan ya da dolaylı olarak, metabolik işlemlere katılır. Bütün yaşamsal faaliyetler için gerekli olan suyun insanlara hijyenik olarak (içerisinde As, Cu, Pb, gibi zararlı kimyasal maddeleri ve patojen mikroorganizmaları içermeyecek özellikte) sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada da, Kelkit ve Köse (Gümüşhane) ilçe merkezindeki içme sularının hidrojeokimyasal özellikleri belirlenerek, gerek jeolojik gerekse hijyenik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır.

### **1.2. Konum, Yerleşim ve Ulaşım**

İnceleme alanı Doğu Karadeniz Bölgesi, Gümüşhane ili, Kelkit ve Köse ilçe merkezlerini kapsamakta olup, Trabzon H42 ve H43 pafta sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Kelkit ilçe merkezi, Gümüşhane iline 60 km, Köse ilçesine 26 km uzaklıktadır. Köse ilçe merkezi ise Gümüşhane iline 42 km, Bayburt iline 56 km mesafede yer almaktadır. Her iki ilçeye de ulaşım karayolu ile sağlanmakla birlikte, her mevsim ulaşım mümkündür.

### **1.3. Jeomorfoloji, İklim ve Bitki Örtüsü**

Gümüşhane ili, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi ile komşu olması sebebiyle her iki ikliminde özelliklerini taşıyan geçiş iklimi özelliğindedir. Yazları kurak, kışları ise soğuk ve kar yağışlıdır. İlçe merkezleri ve yakın civarının sıcaklığı yılın büyük bir bölümünde 1 derecenin altındadır.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yerbulduru haritası

İlçe merkezlerinde genel olarak yumuşak bir topografya hâkim iken, yerleşim alanları dışına çıktıkça yüksek eğimli bir topografyaya geçiş gözlenmektedir.

Bölgede, Nisan ayından itibaren sıcaklık artışı başlar ve Ağustos ayında azami yüksekliğe ulaşır. İlçede en fazla yağış ilkbahar mevsiminde, en az yağış ise yaz mevsiminde görülmektedir.

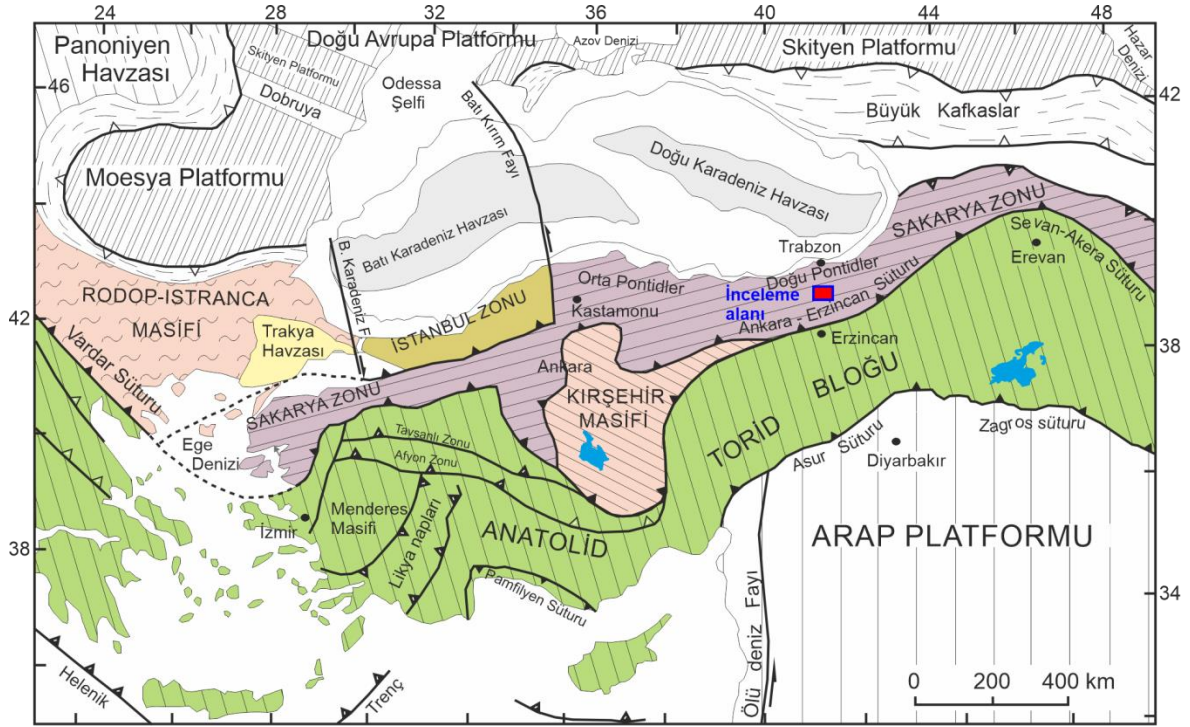
Yerleşim merkezleri bitki örtüsü bakımından fakirdir. Büyük bölümü çayır ve meralarla kaplı olan çalışma alanında, yer yer orman ve fundalık alanlar da gözlenmektedir. Ormanlarda genellikle ladin, sarıçam gibi iğne yapraklı ağaçlar göze çarpmaktadır. Akarsu yatağı boyunca ceviz, vişne, elma ve dut ağaçlarından oluşan meyve bahçeleri vardır. Kelkit çayı ve dereler boyunca kavak ve söğüt ağaçları görülmektedir. Doğal bitki örtüsünü aygın olarak çalılıklar, yer yer çam ve pelit (meşe) ağaçları ve son yıllarda şehrin ekonomisine katkı sağlayan kuşburnu oluşturmaktadır.

#### **1.4. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmada, Kelkit ve Köse (Gümüşhane) ilçe merkezlerindeki içme sularının hidrojeokimyasal karakteristiklerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, söz konusu sulardan ve bu suların geçtiği litolojilerden numuneler alınarak, analizleri yapılmış ve elde edilen verilerden içme suyu ile yan kayaç arasındaki ilişkiler ortaya konmuştur. Çalışmanın amacına yönelik seçilen yerleşim merkezleri içme sularının, hidrojeokimyasal özellikleri üzerine bugüne kadar yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

#### **1.5. Bölgesel Jeoloji**

Alp-Himalaya orojenik kuşağı içerisinde yer alan ve daha yaşlı orojenik dönemleri temsil eden alanların da bulunduğu Türkiye, farklı jeolojik kökenlere sahip birçok tektonik birliğin bir araya gelmesi sonucu oluşmuş ve birçok tektono-stratigrafik birlikten meydana gelmiştir. Tetis olarak adlandırılan okyanusun değişik kollarının açılıp kapanması sırasında oluşan aktif ve pasif kıta kenar çökelleri ile yay ve sütür karmaşıkları içermekte olan kıta parçaları Geç Tersiyer’de bir araya gelerek tek bir kara parçası halini almıştır (Okay, 2008; Göncüoğlu, 2010). Karadeniz’in güneydoğu kesimi boyunca uzanan Doğu Pontidler ise, yaklaşık 500 km uzunluğa ve 100 km genişliğe sahip bir orojenik kuşağı temsil etmektedir. Bu kuşak, Geç Kretase (Senoniyen) döneminde kuzeyde Avrasya levhası altına yiten Neotetis okyanusunun kuzey kolu üzerinde gelişmiş ve iyi korunmuş eski bir adayı olarak bilinmektedir (Akın, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Akıncı, 1984; Okay ve Şahintürk, 1997; Yılmaz vd., 1997). Doğu Pontid orojenik kuşağı, tektonik olarak Sakarya Zonu’nun doğu kesimini teşkil etmektedir (Okay, 1989; Okay ve Tüysüz, 1999; Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Türkiye'nin tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek) ve inceleme alanının bu birliklerdeki yeri

Doğu Pontid orojenik kuşağı, gerek yapısal gerekse litolojik farklılıklarına göre “Kuzey” ve “Güney” olmak üzere iki farklı zona ayrılarak tanımlanmıştır (Ketin, 1966; Akın, 1979; Gedikoğlu vd., 1979; Özsayar vd., 1981; Güven, 1993). Özellikle Üst Kretase’de belirgin farklılıklar göze çarpmakta olup, Kuzey Zon’da Üst Kretase öncesi jeoloji birimleri pek gözlenmezken, Senoniyen ve Orta Eosen volkanik ve volkanoklastik kayalar daha hâkimdir. Buna karşın, Kuzey Zon’a nazaran daha fazla deformasyona uğrayan Güney Zon’da ise Üst Kretase öncesi birimler daha geniş alanlarda yüzeyleme vermektedir (Özsayar vd., 1981; Güven, 1993).

Güney Zon içerisinde yer alan inceleme alanının temel birimlerini Karbonifer yaşlı metamorfik kayalar (Pulur Masifi, Topuz ve Altherr, 2004; Topuz vd., 2004a, 2004b, 2007; Ağvanis Masifi, Okay, 1984; Altunkaynak, 2000; Tokat Masifi, Alp, 1972; Özcan vd., 1980; Rojay, 1993; Tüysüz, 1996; Yılmaz vd., 1997; Eyüboğlu, 2006; Kurtoğlu Metamorfikleri, Topuz vd., 2007, 2010; Karadağ Metamorfikleri, Dokuz, 2000; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Ustaömer ve Robertson, 2010, Kopuzsuyu Metamorfikleri) ve onları keserek yerleşen Karbonifer plütonlar (Gümüşhane ve Köse Plütonları: Yılmaz, 1972;

Çoğulu, 1975; Topuz vd., 2007, 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2016; Karanlı vd., 2016) oluşturmaktadır.

Bölgede Paleozoyik temel, Alt-Orta Jura yaşlı volkanik ve volkanoklastik kayalardan oluşan ve Liyasik transgresyon (200-190 My) sonucu meydana gelen Şenköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Kandemir, 2004; Yılmaz ve Kandemir, 2003, 2006; Topuz vd., 2007; Kandemir ve Yılmaz, 2009). Bu birim birçok araştırmacı tarafından rift ile ilişkili subalkalen karakterli volkano-sedimanter istif olarak nitelendirilmiştir (örneğin, Ağıar, 1977; Robinson vd., 1995; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Şen, 2007; Kandemir ve Yılmaz, 2009). Bölgede volkano-sedimanter istif üzerine Dogger-Malm-Alt Kretase yaşlı sığ platform karbonatları uyumlu olarak gelmekte olup, genellikle gri-bej renkli, kalın, yer yer masif katmanlı, çok zengin bentik foraminifer fosilleri içeren, taban seviyeleri yer yer dolomitlerden üst seviyeleri ise çört yumru ve bantlı kireçtaşlarından oluşan, sığ denizel bir istif özelliğı sunmaktadır (Pelin, 1977; Taslı, 1990; Kırmacı, 1992; Yılmaz, 2002; Saydam Eker vd., 2012). Bölgede Alt Kretase birimleri sedimanter istifler tarafından uyumlu olarak örtülürken, Güney Zon'da volkanik kayalar tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Çalışma alanında Jura öncesi birimler Üst Kretase (Kermutdere Formasyonu) ve Eosen (Alibaba Formasyonu) tarafından örtülmektedir. Üst Kretase; taban kesimlerinde türbiditik istif, üst kesimlerinde volkanik ağırlıklı kayalarla temsil edilirken, tüm bu birimler üzerine taban konglomerası ile uyumsuz olarak gelen Eosen ise üst kesimlere doğru volkanik tuf, nummulitli kireçtaşı ve volkanitler ile temsil edilmektedir (örneğin Saydam Eker vd., 2012, 2016). Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozları çalışma alanının en genç birimini oluşturur.

## **1.6. Önceki Çalışmalar**

Teknonik olarak Sakarya Zonu içerisinde yer alan çalışma alanında, geçmişten günümüze birçok genel jeoloji, mineraloji-petrografi, mühendislik jeolojisi ve hidrojeoloji amaçlı çalışmalar bulunmaktadır. Çalışma konusu ve inceleme alanı yakın civarında yapılmış bazı çalışmalar ise şu şekilde özetlenebilir;

Ketin (1951), Bayburt ve Gümüşhane Bölgesinin 1/100000 ölçekli jeoloji haritası yapılmış ve birimleri litostratigrafik olarak belirlemiştir.

Baykal (1952), Kelkit-Şiran Bölgesinde Jeolojik araştırmalar yapmış ve mevcut olan birimleri belirlemiştir.

Ağar (1977), Kurtoğlu Metamorfitlelerine ait başlıca kayaç türlerini fillatlar, grafit şistler, mikaşist, amfibolit, kuvarsit, kuvars fillat ve gnayslar olarak belirtmiş, güney zonda bu birimler Kelkit, Şiran-Zimon (Çevrepınar), Kurtoğlu, Kale, Köse, Demirözü, Yeniköy ve kuzeyinde yaygın olarak gözlemlendiklerini tezinde belirtmiştir.

Güner (1986), Gümüşhane – Kelkit-Şiran yöresinin 1/25000 ölçekli jeoloji haritasını yapmıştır. Berdiga Formasyonunun kalınlığı 200-300 m olarak belirlemiş ve ayrıca yörede gözlenen türbiditlerin Eosen yaşlı olduğu 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.

Saydam (2002), ‘Doğu Pontidler’deki Geç Kretase yaşlı kırıntılı çökellerin sedimanter, petrografik ve organik jeokimyasal özellikleri isimli doktora-tez çalışmasında bölgedeki üst Kretase istiflerinin (çalışma alanındaki Kermutdere Formasyonu dahil) ayrıntılı, stratigrafik kesitlerini çıkartarak bu kayaçların oluşum koşullarını ve organik jeokimyasal özelliklerini ortaya koymuştur.

Lermi (2003), İnceleme alanın kuzeyinde Midi (Karamustafa-Şiran) yöresinde Liyas yaşlı Şenköy Formasyonu içinde yer alan Pb-Zn cevherleşmesini çalışmış ve sonucunda cevherleşmenin genelde fay ve kırıklar boyunca, devamı olmayan merccekler şeklinde yerleşmiş olduğunu, cevherleşmenin mineral parajenezinde pirit, pirotin, kalkopirit, manyetit, tetrahedrit, bornit, arsenopirit, nabit altın, elektrum, enarjit-luzonit, simitsonit, serizit, sfalerit, galen gang olarak ise limonit, hematit, kalsit, dolomit, ankerit, siderit, kuvars, epidot, klorit, illit ve kaolinit bulunduğunu ifade etmiştir.

Kandemir (2004), ‘Gümüşhane yakın yörelerindeki Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu’nun çökel özellikleri ve birikim koşulları’ isimli doktora çalışmasında, Gümüşhane yöresinde çok sayıda lokasyonda Liyas yaşlı birimlerden Ölçülü Stratigrafik Kesitler almış, birimi en iyi yüzeyleme verdiği Şenköy yöresine izafeten ‘Şenköy Formasyonu’ olarak isimlendirilmiştir.

Gültekin vd. (2005), Aşağı Değirmendere havzasındaki suların kalitesini incelemiş ve havzada bulunan suların hidrokimyasal fasiyesleri bakımından “kalsiyum bikarbonatlı” sular sınıfında yer aldığı ve Yanlıca mineralli suyunda Selenyum (Se) ve Antimuan (Sb), Akoluk kaynağında ise Kurşun (Pb) ve Krom (Cr) değerlerinin standartlardaki limit

değerlerin üzerinde olduğunu saptamışlardır. Çalışmada Değirmendere suyunun çok kirlenmiş su sınıfında olduğunu ve Değirmendere Vadisindeki yeraltısularının ise pH, TDS, Cl,  $SO_4^{-2}$ ,  $NO_2$  ve  $NO_3$  miktarına göre yüksek kaliteli su sınıfında olduklarını belirlemişlerdir.

Dokuz (2011), yaptığı çalışmada, Köse Kompleks Granitoyidi'nin granit, granodiyorit ve mikrogranodiyoritten oluştuğunu ifade ederek kompleks içinde yer alan graniti 307my, granodiyoriti 322-318my olarak yaşlandırmıştır.

Gültekin vd. (2012), Trabzon İli'ndeki suları Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kriterleri'ne göre değerlendirmiş ve suların bir çok parametre açısından yüksek kaliteli sular sınıfında iken, genellikle  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $PO_4^{-3}$ ,  $CN^-$ , Cu, Pb, Mn ve KOİ parametreleri açısından az kirlenmiş, kirlenmiş ve çok kirlenmiş su sınıfında olduğu ve sulardaki kirliliğe tarımsal faaliyetlerin ve çevresel atıkların neden olduğunu belirtmişlerdir.

Akbulut vd. (2014), Gümüşdamla Yayla (Kelkit- Gümüşhane) Pb-Zn±Au±Ag cevherleşmesinin petrografik özelliklerini ortaya koymuş, cevher mineral parajenezi pirit, kalkopirit, sfalerit, galen altından, kuvars ve kalsit mineralinden oluştuğunu, volkaniklerin mineral kimyasına göre klinopiroksenlerin ojit bileşiminde olduğu, cevher minerallerin mineral kimyasına göre cevherleşmenin magmatik kökenli olduğunu belirlemişlerdir.

Akbulut vd. (2015), Ünlüınar (Kelkit, Gümüşhane) Zn-Pb-Cu±Au cevherleşmesinin jeolojik, jeokimyasal ve kökensel özelliklerini ortaya koymuştur. Cevherleşmenin Şenköy Formasyonuna ait bazaltik andezitler içinde geliştiğini ve cevherleşme parajenezinin oluşum sırasına göre pirit, kalkopirit, sfalerit, galen, altın, kuvars ve kalsit olarak tespit edildiğini belirtmişlerdir. Sıvı kapanım çalışmalarına göre cevherleşmenin oluşum sıcaklığının 80-280°C arasında değiştiğini, kükürt izotop termometresine göre ise cevherleşmenin oluşum sıcaklığının ortalama 264°C olduğunu belirlemişlerdir.

Tahmasebzadeh Bastam (2014), Değirmendere (Trabzon) Havzası'nda yaptığı çalışmada sularda yüksek olan Zn, Br, Sr ve Ba elementlerinin varlığını tespit etmiştir. Bu elementlerin sulara altere andezit, tuf, basalt ve volkanik breş türü volkanik kayalardan geçmiş olabileceğini belirtmiştir. Kaynak sularına  $Na^+$ , plajyoklasların ayrışması ve iyon değişimi sonucu,  $Mg^{+2}$ 'un kaynağının ise kayalardaki ferromagnezyen minerallerden karıştığını belirlemiştir.

Uslu (2014), Gümüşhane İli'ndeki suları Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kriterleri'ne göre değerlendirmiş ve suların çıktığı yerlerde su-kayaç



etkileşimi ile Fe, Ni, Cd, Pb, Zn ve Cu gibi elementlerin sularda zenginleştiğini belirtmiştir. Maden atıklarının veya endüstriyel atıkların sulara karışması ile bu elementlerin sularda artış gösterdiğini, bazı su örneklerinin içme ve kullanma suyu açısından iyi sular sınıfında olduğunu ifade etmiştir.

Sipahi ve Uslu (2016), Gümüşhane il merkezi içme sularının fiziksel (bulanıklık, renk, koku, tat, pH ve iletkenlik) ve jeokimyasal (Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Al, K,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , Fe, Cu, Co, Ni, Zn, Cd, Pb ve Cr) karakterlerini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, suların alındığı kaynakların su-kayaç etkileşimlerini de incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmalar neticesinde, Gümüşhane il merkezi içme ve kullanma sularının iyi sınıf sular kategorisinde olduğunu ortaya koymuşlardır.

Gündoğdu vd. (2017) Gümüşhane yöresinde bazı akarsuların (Demirören, Tandırlık, Süngübayır-Söğütağıl, Kaletaş-Balıca, Dölek-Kabaköy-Yitirmez, ve Arzular) florid konsantrasyonlarını ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, çalışma sonucunda, florür konsantrasyonlarının 0.12 ile 9.95 mg/l arasında değiştiğini ve bazı sahalarda florür değerlerinin limit değeri aştığını tespit etmiştir. Bu durumu florür değerlerini bol apatit mineralleri içeren magmatik kayalar ile ilişkilendirmişlerdir.

Vural ve Gündoğdu (2017), Gümüşhane yöresinde Akgedik, Düğün yazı, Nazlıçayır, Beyçam ve Gökdere dere sularının florür konsantrasyonlarını incelemiş ve 0.19 ile 9.87 mg/l (ortalama 3.78 mg/l) arasında olduğunu tespit etmiştir. Florür değerlerini bol apatit mineralleri içeren magmatik kayalar ile ilişkilendirmişlerdir.

Vural vd. (2017) Sarıçicek ve yakın çevresinin (Gümüşhane) alterasyon alanının yüzey suları üzerindeki potansiyel ağır metal risklerini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, bölgeden akan yüzey suyunun Mn, Ba, Sr, As ve Hg gibi bazı ağır metallerden etkilendiğini ve bu nedenle, alterasyon alanlarının yüzey sularındaki ağır metal kirlenmesine daha fazla dikkat edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Akaryalı vd. (2018), Tekke (Gümüşhane) yöresinde Gümüştaş Madencilik'e ait işletme sahası, cevher stok ve atık depolama alanlarında asit maden drenajı oluşumunu belirlemeye yönelik işlemler yapmış ve asit maden drenajı gelişme potansiyeli ile muhtemel asit maden drenajı gelişmesi durumunda alınacak tedbirleri ortaya koymuştur. Maden sahasından alınan numuneler üzerinde tüm kayaç jeokimyası, temas sızıntı testleri ve asit-baz testleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar neticesinde, söz konusu alanda kısa dönem içerisinde asit kaya drenajı potansiyelinin gerçekleşmeyeceğini sonucuna

varmışlar, ancak, maden işletme alanında, uzun sürelerde muhtemel asit maden drenajı oluşumundan kaynaklanacak çevre kirliliği için de ek tedbirler ortaya koymuşlardır.

Gündoğdu vd. (2018), Gümüşhane ili Şiran yolu vadisi boyunca mevcut bazı derelerde, hem insan aktivitelerinden hem de maden sahalarından kaynaklanan su kirliliğinin varlığını ve boyutunu araştırmıştır. Araştırmacılar, belirlenen istasyonlardan dere suyu numunesi toplamış ve su kalitesini ortaya çıkarmak için bazı fizikokimyasal para-metreler açısından analizlerini gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında suların fiziksel ve kimyasal özellikleri ortaya konmuştur. Araştırmacılar, elde ettikleri ilk bulgulardan, su kalite parametreleri açısından numunelerin içeriklerinin TS 266, WHO ve EPA'ya göre yüzey suları için belirlenen sınır değerlerin genelde altında kaldığını, ancak bazı numunelerde insan aktivitelerinden ve doğal jeolojik kayaç ve topraklardan kaynaklanan kirlenmeye maruz kaldığını tespit etmiştir. Bu durumun, çalışılan bölgelerde özellikle yoğun antropojenik faaliyetlerin gerçekleştirildiğine işaret ettiğini belirtmiş ve genel olarak ciddi ağır metal kirliliğine rastlandığını tespit etmişlerdir.

Bulut vd. (2018), Gümüşhane ili Harşit Çayı boyunca belirlenen istasyondan alınan su numunelerinin iyon seçici elektrot (ISE) ile florür içeriklerini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, florür içeriklerinin 0.14–9.33 mg/l ( $=1.35$  mg/l ve  $s=2.74$  mg/l) aralığında olduğunu ve bazı istasyonlardaki florür içeriğinin sınır değerlerinin üzerinde bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar bu durumu başlıca evsel atıkların ve ayrıca Gümüşhane ilinin madensel bir bölgede yer alması ve bu bölgede zengin asidik magmatik kayaçlar içerisinde apatit minerallerinin bolca bulunması sonucuna bağlamışlardır.

Vural vd. (2018), Büyük Çit Deresi'nde (Torul) çalışmalar yapmış ve dere suyunun fiziko-kimyasal özelliklerini ortaya koymuştur. Fiziksel parametreler açısından BüyükÇit Deresi'nin içme suyu kalitesine sahip olduğunu, Piper diyagramına göre ise karma sular sınıfında yer aldığını ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, suya risk oluşturabilecek metal içeriğinin izin verilen sınırların altında olduğunu ancak kurşun için sadece bir risk noktası olabileceğini ifade etmiş, sonuç olarak, Büyük Çit Deresi'nin su kalitesinin fiziko-kimyasal yönünden, içme suyu standartlarına uygun olduğunu belirlemiştir.

Vural vd. (2018) Gökdere-Beyçam (Gümüşhane) drenaj ağının fiziko-kimyasal karakterizasyonunu ortaya koymuştur. Fiziko-kimyasal parametreler açısından Gökdere-Beyçam drenaj şebekesinin sularının Mg-HCO<sub>3</sub> tipi ve içme suyu kalitesine sahip olduğu, suya risk oluşturabilecek metal içeriğinin ise kabul edilebilir değerlerin altında yer aldığı tespit edilmiştir.

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Yöntem ve Materyaller**

Kelkit ve Köse (Gümüşhane) ilçe merkezlerindeki içme suyu kaynakları ve su depolarından alınan su numunelerinin, hidrojeokimyasal özellikleri ile geçtikleri litolojilerle olan ilişkileri belirlenmiştir. Bu kapsamda alınan numunelerden bulanıklık, renk, tat, koku, iletkenlik ve pH parametreleri ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra jeokimyasal özellikleri (iz ve potansiyel toksik element içerikleri) ve bazı önemli majör katyon-anyon değerleri belirlenerek kimyasal açıdan irdelenmiştir. Bu amaçla arazide, su ve kayaç örneğinin alınması belirli standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler geçtikleri litolojiler ile korele edilerek, ilişkileri yorumlanmaya çalışılmıştır. Söz konusu çalışmalar arazi, laboratuvar ve büro olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

### **2.2. Arazi Çalışması**

Bu aşamada ilk olarak hedef sahalar belirlenmiş ve ilgili alanların literatür bilgileri (yayınlar, haritalar vb.) derlenmiştir. Arazi çalışmaları Şubat 2019 tarihinde başlamış, Mayıs 2019 'da tamamlanmıştır. Örnek alınan lokasyonlar için Macellan marka GPS cihazı kullanılarak, numune alınan koordinatlar işlenmiştir. Alanda yüzeyleme veren birimlerin mevcut jeoloji haritaları revize edilerek petrografik inceleme amaçlı örnekler alınmıştır. Yine, bu çalışmalarla eş zamanlı olarak, belirlenen lokasyonlardan hidrojeokimyasal analizler için, içme suyu numuneleri derlenmiştir (Şekil 2.1).

### **2.3. Laboratuvar Çalışmaları**

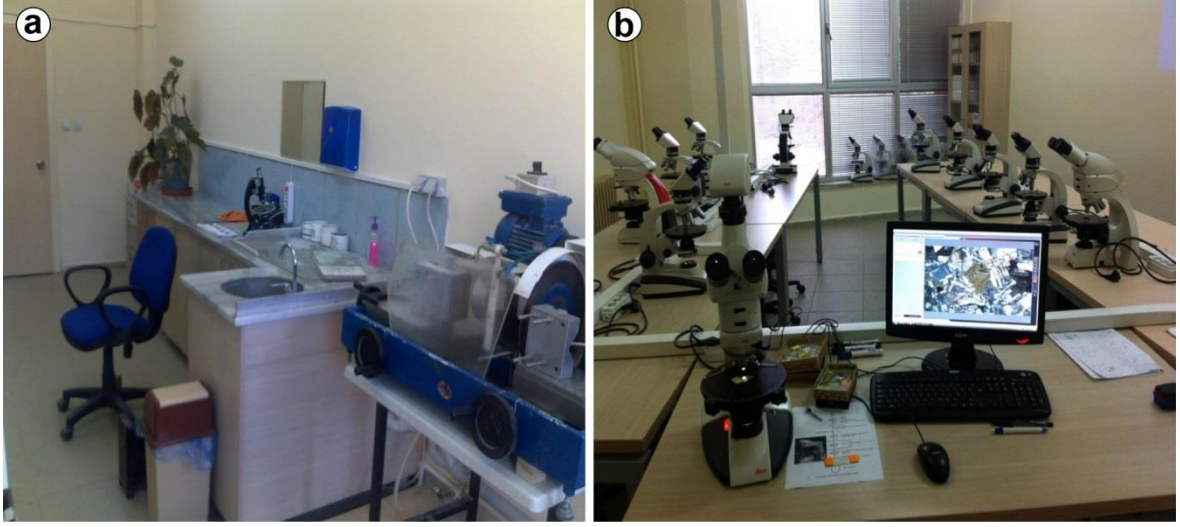
#### **2.3.1. Mikroskopik Tayinler**

İnceleme alanlarından derlenen kayaç örneklerinin, mineralojik ve petrografik tayinlerine yönelik ince kesitler, Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ince kesit hazırlama laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 2.1. Çalışma alanlarında (a) Çeşme (Kelkit), (b) Su deposu (Kelkit), (c) Cami şadırvanı (Köse) ve (d) Cami çeşmesinden (Ünlüpınar-Kelkit) su numunelerinin alınması.

Alınan kayaçlar 0.5x2x4 cm boyutundaki plakalar şeklinde kesilmiş, bir yüzeylerinin pürüzlülükleri giderilerek 1 mm kalınlığındaki 2.5x5 cm boyutundaki cam üzerine kanada balzamu kullanılarak yapıştırılmıştır. Cam üzerine yapışmış olan plaka, PetroThin (MA381450) marka cihazda aşındırılarak 0.025 mm kalınlığa kadar inceltilmiş ve petrografik tayin için hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan kesitler, Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarı'ndaki LEICA DM-EP marka mikroskopta ayrıntılı olarak incelenmiştir. Mineral dağılımları ve dokusal özellikleri ortaya konan örneklerin petrografik adlandırmaları yapılarak önemli olanlardan, LEICA DFC295 marka kamera ile mikro fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. (a) Petrografik kesit yapımında kullanılan PetroThin marka cihazın görünümü. (b) Alınan kayaç numunelerinden yapılan petrografik incelemeler.

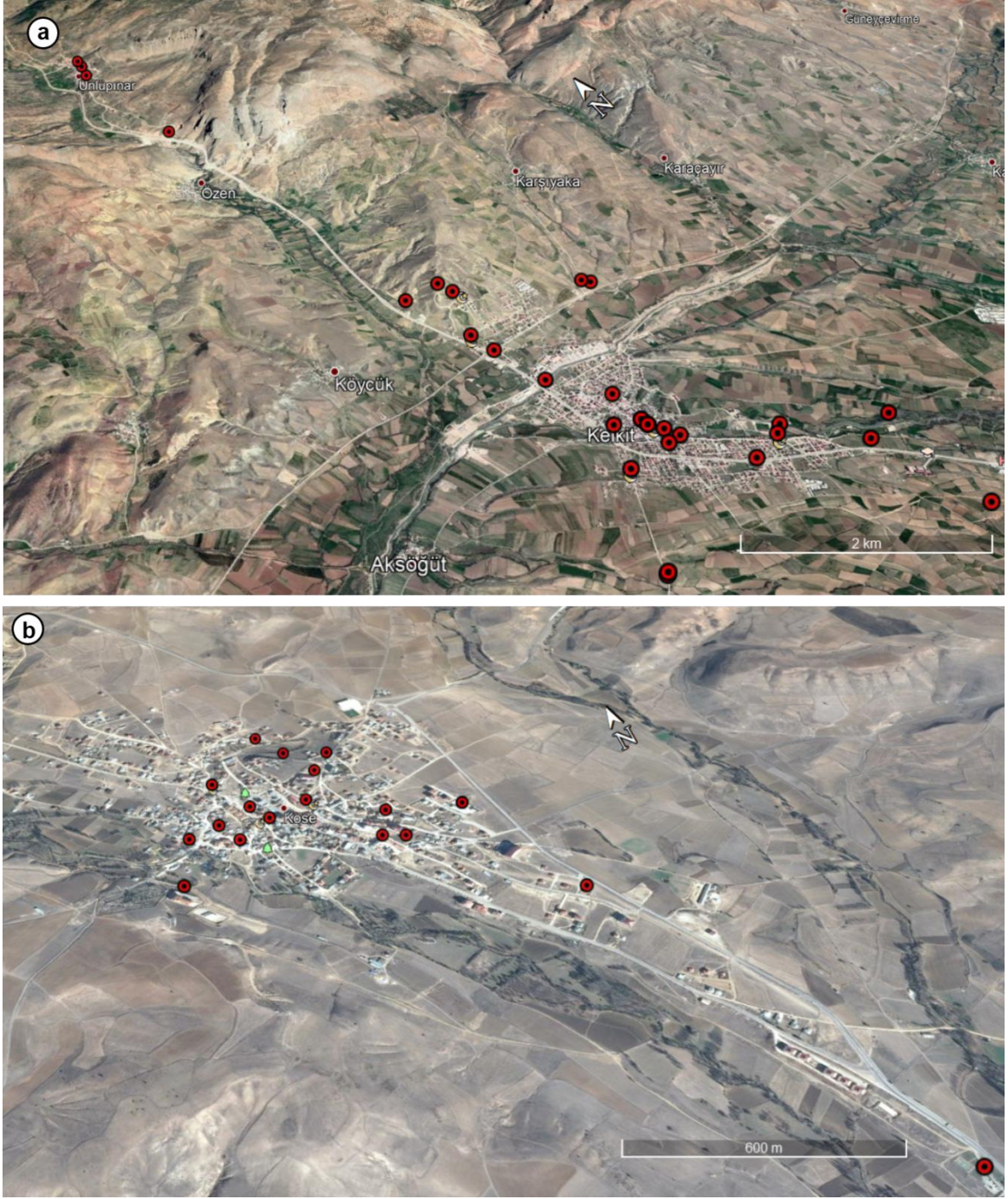
### 2.3.2. Su Analizleri

Kelkit ve Köse (Gümüşhane) ilçe merkezi ve yakın çevresinde bulunan ve içme suyu olarak kullanılan ve farklı türde kayaçların bulunduğu kaynaklardan (su deposu, artezyen kuyu, çeşme vb.) toplam 50 adet su numesi alınmıştır (Şekil 2.3). Alınan her bir numune için, örnek alım şişesi en az 3 kez örnek suyu ile çalkalanıp, içerisinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde kapakları kapatılmıştır. Su örnekleri şişelenip etiketlendikten sonra +4°C’de muhafaza edilmiştir.

Hidrojeokimyasal (majör iyon ve iz metal) analizleri Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı’nda yapılmıştır. Laboratuvar çalışmaları kapsamında inceleme alanlarından alınan su örnekleri üzerinde katyon (Ca, Mg, Na, K), anyon ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) ve iz metal (Cu, Fe, Al, Cd, Mn, Ni, Co, Pb, Cr, Zn) analizleri gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, su örneklerinin fiziksel özelliklerinin de belirlenmesi amacıyla pH, iletkenlik ve sertlik ölçümleri YSI Procomm II Instruction Manuel multiparameter cihazı ile yapılmıştır.

Sülfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) analizleri TS 5095 (1987) Türbidimetre yöntemine, klorür ( $\text{Cl}^-$ ) içerikleri TS 4161 (1998) titrimetrik yöntemine, bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) analizi TS 3790 (1988) titrimetrik yöntemine ve metal element konsantrasyonları (Cu, Fe, Al, Cd, Mn, Ni, Co, Pb, Cr, Zn, Ca, Mg, Na, K) ise MP-AES (Mikrodalga Plazma-Atomik Emisyon Spektrometrisi) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir.





Şekil 2.3. Su örneklerinin alındığı noktaların Google Earth uydu görüntüsü. (a) Kelkit İlçe merkezi ve yakın civarından alınan numuneler. (b) Köse İlçe merkezinden alınan örnekler.

Sülfat ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) analizinin Türbidimetre cihazında uygulanış prensibi kısaca şöyledir; Sülfat iyonları suda çok az çözünen baryum sülfat oluşturmak üzere baryum klorür ile reaksiyona girer. Sonuçlanan bulanıklık Nefelometrik Türbiditik Unit (NTU) birimi cinsinden fotometrik olarak ölçülür. Cihazdan okunan Nefelometrik Türbiditik Unit (NTU)

değerleri, standart kalibrasyon grafiğinin doğrusal denkleminde yerine konulur ve örneğin konsantrasyonu mg/l birimi olarak belirlenir. Hesaplanan bulanıklık değeri ne kadar büyük çıkarsa çözelti sülfat yönünden o kadar derişik olarak yorumlanır.

Su numunelerinin klorür ( $\text{Cl}^-$ ) tayini standart gümüş nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) çözelti titrasyonu ile yapılmıştır. 2.395 g  $\text{AgNO}_3$  distile suda çözülerek 1 litreye tamamlanır. 0.0141 N NaCl çözeltisi ile standartize edilerek saklanır. 25 mL NaCl çözeltisi erlenmayere alınarak üzerine 1 mL  $\text{AgNO}_3$  indikatörü eklenir ve üzeri  $\text{AgNO}_3$  çözeltisi ile doldurulur. Çözeltinin rengi kiremit kırmızısına dönene kadar işleme devam edildi ve elde edilen veriler ile aşağıdaki formül kullanılarak klorür miktarı hesaplanır:

$$\text{Klorür } (\text{Cl}^-) \text{ meq/l} = \frac{(\text{V}_{\text{AgNO}_3} - \text{VB}) \times \text{N}}{\text{Örnek hacmi (ml)}} \times 1000$$

$\text{V}_{\text{AgNO}_3}$  = Örnek için harcanan gümüş nitrat, mL

VB = K ör için harcanan gümüş nitrat, mL

N = Gümüş nitrat çözeltisinin Normalitesi

$\text{NaCl (mg/l)} = \text{Cl} \times 1,65 \text{ (mg/l)}$

Su numunelerinin bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) toplam alkalinite miktarı, hidroksit, karbonat ve bikarbonat iyonlarının asit bağlama gücü olarak tanımlanabileceğinden, uygun indikatörler eşliğinde  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile yapılacak titrasyon sonucunda elde edilmektedir. Numune üzerine fenolftalein indikatörü eklendiğinde ortamdaki hidroksit ve karbonat iyonu derişiminden kaynaklanan pH değerinden dolayı renk pembeye dönecektir. Numuneye fenolftalein indikatörü eklendiğinde renk değışimi olmaz ise ortamda sadece bikarbonat alkanitesi vardır. Daha sonra ortama eklenecek olan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile  $\text{CO}_3^{2-}$  iyonları  $\text{HCO}_3^-$  iyonlarına dönüşeceğiinden ortamın pH'ı düşer ve çözelti renksiz bir hâl alır. Metiloranj indikatörünün pH'ın 4.5 olduğu anda sarı renkten soğan kırmızısı renge dönüştüğünden titrasyonda indikatör olarak kullanılır. Karbonat iyonları üzerine  $\text{H}_2\text{SO}_4$  eklenmesi ile bikarbonat iyonu eldesi ve  $\text{H}_2\text{SO}_4$  eklenmesi ile bikarbonat iyonlarından karbonik asit elde edilmesi ile toplam alkanite tespit edilmiş olur.

Alkalinite aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmakta ve birimi mg/l  $\text{CaCO}_3$  olarak ifade edilmektedir:

$$\text{Toplam alkalinite} = (\text{T} \times \text{N} \times 5000) / \text{V}$$

T = ikinci dönüm noktası sonuna (fenolftalein+metiloranj) kadar sarf edilen toplam  $H_2SO_4$  miktarı (ml).

N =  $H_2SO_4$  çözeltisinin normalitesi.

V = Numune hacmi, ml.

Su numunelerinin metal analizleri, MP-AES cihazında gerçekleştirilmiştir. Öncelikle; berrak sıvı numuneler cihaza verilmeden önce cihaza her bir metal için standart kalibrasyon grafikleri çizdirilmekte, bunun için her bir elementin 1000 mg/l'lik stok çözeltileri uygun oranlarda seyreltilerek artan derişimlerde bir seri (10'ar adet) multi element içerikli standart çözeltiler hazırlanmaktadır. Bu çözeltiler içerdikleri metaller açısından cihazda ölçülerek sinyal (count) değerleri elde edilmektedir. Sinyale karşı konsantrasyon grafikleri çizdirilerek her bir metal için  $y = mx + n$  doğrusal denklemler türetilir. Daha sonra numuneler cihaza tek tek verilerek numuneler için de sinyal değerleri üretilerek, ilgili doğru denklemlerinde sinyal değerleri yerine konup derişimler cihaz tarafından otomatik olarak hesaplanır. Cihazın çalışma şartları ve sistemin analitiksel karakteristikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. MP-AES cihazının çalışma şartları ve sistemin analitiksel karakteristiği

Element	Dalga boyu (nm)	Sisleştirici Basıncı (kPa)	Kararlılık ve numune alma süresi (s)	Peristaltik pompa hızı (rpm)	LOD <sup>1</sup> (µg/l)	LOQ <sup>2</sup> (µg/l)	BSS <sup>3</sup> (%)
Al	396.152	240	10	15	1.4	4.7	4.9
Cd	228.802	140	10	15	0.3	1	0.4
Co	340.512	240	10	15	0.1	0.3	0.7
Cr	425.433	240	10	15	0.2	0.6	1.3
Cu	324.754	240	10	15	0.3	1	0.6
Fe	371.993	120	10	15	1.6	5.3	1.2
Mn	403.076	240	10	15	0.4	1.3	0.7
Ni	352.454	240	10	15	1	3	0.9
Pb	405.781	240	10	15	0.4	1.3	1.5
Zn	213.857	140	10	15	1.2	4	1
Na	588.995	240	10	15	2.3	7.8	1.2
K	766.491	240	10	15	3.4	11.4	0.7
Ca	393.366	120	10	15	3.2	10.6	4.7
Mg	285.213	240	10	15	3.2	6.4	6.4

1-LOD: Gözlenebilme sınırı, 2-LOQ: Tayin sınırı, 3-BSS: Bağlı Standart Sapma



## **2.4. Büro Çalışmaları**

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular bu aşamada değerlendirilmiştir. Saha çalışmaları sırasında ve sonrasında hazırlanan haritalar, kesitler, petrografik ve kimyasal analiz sonuçları sayısal ortamda çeşitli paket programlar kullanılarak çizilmiş ve tablolar oluşturulmuştur. Su örneklerinden elde edilen veriler farklı tanımlama ve sınıflama diyagramları kullanılarak yorumlanmıştır. Ayrıca hazırlanan Piper diyagramları yardımı ile suların sınıflandırılması ve karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak elde edilen tüm veriler değerlendirilmiş ve Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kuralları'na göre tezin yazımı gerçekleştirilmiştir.

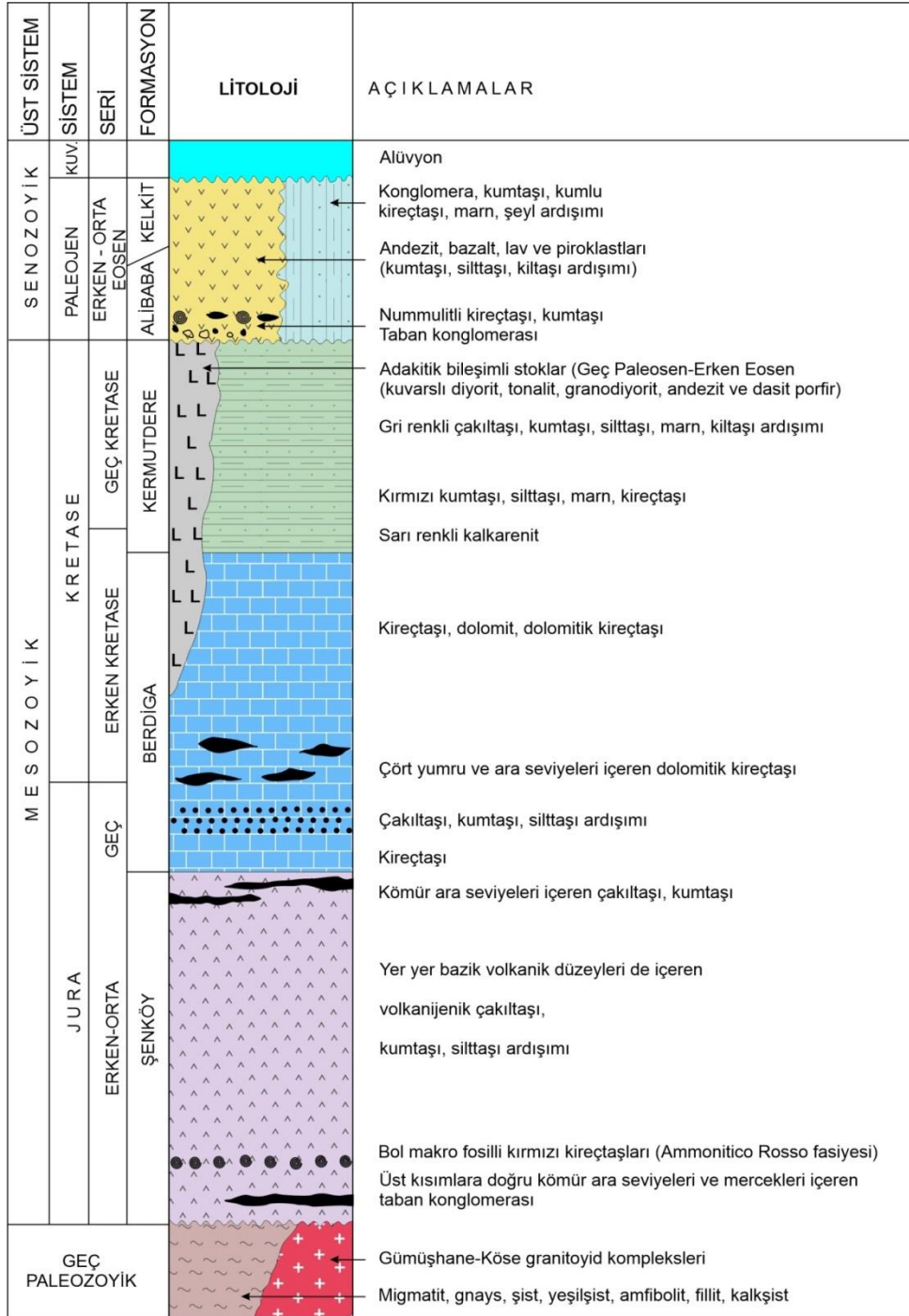
### 3. BULGULAR

#### 3.1. Stratigrafi ve Petrografi

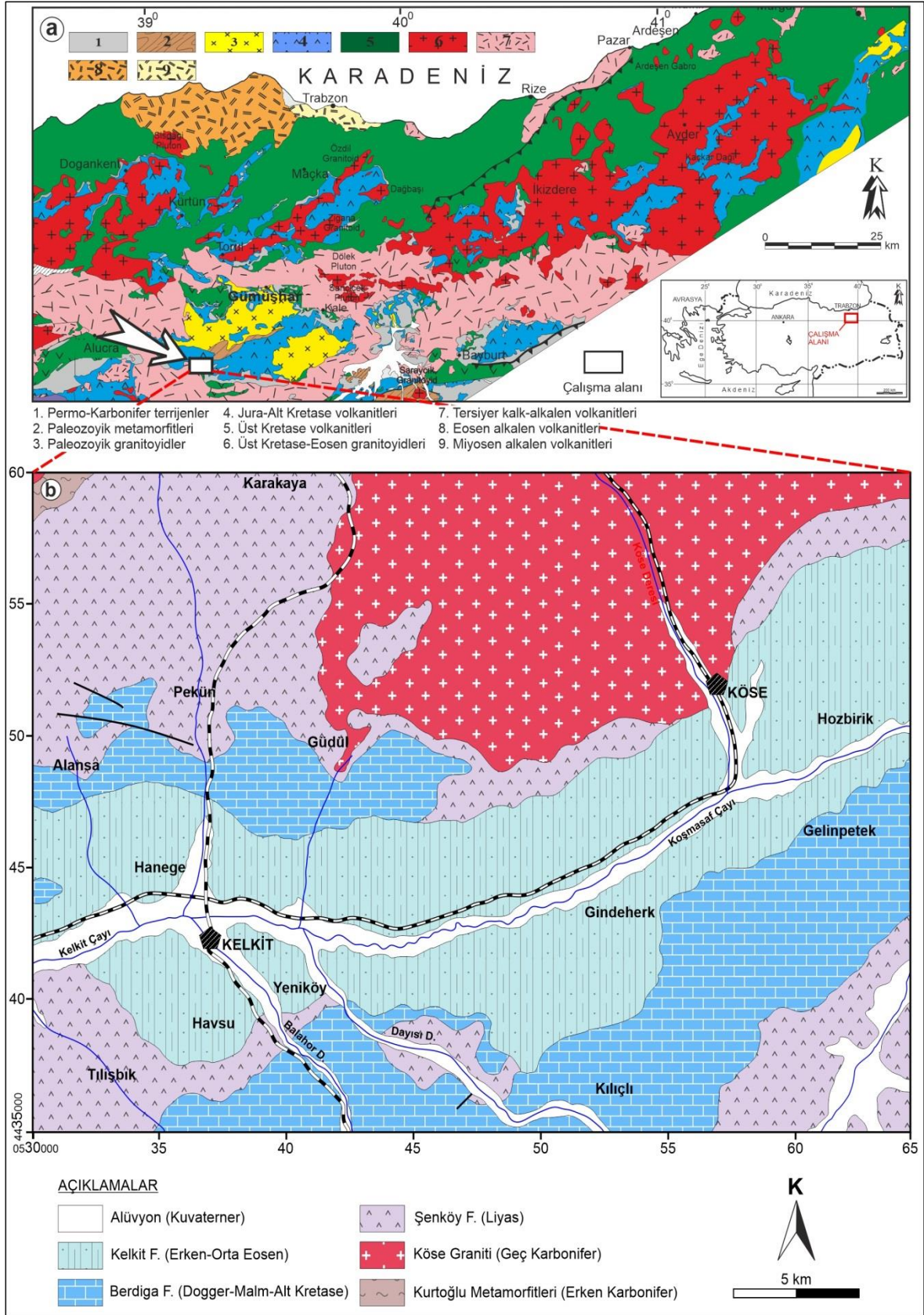
Türkiye'nin kuzeyinde yer alan ve Istanca, İstanbul ve Sakarya olmak üzere üç ana tektonik zona ayrılan Pontidler (Okay, 2008; Okay vd., 2014) içerdikleri farklı tektonik birimlerden dolayı “Batı Pontidler”, “Orta Pontidler” ve “Doğu Pontidler” olmak üzere üç farklı bölgeye ayrılmıştır. Doğu Pontidler, özellikle Üst Kretase’de belirgin farklılıklara dayandırılarak, volkanik kayaların hakim olduğu “Kuzey Zon” ve tortul kayaların yaygın olarak gözlendiği “Güney Zon” olmak üzere iki bölüme ayrılarak tanımlanmıştır (Özsayar vd., 1981; Güven, 1993). İnceleme alanının yer aldığı Doğu Pontidler’in güneyi genel olarak Üst Kretase öncesi farklı birimler tarafından temsil edilmektedir (Güven, 1993; Arslan vd., 1997). Güney zonda yer alan Gümüşhane ve civarında Kurtoğlu Metamorfikleri (Topuz vd., 2007, 2010) ve Gümüşhane-Köse granitoid kompleksleri (Tokel, 1972; Çoğulu, 1975; Yılmaz, 1976; Özdoğan, 1992; Topuz vd., 2010; Dokuz, 2011) temel birimleri oluşturmaktadır. Liyas yaşlı volkano-tortul seri ve Jura-Alt Kretase sığ platform karbonatları ise temel birimleri uyumsuz olarak örtmektedir (Pelin, 1977; Taslı, 1990; Kırmacı, 1992; Yılmaz, 2002; Şen, 2007; Kandemir ve Yılmaz, 2009; Saydam Eker vd., 2012). Şekil 3.1). Karbonatlar, güney zonunda sedimanter, kuzey zonda ise volkanik kayalardan oluşan Geç Kretase yaşlı birimler tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Bölgede geniş alanlarda mostra veren Eosen yaşlı volkanik ve volkano-sedimanter kayalar Geç Kretase birimlerini uyumsuz olarak örtmektedir (Güven, 1993; Arslan ve Aliyazıoğlu, 2001). Kelkit ve Köse (Gümüşhane) ilçe merkezlerini kapsayan inceleme alanında baskın litolojiyi konglomera, kumtaşı, marn, kumlu kireçtaşı ve şeyl ardışımından oluşan Erken-Orta Eosen yaşlı birimler oluşturmaktadır (Şekil 3.2). İnceleme alanı ve yakın çevresinde stratigrafik olarak gençten yaşlıya doğru aşağıdaki birimler gözlenmektedir.

- |   |  |
|---|--|
| - Alüvyon, Yamaç molozu (Kuvaterner)    | - Şenköy Formasyonu (Liyas)            |
| - Kelkit Formasyonu (Erken-Orta Eosen)  | - Köse Graniti (Geç Karbonifer)        |
| - Berdiga Formasyonu (Jura-Alt Kretase) | - Kurtoğlu Metamorfiti (E. Karbonifer) |

Kelkit yerleşim merkezi ve civarından alınan su numuneleri genel olarak Alüvyon, Kelkit ve Berdiga Formasyonlarında yer alan kaynaklardan, Köse yerleşim merkezi ve civarından alınan su örnekleri ise Alüvyon, Kelkit Formasyonu ve Köse Graniti üzerinde yer alan kaynaklardan derlenmiştir. Çalışma alanında gözlenen birimlerin genel özellikleri ise aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 3.1. Gümüşhane yöresinin genelleştirilmiş dikme kesiti.



Şekil 3.2. (a) Doğu Pontidler'in jeolojisi ve çalışma alanının konumu (Güven, 1993'den değiştirilerek). (b) Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Güven, 1993).

### 3.1.1. Kurtoğlu Metamorfiti

Çalışma alanının KB kesiminde küçük bir alanda gözlenmekte olan metamorfik kayaçlar, Bölgede Gümüşhane Graniti'nin güney sınırı boyunca yüzeyleme vermektedir. Erken Karbonifer yaşlı Kurtoğlu Metamorfik Kompleksi genel olarak gnays, şist, fillit, migmatit ve amfibolit türü kayaçlardan meydana gelmektedir (Topuz vd., 2007, 2010). Metamorfik kompleks 2 farklı tektonik birimden meydana gelmekte olup, tabanda mavişist fasiyesinde gelişmiş fillit, serpantinit, metakarbonatlar ve mavişistlerden oluşmakta, üst kesimlere doğru ise yüksek sıcaklı-düşük basınç koşullarında gelişmiş birimler yer almaktadır (Topuz vd., 2007). Mikaşistler, ince taneli gnays ve metalökogranitlerden elde edilen pik P-T koşullarına göre birim  $\sim 650^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve 0.4 GPa basınç koşullarında metamorfizmaya uğramıştır (Topuz vd., 2007). Yine, birimden elde edilen 323, 329 ve 337 Ma Ar-Ar yaşları, Kurtoğlu Metamorfik Kompleksinin Erken Karbonifer döneminde metamorfizma geçirdiğini işaret etmektedir (Topuz vd., 2007). Gerek çalışma alanında, gerekse Gümüşhane yöresinde temel birimi oluşturmakta ve Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane-Köse graniti tarafından kesilmektedir.

### 3.1.2. Köse Graniti

Yüksek-K'lu kalk-alkalin peralümin granitlerden meydana gelen Köse Graniti (Dokuz, 2011), Doğu Pontidler'in Hersiniyen temelini teşkil eden bir diğer önemli kütleyi oluşturmaktadır. Çalışma alanında, Köse ilçe merkezi ve kuzey kesimleri boyunca yayılım göstermekte olup, genellikle sarp topografyası ile dikkat çekmektedir. Genel olarak hornblend-biyotit granodiyoritler olarak bilinen ve Gümüşhane Graniti ile benzer özellikler sergileyen Köse graniti, Kurtoğlu Metamorfik Kompleksini keserek yerleşmiştir (Yılmaz, 1972, 1976). Açık ve pembemsi renk tonları ile dikkat çeken granitler bol oranda süreksizlikler içermekte ve yer yer tamamen ayrışarak arenalaşma göstermektedir (Şekil 3.3). Petrografik olarak Köse plütunu, hibrit granüler kayaçlar, mikrogranüler magmatik anklavlar, mafik ve porfiri dayaklar ve milonitlerden oluşan iç kütle ile monzogranitten oluşan dış kütle olmak üzere iki farklı bileşim sunmaktadır (Dokuz, 2011). Çatlaklar boyunca belirgin yüzeysel ayrışma ve killeşme izlenir, buna ek olarak yüzeysel alterasyondan dolayı arenalaşma meydana gelmiştir.



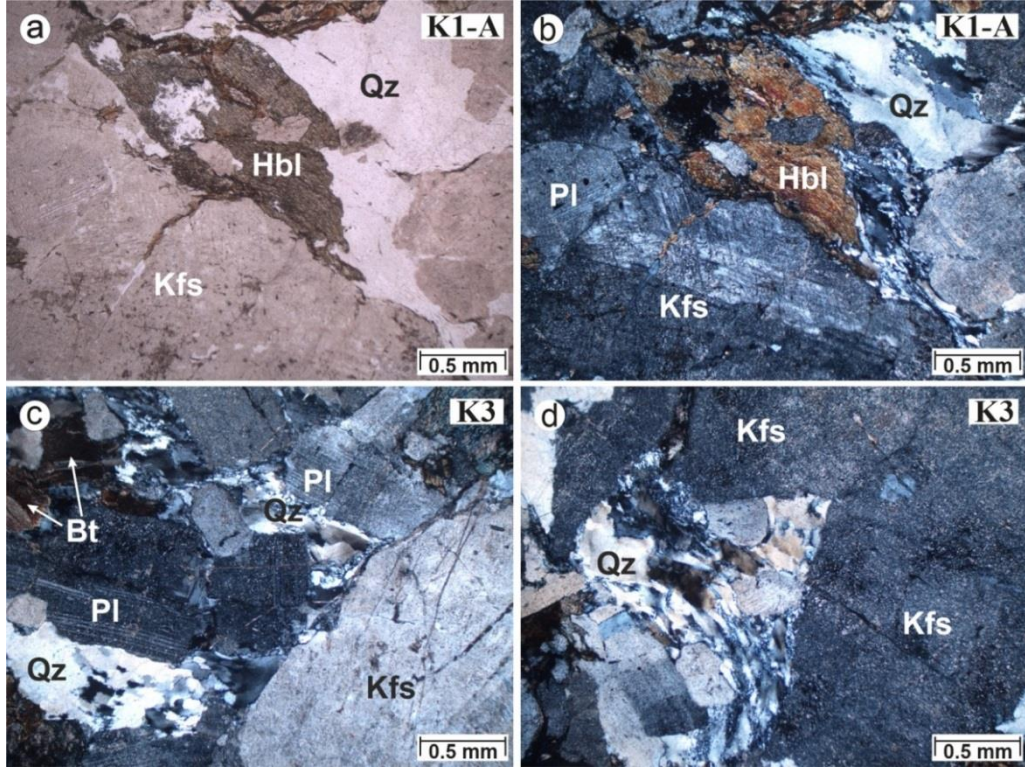


Şekil 3.3. Köse ilçe merkezinin kuzey kesimi boyunca yüzeyleme veren bol çatlaklı ve yer yer ayrıışmış granitlerin görünümü.

Granitlerde gerçekleştirilen petrografik çalışmalarda, örneklerin granüler doku gösterdikleri belirlenmiş olup, başlıca K-feldispat, kuvars, plajiyoklas, hornblend ve biyotit mineralleri içermektedir (Şekil 3.4).

Kuvars mineralleri kayaç içerisinde yaklaşık % 25-30 civarında bulunmaktadır. Renksiz ve optik engebese düşüktür. Büyük bir çoğunluğu çatlaklı ve kırıklı bir şekilde ve deforme olmuş halde gözlenmektedir. Bazı kristallerde yer yer dalgalı sönme gösterir. Feldispat mineralleri arasında yeniden kristallenmiş mirmekitik dokulu polikristalin kuvarsların varlığı da göze çarpmaktadır. K-Feldispat çoğunlukla yarı özşekilli ve özşekilsiz olarak bulunurlar. Örneklerde renksiz, düşük röliyepli ve çoğunlukla ayrıışmış halde gözlenmektedir. Büyük bir çoğunluğunda serizitleşme ve yer yer killeşme görülmektedir. Genellikle çatlaklı olarak gözlenir. Düşük çift kırıcılığa sahip olup, genellikle grimsi tonlarda görülmektedir. Optik özelliklerine göre türlerinin ortoklas olduğu belirlenmiştir. Plajiyoklas çoğunlukla yarı öz şekilli olarak gözlenmektedir. Renksiz ve düşük optik engebeye sahiptir. Örneklerin tamamına yakınında serizitleşmeler izlenmektedir. Sınırları boyunca yer yer killeşmeler de görülmektedir. Deformasyon ve ayrıışmadan dolayı kristal ikiz sınırları belirginliğini kaybetmiş olduğundan cins tayini yapılamamıştır. Hornblend (amfibol) kayaç içerisinde genellikle ayrıışmış şekilde görülür.

Ayrışmadan dolayı yeşil rengi ve pleokroizması pek belirgin değildir. Optik engebesi yüksek olup, çift yönlü dilinimi belirgindir. Biyotit kahverengi renkte ve kahverengi pleokroizma belirgindir. Optik engebeleri yüksektir. Dilinim izlerine göre paralel sönme gösterirler. Opak mineraller kayaç içerisinde küçük kristaller halinde, çok az miktarda ve dağınık şekilde gözlenmektedir.



Şekil 3.4. Köse Graniti'ne ait granit örneğinin mikroskop görüntüsü. (a) Granitlerde gözlenen Kfs, Qz ve Hbl mineraller birlikteliği ve (b) aynı alanın tek nikol görüntüsü. (c)-(d) Qz, Ksf, Pl ve Bt kristallerinin çapraz nikol görüntüleri (Kfs: K-feldispat, Qz: Kuvars, Hbl: Hornblend, Pl: Plajiyoklas, Bt: Biyotit).

Dokuz (2011) tarafından Köse Graniti'nde yapılmış detaylı çalışmalarda birim iç ve dış olmak üzere iki farklı bölüme ayrılarak incelenmiş olup, iç kesimlerin 322-318 My Ar-Ar (biyotit ve hornblend), dış kesimlerini oluşturan monzogranitlerin ise 306 Ma Ar-Ar (K-feldispat) yerleşim yaşı verdiği ortaya konmuştur. Yapılmış olan çalışmalar Köse plütonunun geç Erken Karbonifer ve Geç Karbonifer magmatizmasının çarpışma ortamında oluştuğunu göstermiştir (Dokuz, 2011).



### 3.1.3. Şenköy Formasyonu

Gümüşhane ve yakın civarında Şenköy Formasyonu, farklı araştırmacılar tarafından farklı isimler altında tanımlanmış olup, bunlar; Kartepe Formasyonu (Seymen, 1975), Hacıören Formasyonu (Pelin, 1977), Hamurkesen Formasyonu (Ağar, 1977) ve Zimonköy Formasyonu (Eren, 1983)'dur. Son olarak Kandemir (2004) tarafından Şenköy (Kelkit-Gümüşhane) yöresine atfen “Şenköy Formasyonu” olarak adlandırılmıştır.

Şenköy Formasyonu inceleme alanı ve yakın çevresinde geniş bir yayılım sunmaktadır. Birim, Köse Graniti üzerine bir nankonformite uyumsuzluk ile gelmekte, üstten ise masif kireçtaşları tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Genellikle koyu renklerde, mor, yeşilimsi gri renkli bazaltik kayalar ve piroklastlarından oluşmaktadır (Şekil 3.5). Birçok araştırmacı tarafından tipik rift çökelleri olarak tanımlanan birimde transgresyonlara bağlı gelişen tortul çökeline volkanik faaliyetler yer yer eşlik etmiş olup, volkano-tortul bir istif özelliği sunmaktadır (Ağar, 1977; Robinson vd., 1995; Dokuz ve Tanyolu, 2006; Şen, 2007; Kandemir ve Yılmaz, 2009). Birim bölgede kuvars ve kumtaşı çakıllarından oluşan taban konglomerası ve kömürlü ara seviyeler ile başlayıp, bol makro fosilli kırmızı kireçtaşları (Ammonitico Rosso fasiyesi) ile devam etmektedir.

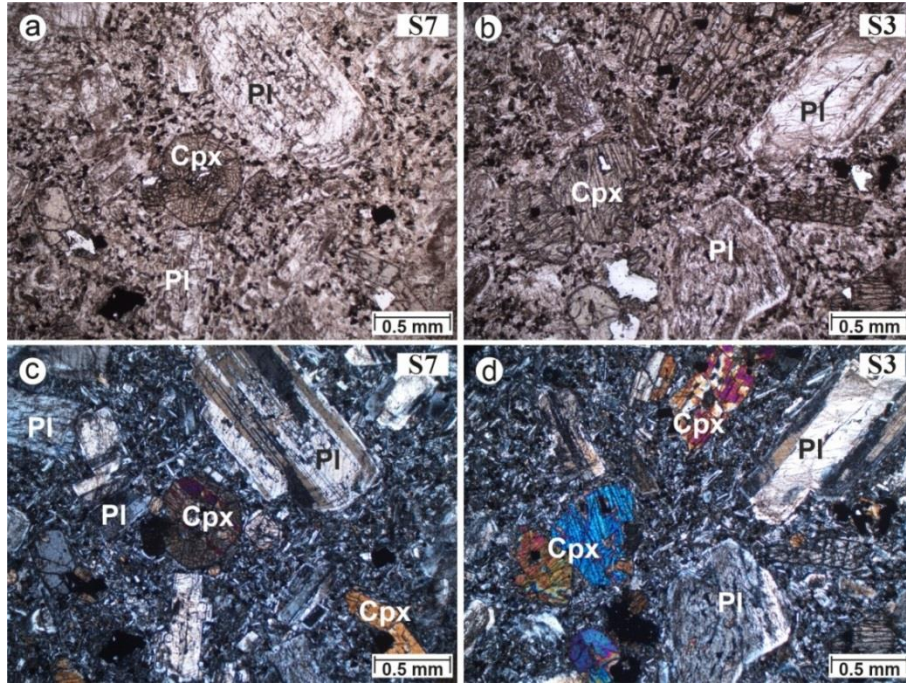


Şekil 3.5. Şenköy Formasyonu'na ait bazaltların görünümü (Yer: Kelkit-Şiran anayol üzeri).



Üst seviyelere doğru, çalışma alanında da yaygın gözlenen yer yer bazik volkanik seviyeler ile volkanojenik çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve marn ardışımı içermektedir. Birimin üst seviyelerine doğru Berdiga Formasyonu ile arasında kömürlü seviyeler de gözlenmektedir (Kandemir, 2004). Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu, Geç Paleozoyik yaşlı temel kayalarını uyumsuz olarak örtmektedir.

Formasyona ait bazalt örneklerinde gerçekleştirilen petrografik çalışmalarda, mikrolitik porfirik ve glomeroporfirik doku gösterdikleri belirlenmiş olup, başlıca plajiyoklas, klinopiroksen fenokristalleri ve opak mineraller içermektedir (Şekil 3.6). Plajiyoklas çoğunlukla yarı öz şekilli, yer yer ise öz şekilli olarak bulunmaktadır. Mikrokristalden iri kristalli porfirlere kadar değişik boyutlarda gözlenmektedir. Renksiz ve düşük optik engebeye sahiptir. Kristallerde ikiz sınırları (albit ikizlenme) belirgin olarak izlenebilmektedir. Yapılan cins tayinlerinde türlerinin genel olarak labrador ( $An_{58-64}$ ), çok az ise bitovnit ( $An_{72-76}$ ) olduğu belirlenmiştir. Piroksen kristalleri irili ufaklı, çoğunlukla öz şekilsiz kristaller halinde bulunur. Hafif kahverengimsi renkler göstermekte olup, optik engebesi belirgindir. Kırmızı ve mavinin canlı renk tonlarında çift kırıcılığa sahiptir.



Şekil 3.6. Şenköy Formasyonu'na ait bazalt örneğinin mikroskobik görünümü: (a) ve (b) Mikrolitik hamur içerisinde yarı özşekilli plajiyoklas ve klinopiroksen fenokristalleri. (c) ve (d) Aynı örneklere ait çapraz nikol görüntüleri. Pl: Plajiyoklas, Cpx: Klinopiroksen.

Sönme açısı tayini yapılabilen kristaller yaklaşık 37-41° eğik sönme açısı verir. Opak mineraller genellikle küçük kristaller halinde ve dağınık bir şekilde gözlenirler. Özellikle mafik bileşimli mineraller ile bir arada bulunur. İkincil olarak karbonatlaşma, mafik minerallerden itibaren kloritleşme ve plajiyoklaslardan itibaren gelişmiş yer yer serizitleşmeler gözlenmektedir. İri kristalli porfirler dışında kalan camsı kısmı hamur malzemesi oluşturmaktadır. Genellikle plajiyoklas, piroksen, opak mineraller gibi porfirik minerallerin mikro kristallerinden meydana gelmiş olup, mikrolitik dokuda gözlenirler.

#### 3.1.4. Berdiga Formasyonu

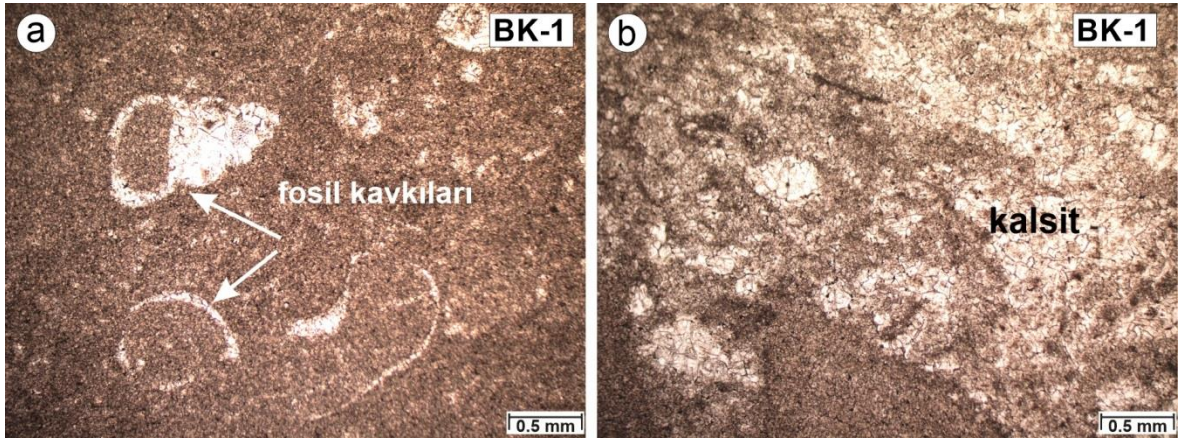
Alucra'nın güneydoğusunda, Berdiga Dağları boyunca en iyi şekilde izlenen birim, ilk olarak Pelin (1977) tarafından "Berdiga Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde kılavuz bir stratigrafik düzey oluşturan formasyon Açar (1977) tarafından Demirözü (Bayburt) dolayında Hozbirikyayla Kireçtaşı olarak adlandırılmıştır.

Berdiga Formasyonu çalışma alanının güney kesimleri boyunca geniş alanlarda yayılım göstermektedir. Bununla birlikte, inceleme alanının kuzeyinde, Pekün civarında masif tabakalı kireçtaşı blokları da yaygın olarak izlenmektedir (Şekil 3.7). Birim orta-kalın tabakalı, yer yer masif yapılı olup, taban seviyeleri dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Üst seviyelere doğru çakıltası, kumtaşı ve silttaşı ardışıkları içeren Berdiga Formasyonu, kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşı ile sonlanmaktadır. Birim içerisinde yer yer çört yumrularına rastlanır. Formasyon Jura-Alt Kretase yaşlı olup, çökme ortamı bakımından sığ denizel bir istif özelliği sunmaktadır (Pelin, 1977; Taslı, 1990; Kırmacı, 1992; Yılmaz, 2002; Saydam Eker vd., 2012). Arazide sert topografyası, kalın tabakalı ve masif yapısı, gri, kirli beyaz, sarımsı ve bej renkleri ile diğer birimlerden ayrıt edilir. Birim, Şenköy Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmekte ve yine Geç Kretase yaşlı Kermutdere Formasyonu tarafından uyumlu olarak üzerlenmektedir. Kireçtaşlarının petrografik incelemesinde, örneklerin allokem bileşeni olarak *Globotruncana sp.*, *Radiolaria sp.*, ve çeşitli pelajik foraminifer parçaları, ortokem bileşen olarak da mikrit (mikrokristalin kalsit çamur matriksi) içerdikleri belirlenmiştir (Şekil 3.8). Allokem bileşenlerden Biyoklastlar genellikle % 10'un altında bulunmakta ve dokusal olarak sığ-orta derin deniz ortamını yansıtmaktadır. İncelenen örneklerin Folk (1962) sınıflamasına göre çoğunlukla Biyomikrit kireçtaşı türünde olduğu tespit edilmiştir.





Şekil 3.7. Berdiga Formasyonu'na ait masif kireçtaşı bloklarının Pekün (Kelkit) beldesi güney kesimi boyunca görünümü

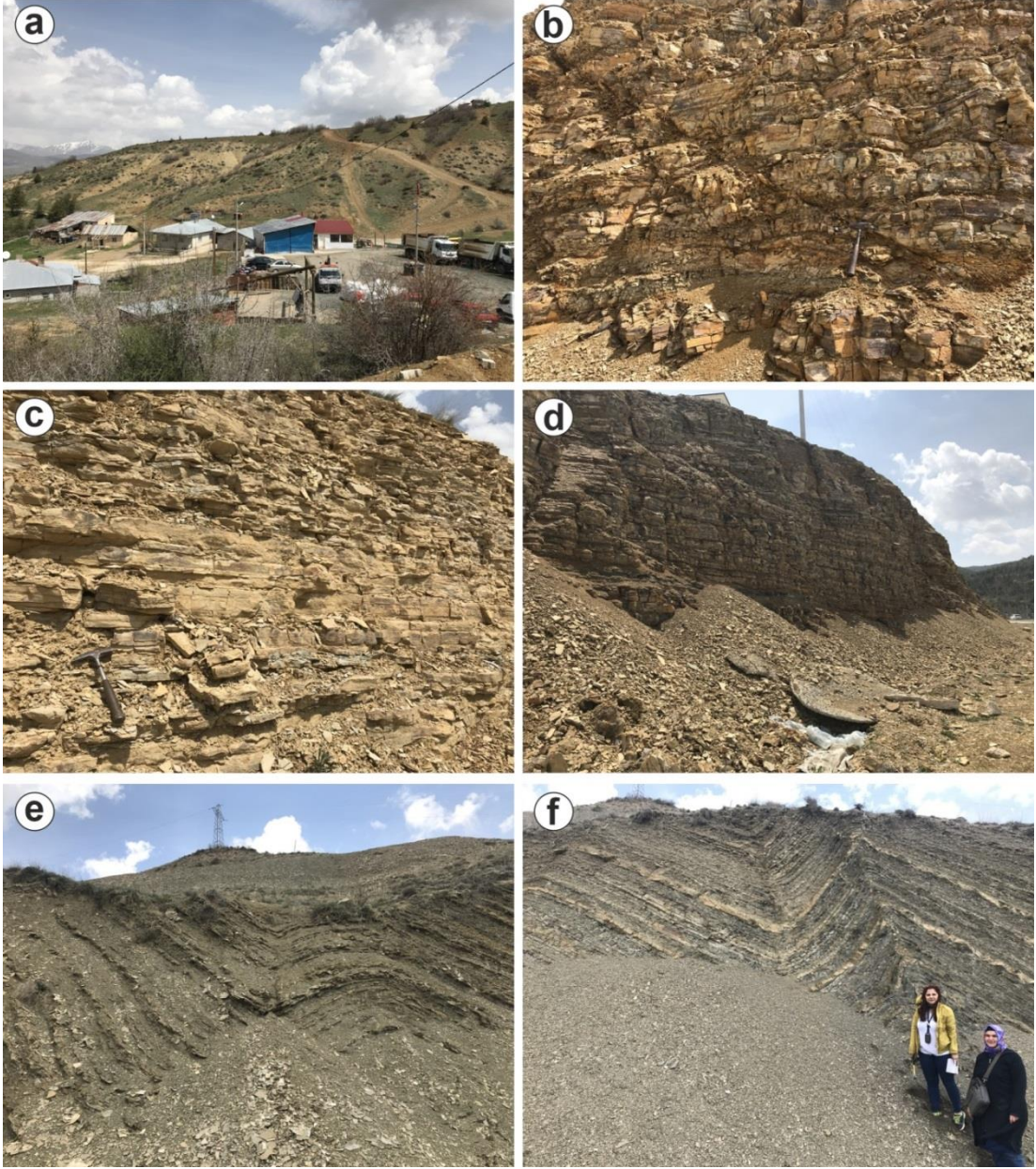


Şekil 3.8. Kireçtaşı el örneğinin mikroskobik görünümü. (a) Biyomikritik kireçtaşı içerisinde gözlenen *Globotruncana sp.* fosili kavkıları. (b) Yer yer kristalize olmuş kalsit mineralleri

### 3.1.5. Kelkit Formasyonu

Çalışma alanında Kelkit ve Köse ilçe merkezlerini de içerisine alan geniş bir bölgede yayılım göstermektedir. Kuzey Zon'da geniş yayılım alanlarına sahip olan volkano-tortul karakterli Alibaba Formasyonu ile yer yer yanal ve düşey olarak tedrici geçişlidir. Kretase yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak gelen birim çok ince, ince-orta tabakalı, açık yeşilimsi renk tonu ve yumuşak topografik görünümü ile dikkat çekmektedir (Şekil 3.9).

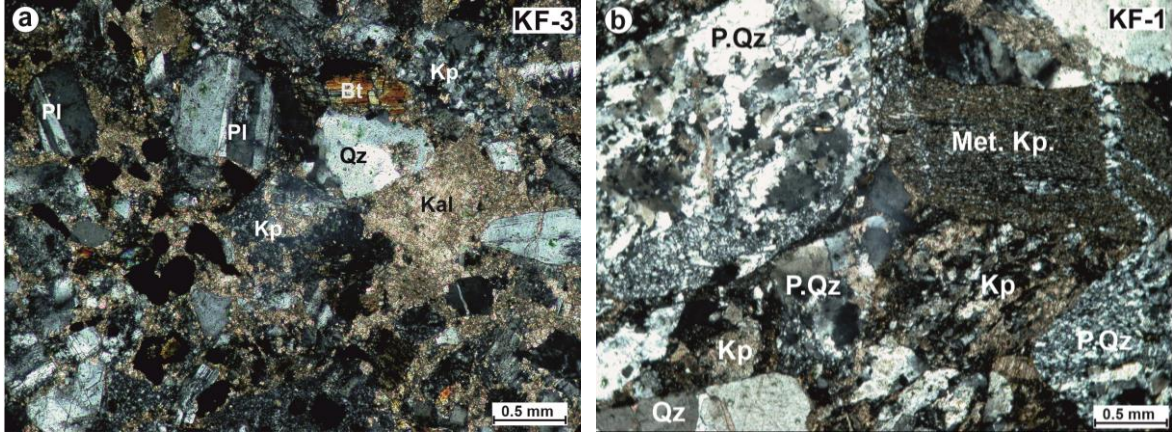




Şekil 3.9. Çalışma alanında Kelkit Formasyonu'nun muhtelif alanlardan görünümü. (a) açık yeşilimsi renk tonu ve yumuşak topografik görünüm. (b), (c) ve (d) İstifin düşük tabaka eğimine sahip kesimlerinin görünümü. (e) ve (f) Formasyon içerisinde gelişmiş küçük ölçekli kıvrım yapıları

Formasyon genel olarak konglomera, kumtaşı, kumlu kireçtaşı, şeyl, tuf aralanmalı türbidit özelliğinde olup, oldukça iyi tabakalı ve yer yer küçük ölçekli antiklinal ve senklinal kıvrımlı olarak görülmektedir (Şekil 3.9). Birimi oluşturan kayalar bol çatlaklı ve kırıklı bir yapı sunmaktadır. Kayaç türüne göre tabaka kalınlıkları birkaç mm'den 30 cm ye kadar değişmektedir. Marnlar koyu renkli ve bol kırıklı, kumtaşları ise ince taneli olup koyu gri renkli ve serttir. Ayırmaya karşı dirençli olduklarından yüksek rölyefte

gözlenmekte ve daha kalın tabakalı yapı sunmaktadırlar (Şekil 3.9). İstif içerisinde devamlılık arz etmeyen ve kalınlıkları birkaç cm'den birkaç metreye kadar değişen konglomeratik seviyeler gözlenmektedir. Formasyona ait ince taneli kumtaşı örneklerinin başlıca kuvars, plajiyoklas, biyotit, K-feldispat, kalsit gibi mineraller ile değişik kökene ait kayaç parçaları içerdiği belirlenmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Kelkit Formasyonu'ndan alınan ince taneli kumtaşı örneğinin mikroskopik görünümü. (a) Kuvars, polikristalin kuvars ve kayaç parçaları, (b) Polijen konglomerada bulunan metamorfik kayaç parçası ve polikristalin kuvarslar. Qz: kuvars, Pl: plajiyoklas, Bt biyotit, Kp: kayaç parçası, Kal: kalsit, P.Qz: polikristalin kuvars, Met.Kp.: metamorfik kayaç parçası.

Kuvars özşekilsiz ve çoğunlukla monokristalin, yer yer ise polikristalin olarak görülür. Ancak metamorfik kökenden gelen kuvars polikristalin özellikte olup, dalgali sönme gösterir. Taşınmanın etkisi ile yer yer kırıklı ve küçük parçalara ayrılmıştır. Aynı zamanda çimento da çok ince kristaller halinde bulunmaktadır. Feldispat, yarı öz şekilli ve öz şekilsiz parçalanmış kristaller halinde bulunmakta olup, iri kristalleri albit ikizlenmesi gösterir. Çoğunlukla plajiyoklas ve yer yer ise ortoklas türünde gözlenmektedir. Kayaç parçaları, kaynak alanda mevcut kayalardan koparak taşınmış metamorfik (çoğunlukla fillat), volkanik kayaç (çoğunlukla bazalt), mikritik kireçtaşı ve çört parçaları türünde görülmektedir. Mikritik kireçtaşı parçaları koyu renkli kırıntılar halinde kayacın her yerine dağılmış durumdadır. Çört parçaları tek nikolde sarımsı kirli beyaz renkleri ile ayırt edilirler. Opak mineraller az miktarda ve dağınık olarak bulunmaktadır. Bağlayıcı malzeme olarak genellikle matriks destekli kalsit çimentodan oluşur. Kumtaşları petrografik olarak sığ denizel bir oluşum ortamını yansıtmaktadır.



### 3.1.6. Alüvyon ve Yamaç Molozu

Çalışma alanında Kuvaterner'in büyük bir kısmını alüvyon ve yamaç molozu oluşturmakta olup, özellikle Kelkit Çayı ve Köse Deresi boyunca geniş yüzeyleme alanı vermektedir. Yer yer kalın bir örtü tabakası oluşturan alüvyonlar Kelkit ovası ile ovanın kuzey ve güneyinde dere ve çayların ova ile birleştiği yerlerde geniş alanlar boyunca yayılım gösterirler (Şekil 3.11). Birim içerisinde çevre kayaların kil boyutundan blok boyutuna kadar değişen malzemeleri gözlenmektedir. Örtü kalınlığı bazı alanlarda yüzeyden itibaren birkaç metreyi geçmekte ve güncel olarak oluşmaya devam etmektedir. Yan derelerin ovaya girdiği yerlerde yer yer alüvyon konileri oluşmakta ve oldukça iri malzemeler (blok, kum, çakıl) içermektedir.



Şekil 3.11. Kelkit-Ünlüpınar (Pekün) yol güzergâhında yüzeyleme veren alüvyon malzemesi

### 3.2. İçme Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri

Kelkit ve Köse (Gümüşhane) ilçe merkezleri ve yakın lokasyonlardan alınan su numunelerinin koordinatları ve içerisinde geçtiği kayaç türleri (litolojiler) Tablo 3.1'de verilmiştir. İnceleme alanından su numunelerinin fiziksel özellikleri, majör iyon ve iz metal verilerinin değerlendirilmesi, suların sınıflandırılması, kayaç jeokimyası verileri ve su-kayaç etkileşimi bu başlık altında değerlendirilmiştir.

Tablo 3.1. Kelkit ve Köse ilçe merkezinden alınan su örneklerinin alındığı yer ve kayaç türleri

Sıra No	Örnek No	Alındığı yer	UTM Konumu (Doğu-Kuzey)	Kayaç Türü
<i>Kelkit örnekleri</i>				
1	OD-1	Atatürk Mah. Yılmazlar petrol su tankı	538336-4440520	Alüvyon
2	Ç-1	Atatürk Mah. İstanbul parkı çeşmesi	538774-4440566	Alüvyon
3	Ç-2	Atatürk Mah. İlçe stadyum çeşmesi	537935-4441163	Alüvyon
4	OD-2	Atatürk Mah. Hacı Neşet Yavuz cami şadırvanı	537809-4441116	Alüvyon
5	Ç-3	Ahmet Yesevi Mah. İhsan Korkmaz hayrat çeşmesi	537396-4441086	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
6	OD-3	Ahmet Yesevi Mah. İmam-ı Azam cami şadırvanı	536514-4441747	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
7	Ç-4	Ahmet Yesevi Mah. Hacı Fikri Sözer hayrat çeşmesi	535795-4440901	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
8	Ç-5	Ahmet Yesevi Mah. Hatice Uçar hayrat çeşmesi	535790-4440899	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
9	OD-4	Atatürk Mah. Kelkit Belediye Binası	537176-4441691	Alüvyon
10	OD-5	Cumhuriyet Mah. Küçük cami şadırvanı	537091-4441968	Alüvyon
11	Ç-6	Cumhuriyet Mah. Küçük cami hayrat çeşmesi	537086-4441969	Alüvyon
12	OD-6	Cumhuriyet Mah. Kelkit Belediye hamamı	537145-4441837	Alüvyon
13	OD-7	Cumhuriyet Mah. Topuzlar restaurant	537102-4442048	Alüvyon
14	OD-8	Cumhuriyet Mah. Topuzlar kıraathanesi	537102-4442049	Alüvyon
15	OD-9	İnönü Mah. Yeni cami şadırvanı	537189-4442422	Alüvyon
16	Ç-7	Cumhuriyet Mah. Hokok Hüseyin Çavuş çakıcı hayrat çeşmesi	536864-4442174	Alüvyon
17	SD-1	Ahmet Yesevi Mah. Kelkit Belediyesi su deposu-1	538288-4439481	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
18	SD-2	Yunus Emre Mah. Kelkit Belediyesi su deposu-2	537188-4444598	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
19	SD-3	Yunus Emre Mah. Kelkit Belediyesi su deposu-3	537186-4444599	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
20	OD-10	Yunus Emre Mah. Toki esentepe cami şadırvanı	537220-4444422	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
21	OD-11	Yunus Emre Mah. Köksal petrol su tankı	536796-4444672	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
22	Ç-8	Ünlüpınar belde girişi hayrat çeşmesi	536940-4450573	Kireçtaşı

Tablo 3.1'in devamı

Sıra No	Örnek No	Alındığı yer	UTM Konumu (Doğu-Kuzey)	Kayaç Türü
23	Ç-9	Ünlüpınar belediye meydanı şadırvan çeşmesi	537012-4450798	Kireçtaşı
24	Ç-10	Ünlüpınar belediye önü çeşme	537064-4450963	Kireçtaşı
25	Ç-11	Hayrat çeşmesi	536973-4448860	Kireçtaşı
26	OD-12	Ahmet Yesevi Mah. Molla Yusuf cami şadırvanı	536883-4443872	Alüvyon
27	Ç-12	İnönü Mah. Karaçayır köy giriş çeşmesi	538366-4443665	Alüvyon
28	Ç-13	İnönü Mah. Hayrat çeşmesi	538412-4443581	Alüvyon
29	OD-13	Yunus Emre Mah. Hirikler petrol su tankı	536878-4443574	Alüvyon
30	Ç-14	Atatürk Mah. Temel Yılmaz sok. hayrat çeşmesi	536902-4442970	Alüvyon
<i>Köşe örnekleri</i>				
31	OD-1	Murathanoğulları petrol su tankı	537023-4441708	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
32	OD-2	Yeni mahalle İrfan Can MYO	556251-4449440	Alüvyon
33	OD-3	Yeni mahalle Köse belediye binası	555756-4451028	Granit
34	Ç-1	Yeni mahalle Göze suyu	555813-4450994	Alüvyon
35	SK-1	Yeni mahalle Artezyen kuyu suyu	556110-4450557	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
36	OD-4	Yeni mahalle KYK binası	556030-4451043	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
37	OD-5	Yeni mahalle İlçe devlet hastane binası	556031-4451044	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
38	OD-6	Yeni mahalle Halk eğitim merkezi binası	555821-4451125	Kumtaşı, kiltası, marn, şeyl, tuf
39	OD-7	Fatih mah. Tarım ilçe binası	555647-4451293	Granit
40	OD-8	Fatih mah. 60. yıl ortaokul binası	555736-4451415	Granit
41	Ç-2	Fatih mah. İlçe emniyet müdürlüğü çeşmesi	555816-4451490	Granit
42	OD-9	Fatih mah. İlçe jandarma komutanlığı binası	555699-4451558	Granit
43	Ç-3	Bahçelievler mah. Zarf Kesler hayrat çeşmesi	555663-4451689	Granit
44	OD-10	Yavuz Selim mah. Dedepaşa cami şadırvanı	555440-4451511	Granit



Tablo 3.1'in devamı

Sıra No	Örnek No	Alındığı yer	UTM Konumu (Doğu-Kuzey)	Kayaç Türü
45	OD-11	Yavuz Selim mah. Merkez cami şadırvanı	555493-4451352	Granit
46	Ç-4	Cumhuriyet mah. Merkez cami çeşmesi	555520-4451273	Granit
47	OD-12	Cumhuriyet mah. Selçuklular ilkokul binası	555404-4451220	Granit
48	OD-13	Yavuz Selim mah. İlkadım anaokul binası	555378-4451312	Granit
49	Ç-5	Yavuz Selim mah. Emin ve Kaya Akgül hayrat çeşmesi	555280-4451294	Alüvyon
50	OD-14	Yavuz Selim mah. İMKB çok prog. Lise binası	555183-4451082	Granit

### 3.2.1. Suların Fiziksel Özellikleri

İçme sularının gerek kimyasal gerekse hijyenik açıdan kalitesi sıcaklık, bulanıklık, renk, tad, koku, iletkenlik, pH gibi fiziksel özelliklerine göre değişiklik arz etmektedir. İnceleme alanından alınan içme sularının fiziksel parametre değerleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Alınan suların görme duyusu ile fark edilebilecek düzeyde herhangi bir renklilik göstermemesi sebebiyle renk ölçüm analizi yaptırılmamıştır. Bununla birlikte, bulanıklık, koku ve tad özellikleri bakımından uygun olduğu belirlenmiştir.

Doğada bulunan suların içerisinde çözülmüş olarak içinde bulunan maddeler ( $MgCl_2$ ,  $CaSO_4$ ,  $NaCl_2$ , vb.) ve mikroorganizmalar belli bir orandan fazla olması halinde suya farklı bir tad ve koku verir. Örneğin; suyun tadı acımsı, ekşimsi, kokusu küfümsü, otsu vb. şekilde değişiklik gösterebilir. Zn, Na, Mn, Fe vb. gibi çözülmüş anorganik tuzlar suya tad verirler. Suyun kokusunu genellikle  $H_2S$  bileşiği ve organik kaynaklı maddeler etkilemektedir. Kullandığımız ve içtiğimiz suların doğal haliyle yani; renksiz, kokusuz, tatsız olması kullanılma ve tercih edilme şansını arttırmaktadır. İnceleme alanlarından alınan suların tadı, kokusu, rengi numune alımı esnasında kontrol edilmiş ve uygun görülmüştür.

Tablo 3.2. Kelkit ve Köse ilçe merkezlerinden alınan suların fiziksel özellikleri

Sıra No	Örnek no	Nefelometrik Türbiditik Unit (NTU) ve Tad	Renk	Koku	pH	İletkenlik ( $\mu S$ )
<i>Kelkit örnekleri</i>						
1	OD-1	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.93	174.3
2	Ç-1	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.52	563.0
3	Ç-2	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.72	745.0
4	OD-2	Uygun	Renksiz	Kokusuz	8.01	172.9
5	Ç-3	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.77	508.0
6	OD-3	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.90	174.3
7	Ç-4	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.47	663.0
8	Ç-5	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.40	698.0
9	OD-4	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.98	173.7
10	OD-5	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.90	175.3
11	Ç-6	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.73	680.0
12	OD-6	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.72	710.0
13	OD-7	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.93	173.9
14	OD-8	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.96	174.7
15	OD-9	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.91	173.6
16	Ç-7	Uygun	Renksiz	Kokusuz	8.07	175.1
17	SD-1	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.98	175.5
18	SD-2	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.92	176.2
19	SD-3	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.87	175.6
20	OD-10	Uygun	Renksiz	Kokusuz	8.03	299.0

Tablo 3.2'nin devamı

Sıra No	Örnek no	Nefelometrik Türbiditik Unit (NTU) ve Tad	Renk	Koku	pH	İletkenlik (μS)
21	OD-11	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.51	1386.0
22	Ç-8	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.76	486.0
23	Ç-9	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.78	516.0
24	Ç-10	Uygun	Renksiz	Kokusuz	8.00	300.0
25	Ç-11	Uygun	Renksiz	Kokusuz	8.00	398.0
26	OD-12	Uygun	Renksiz	Kokusuz	8.05	173.1
27	Ç-12	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.60	335.0
28	Ç-13	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.95	622.0
29	OD-13	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.96	174.5
30	Ç-14	Uygun	Renksiz	Kokusuz	8.04	173.6
<i>Köse örnekleri</i>						
31	OD-1	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.52	607.0
32	OD-2	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.83	170.3
33	OD-3	Uygun	Renksiz	Kokusuz	8.09	170.6
34	Ç-1	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.63	608.0
35	SK-1	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.83	645.0
36	OD-4	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.68	171.8
37	OD-5	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.60	179.9
38	OD-6	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.77	171.4
39	OD-7	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.77	170.5
40	OD-8	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.79	170.0
41	Ç-2	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.98	173.2
42	OD-9	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.83	168.2
43	Ç-3	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.78	584.0
44	OD-10	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.96	169.9
45	OD-11	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.65	169.8
46	Ç-4	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.68	771.0
47	OD-12	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.74	169.5
48	OD-13	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.50	169.0
49	Ç-5	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.60	433.0
50	OD-14	Uygun	Renksiz	Kokusuz	7.50	166.9

### 3.2.2. Suların Kimyasal Özellikleri

#### 3.2.2.1. Elektriksel İletkenlik (Eİ)

Elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal ifadesi olarak 25 °C 'de mikromoho/cm veya mikrosiemens/cm (μS/cm) olarak verilmektedir. İletkenlik değerleri Kelkit örnekleri için 173.1-1386.0 μS, Köse örnekleri için 166.9-645.0 μS aralığındadır. İçme suyu; Türkiye İçme Suyu Standardına (TS 266; TSE, 2005) ve

Dünya Sağlık Teşkilatı'na (WHO, 2014) göre <2500 µS olmalıdır. İnceleme alanındaki suların iletkenlik değerlerine göre standartlara uygundur (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Suların iletkenliklerine göre sınıflandırılması (Kıtaıçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına göre Kalite Kriterleri RG-15/04/2015-29327)

İletkenlik (µs/cm)	Su Kalite Sınıfı	Çalışma alanındaki su örneklerinin iletkenliği
<400	I	Köse = 166.9-173.2 (14 örnek); Kelkit = 172.9-398.0 (19 örnek)
<1000	II	Köse = 433.0-771.0 (6 örnek); Kelkit = 486.0-745.0 (10 örnek)
<3000	III	Kelkit = 1386.0 (1 örnek)
>3000	IV	-

### 3.2.2.2. Hidrojen İyon Aktivitesi (pH)

Hidrojen iyon aktivitesi (pH), sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir göstergesi olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Sudaki karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini arttırırken, serbest mineral asitleri ve karbonik asit suyun asidik özelliğini arttırmaktadır (Doğan, 1981).

İnceleme alanından alınan su numunelerinin pH değerleri Kelkit ilçesi için 7.51-8.07, Köse ilçesi için 7.50-8.09 aralığındadır. İnsan sağlığı açısından içme suyu; Türkiye İçme Suyu Standartı'na (TS 266; TSE 2005) göre pH'ı 6.5-9.5, Dünya Sağlık Teşkilatı'na (WHO, 2014) göre pH'ı 6.5-9.2 sınırları dâhilinde olmalıdır. İnceleme alanındaki suların pH değerleri verilen sınırlar dâhilindedir (Tablo 3.3).

### 3.2.2.3. Fransız Su Sertliği (Fr)

Suların sertliğinin belirlenmesinde yaygın olarak Fransız (Fr) sertlik derecesi yönteminden faydalanılmaktadır. Sertlik, laboratuarda elde edilen  $Ca^{+2}$  (mg/l) ve  $Mg^{+2}$  (mg/l) değerleri kullanılarak aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır (Lenntech, 2014).

$$M_{CaCO_3}/M_{Ca}=100.1/40.1=2.5 \quad (3.1)$$

$$M_{CaCO_3}/M_{Mg}=100.1/24.3=4.1 \quad (3.2)$$

$$[CaCO_3]=2.5 \times [Ca^{+2}] + 4.1 \times [Mg^{+2}] \quad (3.3)$$

$$Fr=[CaCO_3]/10 \quad (3.4)$$

Burada,  $[\text{CaCO}_3]$  sertliği “Fr” ise Fransız su sertliği birimini ifade etmektedir.

Suların toplam sertliği aşağıdaki şu formülle hesaplanabilmektedir.

$$[\text{Toplam sertlik (CaCO}_3 \text{ 'a eş değerli)} = 2.495\text{Ca}^{+2} + 4.115\text{Mg}^{+2} + 1.792\text{Fe} + 1.822\text{Mn}]$$

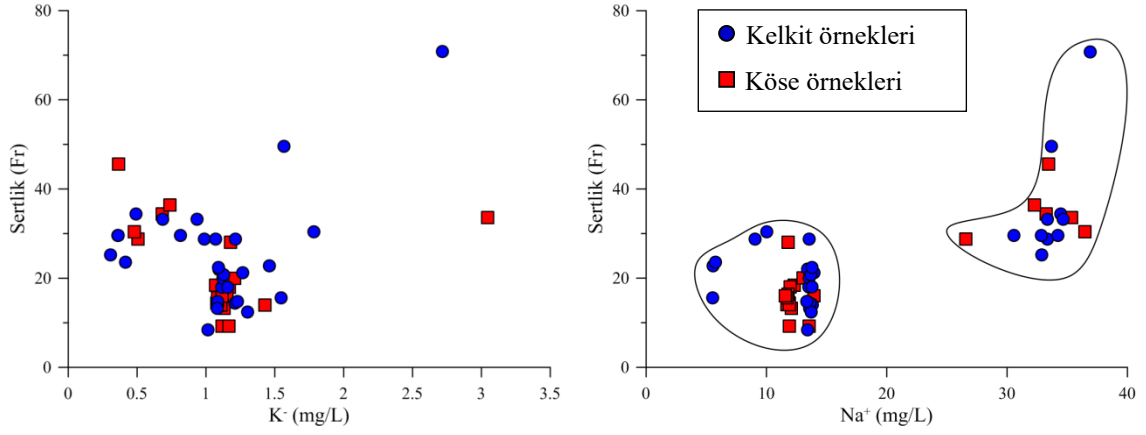
İçme ve kullanma sularındaki sertlik belli bir düzeye kadar insan sağlığı açısından yararlı olmaktadır. Ancak, bu değerin artması ile birlikte, suyun tadında bozulmalar meydana gelecektir. Ayrıca, içme ve kullanma sularının istenen değerden yüksek sertliğe sahip olması sonucu, su iletim borularında ve su depolarında kireçlenme meydana gelebilmektedir. Kelkit ilçesinden alınan su numunelerinin sertlik dereceleri incelendiğinde, 5 örnek ‘yumuşak’ (Fr = 8.4-14.4), 8 örnek ‘orta sert’ (Fr = 14.8-20.8), 12 numune ‘oldukça sert’ (Fr = 22.0-30.4), 4 örnek “sert” (Fr = 33.2-49.6) ve 1 numune ‘çok sert’ (Fr = 70.8) su olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 3.4). Köse örneklerinde ise 6 numune ‘yumuşak’ (Fr = 9.2-14.4), 7 örnek ‘orta sert’ (Fr = 15.6-20.0), 3 örnek ‘oldukça sert’ (Fr=28.0-30.4), ve 4 numune ‘sert’ (Fr = 34.4-45.6) su olarak tanımlanmıştır (Tablo 3.4). Yerleşim alanlarına göre yapılan genel değerlendirmede ise, Kelkit örneklerinin ‘orta sert’ ve ‘oldukça sert’, Köse örneklerinin ise ‘yumuşak’ ve ‘orta sert’ su niteliğinde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.4. İnceleme alanındaki suların sertlik derecelerine göre sınıflandırılması (Tuncay, 1994)

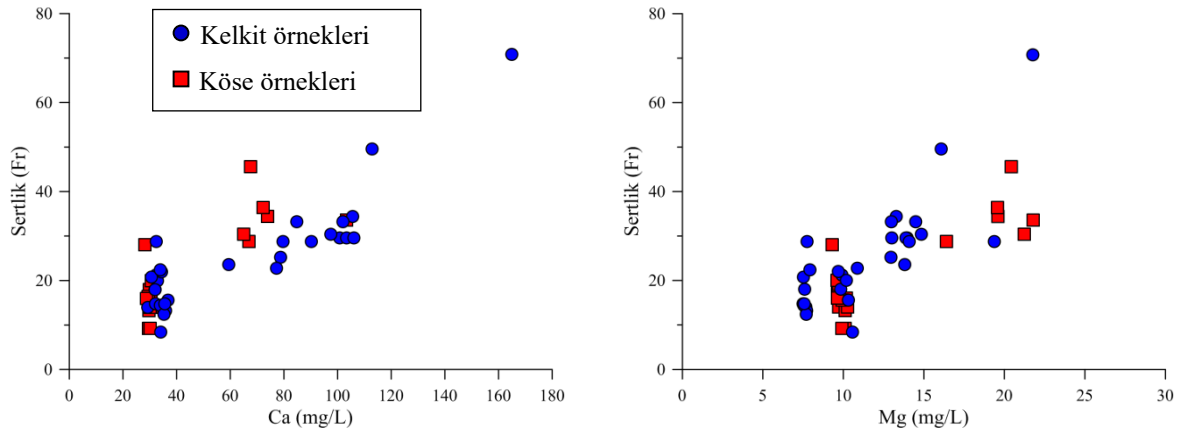
Su Sınıfı	Sertlik Derecesi		Örneklerinin sertlik değerleri (mg/l)
	mg/l veya ppm $\text{CaCO}_3$	Fr (Fransız)	
Çok yumuşak	0-72	0-7.2	-
Yumuşak	72-145	7.2-14.5	8.4-14.4 (11 adet)
Orta sert	145-215	14.5-21.5	14.8-20.8 (15 adet)
Oldukça sert	215-325	21.5-32.5	22.0-30.4 (15 adet)
Sert	325-540	32.5-54	33.2-49.6 (8 adet)
Çok sert	>540	>54	70.8 (1 adet)

Sertlik değerleri ile  $\text{K}^+$  iyonu değerleri karşılaştırıldığında, aralarında negatif bir ilişki olduğu belirlenmiş olup, birkaç örnek dışında, artan  $\text{K}^+$  iyonu konsantrasyonuna karşılık, sertlik değerleri azalmaktadır (Şekil 3.12).  $\text{N}^+$  değerleri ise iki farklı grupta toplamış, ancak genel olarak pozitif yönde bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 3.12). Örneklerdeki gruplaşmaların, suların geçtiği kayaç türleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yine, sertlik değerlerine karşılık  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  katyonları karşılaştırıldığında, örneklerin pozitif yönde belirgin bir yönseme gösterdiği,  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$

konsantrasyonundaki artış ile birlikte sertliğin de arttığı tespit edilmiştir (Şekil 3.13). Ancak, suların geçtiği litolojilerdeki farklılıklardan kaynaklı olarak kendi içerisinde yer yer gruplandıkları gözlemlenmiştir.



Şekil 3.12. Su örneklerinin  $K^+$  (mg/l) ve  $Na^+$  (mg/l) içeriği ile Fransız sertlik derecesi ( $Fr^\circ$ ) arasındaki ilişki.



Şekil 3.13. Örneklerin  $Ca^{+2}$  (mg/l) ve  $Mg^{+2}$  (mg/l) içeriği ile Fransız sertlik derecesi ( $Fr^\circ$ ) arasındaki ilişki.

### 3.2.3. Sulardaki Majör İyonlar

Doğal suların toplam iyonik içeriğinin %90'ından fazlasını oluşturan Na, Ca, Mg, K, Cl,  $HCO_3$  ve  $SO_4$  iyonları major iyon olarak adlandırılır. İncelenen içme sularının major iyon analiz sonuçları Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5. İncelenen içme sularında bulunan major iyonlar (mg/l)

Element	Ca	Mg	Na	K	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
<i>Kelkit Örnekleri</i>							
OD-1	32.2	9.9	14.0	1.27	6.5	39.6	102.4
OD-2	31.9	9.8	13.5	1.12	5.9	33.6	103.8
OD-3	32.8	10.2	13.6	1.12	6.0	32.2	102.4
OD-4	34.1	10.6	13.4	1.01	5.0	32.4	102.4
OD-5	34.3	9.7	13.4	1.09	6.0	30.0	102.4
OD-6	79.7	19.4	33.3	0.99	36.1	130.8	317.1
OD-7	29.3	7.7	13.8	1.09	3.3	40.4	98.2
OD-8	31.9	7.6	13.8	1.16	3.7	35.6	91.2
OD-9	30.5	7.5	13.7	1.13	4.9	32.2	112.2
OD-10	36.7	10.3	5.5	1.55	5.6	20.4	178.2
OD-11	165.0	21.8	36.9	2.72	142.1	92.0	472.8
OD-12	33.9	7.9	13.8	1.09	8.1	40.4	109.4
OD-13	32.4	7.8	13.5	1.07	5.7	32.3	105.2
C-1	100.8	14.0	32.9	0.36	16.0	59.9	305.9
C-2	103.3	13.9	34.2	0.36	35.5	87.3	408.3
C-3	78.7	12.9	32.9	0.31	44.4	65.8	287.6
C-4	106.1	13.0	30.6	0.82	31.7	58.2	374.6
C-5	105.6	13.3	34.5	0.49	30.7	65.6	416.7
C-6	102.0	14.5	33.4	0.94	53.7	145.2	286.2
C-7	32.1	7.5	13.4	1.09	7.8	39.1	101.0
C-8	90.2	14.1	9.1	1.21	9.4	81.6	269.4
C-9	97.4	14.8	10.0	1.78	11.7	87.4	73.0
C-10	77.3	10.9	5.6	1.46	6.5	19.6	178.2
C-11	59.4	13.8	5.8	0.42	11.6	32.3	211.9
C-12	112.9	16.1	33.7	1.57	112.3	93.2	343.7
C-13	84.8	13.0	34.7	0.69	57.0	181.7	253.9
C-14	35.8	7.7	13.6	1.08	6.2	46.7	117.9
SD-1	33.8	7.6	13.6	1.21	6.8	35.9	117.9
SD-2	35.3	7.7	13.7	1.30	3.7	34.1	102.4
SD-3	35.6	7.6	13.3	1.23	5.1	31.0	91.2
<i>Köse Örnekleri</i>							
OD-14	31.2	9.6	12.3	1.07	4.3	32.4	96.8
OD-13	30.4	9.9	11.9	1.08	5.7	25.5	101.0
OD-12	30.7	9.7	11.7	1.43	3.8	22.8	99.6
OD-11	29.7	10.1	12.1	1.13	4.1	22.3	103.8
OD-10	29.8	9.7	12.0	1.17	4.4	26.8	108.0
OD-9	28.2	9.3	11.8	1.18	7.0	25.9	103.8
OD-8	30.1	10.3	11.9	1.11	4.1	20.9	95.4
OD-7	29.5	9.7	11.8	1.14	5.8	24.6	91.2
OD-6	29.6	10.1	11.9	1.12	0.7	23.6	103.8
OD-5	30.5	10.2	13.9	1.15	3.0	35.1	108.0
OD-4	30.1	9.9	13.5	1.17	6.2	33.8	108.0
OD-3	29.6	9.9	11.7	1.09	1.7	31.1	99.6
OD-2	28.8	9.6	11.6	1.12	5.2	22.7	99.6
OD-1	73.9	19.6	33.2	0.68	45.2	72.4	307.3
Ç-5	67.0	16.4	26.6	0.51	20.2	44.9	248.3
Ç-4	103.3	21.8	35.4	3.04	42.4	113.8	391.4
Ç-3	65.0	21.2	36.5	0.48	40.9	93.8	252.5
Ç-2	30.6	9.6	13.0	1.21	6.6	37.0	115.0
Ç-1	72.2	19.6	32.3	0.74	37.3	92.8	304.5
SK-1	67.6	20.4	33.4	0.37	37.8	141.1	321.3

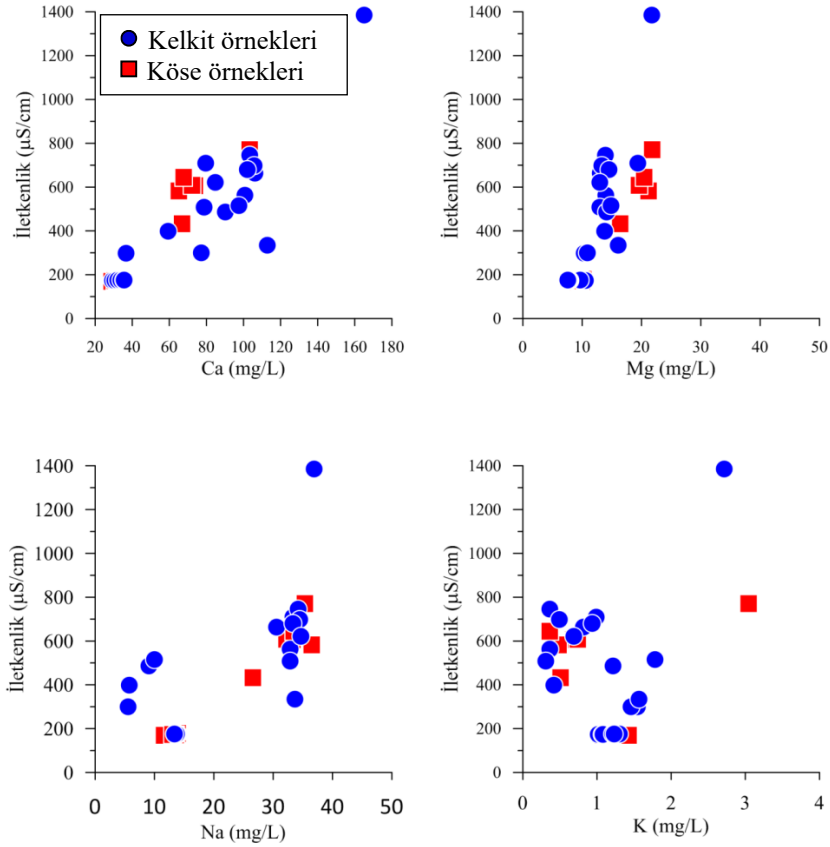
### 3.2.3.1. Sodyum (Na) ve Potasyum (K)

Sodyum doğal suların bileşiminde en yaygın olarak bulunan alkali metaldir. Magmatik kayalar, kil mineralleri, feldispatlar, evaporitler (NaCl) gibi sodyum içeren başlıca kayaç ve minerallerdir (Goldschmidt, 1958). İnceleme alanından alınan örneklerin Na değeri 5.5-36.5 mg/l aralığındadır. TSE standardı (TS-266, 2005)'nda içme sularının Na değerinin 175 mg/l'den az olması gerektiği belirtilmiş olup, inceleme alanındaki su numunelerinin Na değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Sodyum suların bileşimine plajyoklasların ayrışması ve kil minerallerine dönüşmesiyle karışmıştır. Potasyum yer kabuğunun %2.5'ini oluşturur ve esas olarak feldispat, feldispatoid, mika ve kil minerallerinde bulunur (Rankama and Sahama, 1964). İnceleme alanından alınan örneklerin K değeri 0.31-3.04 mg/l aralığındadır. TSE standardı (TS-266, 2005)'nda içme sularının K değerinin 12 mg/l'den az olması gerektiği belirtilmiş olup, inceleme alanındaki su numunelerinin K değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

### 3.2.3.2. Kalsiyum (Ca) ve Magnezyum (Mg)

$Ca^{+2}$ , doğal suların bileşiminde en yaygın olarak bulunan katyonlardan biridir. Kalsiyumun kaynağı, kalsit, dolomit, jips, anhidrit, florit, aragonit, plajiyoklas, piroksen ve amfiboller olabilir.  $Ca^{+2}$  suların sertliğini oluşturan ana iyondur. İnceleme alanından alınan örneklerin  $Ca^{+2}$  değeri 28.2-165.0 mg/l aralığındadır. TSE standardı (TS-266, 2005)'nda içme sularının  $Ca^{+2}$  değerinin 200 mg/l'den az olması gerektiği belirtilmiş olup, inceleme alanındaki su numunelerinin  $Ca^{+2}$  değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Magnezyum suyun sertliğine neden olan katyonlardan biridir.  $Mg^{+2}$ , olivin, piroksen, amfibol gibi koyu renkli minerallerin önemli bileşenlerindendir. İnceleme alanından alınan örneklerin  $Mg^{+2}$  değeri 7.5-21.8 mg/l aralığındadır. TSE standardı (TS-266, 2005)'nda içme sularının  $Mg^{+2}$  değerinin 50 mg/l'den az olması gerektiği belirtilmiş olup, inceleme alanındaki su numunelerinin  $Mg^{+2}$  değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde. İnceleme alanındaki su numunelerinin iletkenliğe karşı katyon ve anyonlar arasındaki ilişki irdelenmiş olup,  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  katyonlarının belirgin pozitif yönseme gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3.14). Bununla birlikte  $Na^{+}$  iyonu genellikle dağıntık olmakla beraber pozitif yönde bir ilişki sergilemektedir. Buna karşın,  $K^{+}$  iyonunda dağıntık negatif bir yönseme görülmektedir (Şekil 3.14).





Şekil 3.14. İnceleme alanından alınan su numunelerinin iletkenliği ile katyonlar (mg/l) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramlar

### 3.2.3.3. Alkalinite ( $\text{HCO}_3^-$ )

Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel unsurlar, atmosferik karbondioksit ile toprakta ve doymun olmayan bölgede üretilen gazlardır. İnceleme alanından alınan örneklerin  $\text{HCO}_3^-$  değeri 73.0-472.8 mg/l aralığındadır. TSE standardı (TS-266, 2005)'nda alkalinite için bir sınır değeri verilmemektedir.

### 3.2.3.4. Sülfat ( $\text{SO}_4$ )

Kükürt, indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayalarda yaygın olarak bulunmaktadır. Sülfürlü mineraller su ile temas ederek bozunur, zamanla oksitlenerek sülfat iyonlarını oluşturur ve bu iyonlar suya geçer. İnceleme alanından derlenen su numunelerinin sülfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) miktarları 0.7-142.1 mg/l aralığındadır. TSE standardı (TS-266, 2005)'nda içme sularının  $\text{SO}_4^{2-}$  değerinin 250 mg/l'den az olması

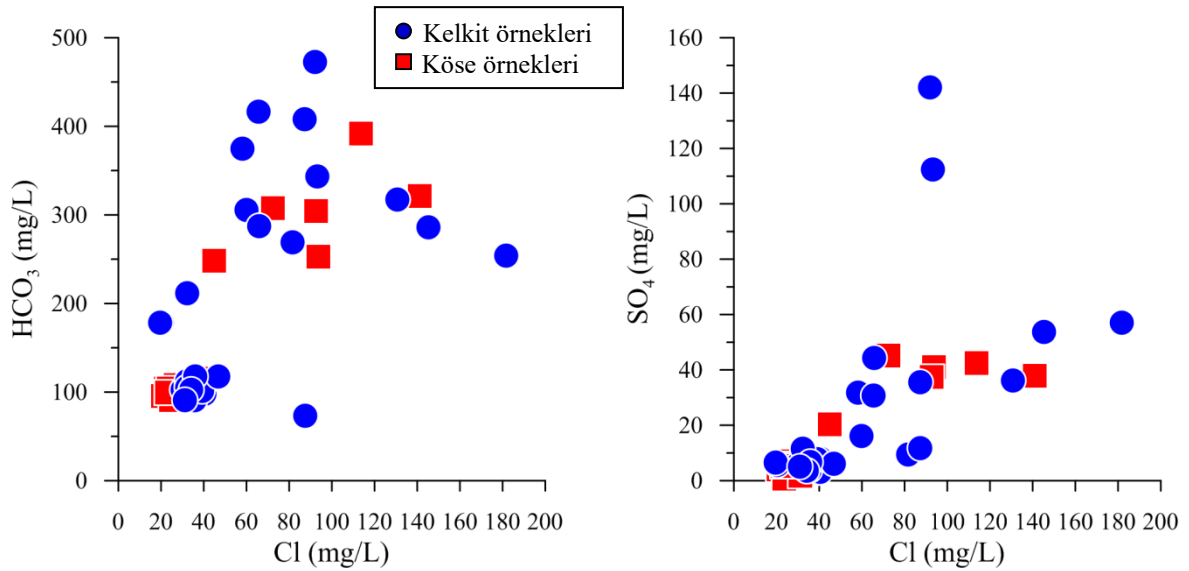
gerektiği belirtilmiş olup, inceleme alanındaki su numunelerinin  $\text{SO}_4^{-2}$  değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

### 3.2.3.5. Klorür (Cl)

$\text{Cl}^-$  iyonu, sedimanter kayalarda özellikle evaporitlerde bulunmakta olup, doğadaki dağılımı oldukça geniştir. Ayrıca, biyotit, hornblend gibi magmatik kökenli minerallerde klorür iyonu bulunmaktadır.

İnceleme alanından derlenen su numunelerinin  $\text{Cl}^-$  miktarları 19.6-181.7 mg/l aralığındadır. TSE standardı (TS-266, 2005)'nda içme sularının  $\text{Cl}^-$  değerinin 250 mg/l'den az olması gerektiği belirtilmiş olup, inceleme alanındaki su numunelerinin  $\text{Cl}^-$  değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde.

Tüm örneklerle ilişkin  $\text{Cl}^-$  iyonuna karşılık  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$  verileri karşılaştırıldığında, aralarında pozitif bir ilişkinin olduğu ve örneklerdeki  $\text{Cl}^-$  miktarı arttıkça  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$  miktarlarının da arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. İnceleme alanından alınan su örneklerinin  $\text{Cl}^-$  (mg/l) içeriğinin ( $\text{HCO}_3^-$  ; mg/l) ve ( $\text{SO}_4^{-2}$ ; mg/l) içeriklerine göre değişimi.

### 3.2.4. İz Metaller

Doğal sularda majör iyonlar dışında eser miktarlarda bulunan bazı maddeler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadır. Demir dışında diğer ağır metaller sularda 1 ppm'den daha düşük derişimlerde bulunur (Freze ve Cherry, 1979). Ağır metaller doğal sulara, evsel, endüstriyel atık suları ve madencilik faaliyetleri atıklarının aracılığı ile katılabilir. Suyun dolaşımı esnasında geçtiği litolojik birimlerin minerolojik yapısı da, sulardaki ağır metal içeriğinin kaynaklarından birini oluşturmaktadır.

Yapılan bu çalışmada iz element tayinine yönelik kimyasal analizlerde suların Fe, Mn, Cu, Cr, Pb, Zn, Ni, Cd, Al içerikleri saptanmış olup Tablo 3.6'da iz element değerleri verilmiştir. İzin verilebilir en yüksek değerlerin üzerinde çıkan sonuçlar koyu olarak gösterilmiştir.

Analiz edilen elementler, Türkiye içme suyu standartları açısından ayrı ayrı irdelendiğinde ise, Kelkit örneklerinin pH, Na, Ca, Fe, Zn, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> miktarlarına göre I.sınıf (yüksek kaliteli); iletkenlik miktarlarına göre OD-11 nolu numune hariç I. ve II. Sınıf kalitede oldukları belirlenmiştir. Pb, Co ve Cu elementlerinin konsantrasyonuna göre ise genellikle I. sınıf olmakla birlikte, birkaç örnekte II. ve III. Sınıf kalitede oldukları tespit edilmiştir. Aynı değerler Köse örnekleri için karşılaştırıldığında, Kelkit örneklerinde olduğu gibi I. sınıf kalitede oldukları ortaya konmuştur. Köse örneklerinin Pb, Co, Cu ve Zn metal element içeriklerine göre ise bazı örneklerde II. ve III. Sınıf kalitede yer aldıkları belirlenmiştir.

#### 3.2.4.1. Demir (Fe) ve Mangan (Mn)

Demir, magmatik kayalarda bulunan özellikle piroksen, amfibol, magnetit, pirit, biyotit ve granat gibi demirli minerallerin bozunumundan ortaya çıkar. Karbonlu kayalardan gelen sularda fazla miktarlarda demir iyonları izlenebilir. Doğada bulunan sularda yüksek demir konsantrasyonu canlı yaşamı ve çevresel etkiler açısından ciddi problemler teşkil etmektedir (örneğin Dünder ve Aslan, 2005). Metal içeriği yüksek elementlerin içme suyu dışındaki kullanımları da çevresel açıdan olumsuz etkilere neden olabilmektedir. İnceleme alanından alınan örneklerin Fe değerleri 58.4-85.5 µg/l aralığındadır. TSE standardı (TS-266, 2005)'nda içme sularının Fe değerinin 200 µg/l'den

az olması gerektiği belirtilmiş olup, inceleme alanındaki su numunelerinin Fe değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde dir.

Mangan genellikle magmatik ve metamorfik kayalarda olivin, piroksen ve amfibol minerallerinde bulunur. Demir içeriği yüksek olan sularda çoğunlukla mangana da rastlanır. Manganın çözünürlüğünü Eh-pH etkiler. pH'ın yükselmesi manganın çökmesine neden olur. Mangan içme sularında istenmeyen renk ve bulanıklığa sebep olur (Hem 1985). İnceleme alanından alınan örneklerin Mn değerleri <15 µg/l aralığındadır. TSE standardı (TS-266, 2005)'nda içme sularının Mn değerinin 50 µg/l'den az olması gerektiği belirtilmiş olup, inceleme alanındaki su numunelerinin Mn değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde dir.

#### **3.2.4.2. Çinko (Zn)**

Zn, doğada pek çok mineralde bulunmakta olup, içme suyu, buğday unu, ekmek, bazı et ve su ürünleri tüketimi ile vücuda alınabilmektedir. Ancak insan vücudunda Zn elementi için depo sisteminin olmayışı, bu elementin vücutta artması ile ciddi sağlık problemleri meydana getirecektir. İçme ve kullanma sularında izin verilebilir maksimum Zn değeri ise 5000 µg/l dir. İnceleme alanlarından derlenen su numunelerin Zn değeri 35-743.4 µg/l aralığında olup TSE standardı (TS-266, 2005) izin verilebilir maksimum değere uygundur.

#### **3.2.4.3. Bakır (Cu)**

Bir başka istenmeyen metal olan Cu elementi doğal ortamda, kayalarda, toprakta, suda ve havada bulunur. Ayrıca, doğada bitkilerde ve hayvanlarda da çok küçük miktarlarda bulunmaktadır. Bununla birlikte belirli bir seviyede Cu elementi bulunması, canlı yaşamı açısından önemönem arz etmektedir. Ancak belirli oranların üzerinde olması, gerek canlı yaşamı açısından, gerekse çevresel etkileri bakımından ciddi problemler ortaya çıkaracaktır. İçme ve kullana sularında Cu miktarının yüksek olması durumunda suyun tadı metalik olmakla beraber, suyun dibinde mavimsi veya yeşil bir çökelti oluşabilmektedir. İnceleme alanlarından alınan su numunelerin Cu değeri 8.2-32.3 µg/L aralığında olup TSE standardı (TS-266, 2005) izin verilebilir en üst değere uygundur.

#### **3.2.4.4. Alüminyum (Al)**

Alüminyum yer kabuğunda en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen az çözülmesi sebebiyle yeryüzündeki sulara önemsiz miktarda bulunur. pH'ın 5-9 aralığında olduğu sulara, alüminyum 1 ppm 'den azdır. Alüminyumun suda bulunuşu, özellikle suyun kökeni ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şahinci, 1986). Bu nedenle bazı suların bileşiminde daha yüksek konsantrasyonda alüminyuma rastlanır. Alüminyum silikat halinde magmatik kayalarda, feldisplatlarda, feldispatoitlerde ve mikalarda, boksitte ve demirce zengin lateritte bulunur. İnsanlar için Al temel besin maddelerinden değildir. Fosfat tuzları halinde kompleks olarak su ve gıdalardan alınır. Al iyonu, organik madde, sülfat ve florür ile kuvvetli kompleks iyonlar verir.

İçme ve kullanma sularında izin verilebilir maksimum Al değeri <200 µg/l'dir. Örneklerin Al değerleri 200 µg/l'nin altındadır. Bu değerler TSE içme ve kullanma suyu standardına (TS-266, 2005) uygundur.

#### **3.2.4.5. Kadmiyum (Cd)**

Cd, doğada genelde Zn, Cu ve Pb elementleri ile birlikte ince partiküller halinde bulunur. Cd ve bileşikleri kanserojenik olup, başağrısı, susuzluk hissi, bronşit, sinirlilik, anemi, böbrek taşı gibi rahatsızlıklara neden olabilmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). İnceleme alanlarından alınan su numunelerin Cd değeri <15 µg/l olup TSE standardı (TS-266, 2005) izin verilebilir sınırlar içerisinde.

#### **3.2.4.6. Kobalt (Co)**

Co, canlıların beslenmesinde önem taşımakta olup, B12 vitamininin merkez yapı taşı konumundadır. Günlük kobalt ihtiyacı ise 5 µg kadardır. Eksikliğinde ise kansızlık riski artmaktadır. Dayanıklı ve oksitlenmeye karşı dirençli bir metal olması nedeniyle sanayide kullanımı yaygındır. İnceleme alanlarından alınan su numunelerin Co değeri birkaç örnek dışında 10 µg/l'nin altındadır.

#### **3.2.4.7. Nikel (Ni)**

Ni bileşikleri pratik olarak suda çözünmeyip, sulardaki doğal nikel miktarı çok düşüktür. Bu element vücuda solunum, içilen su ve beslenme yoluyla alınmaktadır. Ni toksik bir element olmadığından, gıda ve sulara belirli bir miktarda bulunması ciddi bir sağlık problemi yaratacağı düşünülmemektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). İçme ve kullanma sularında izin verilebilir maksimum Ni değeri  $<20 \mu\text{g/l}$  olup, inceleme alanlarından alınan suların Ni değerleri birkaç örnek dışında  $10 \mu\text{g/l}$  nin altındadır. Genel olarak Ni içerikleri TSE standardı (TS-266, 2005) izin verilebilir aralıklara uygundur.

#### **3.2.4.8. Kurşun (Pb)**

Bir diğer ağır metal olan Pb elementi doğada en çok PbS, PbZn vb. bileşikleri halinde bulunmaktadır. İnsan vücudunda çok farklı (içme suyu, yiyecek, sigara, toz, toprak, hava, boya) yollardan alınmakta olup toksik etkisi bulunmaktadır. İçme ve kullanma sularında izin verilebilir maksimum Pb değeri  $<50 \mu\text{g/l}$  dir. İnceleme alanlarından alınan sulara ise Pb değerleri Köse ilçesinden alınan su örneklerinden 6 örnek (OD-13, OD-14, Ç-2, Ç-3, Ç-4, Ç-5), Kelkit ilçesinden alınan sulara ise 14 örnek (OD-8, OD-9, OD-10, OD-11, OD-12, OD-13, Ç-1, Ç-2, Ç-12, Ç-13, Ç-14, SD-1, SD-2, SD-3) hariç, diğer numularda izin verilebilir sınırlar içerisinde dir.

#### **3.2.4.9. Krom (Cr)**

Bir diğer ağır metal olan Cr elementinin  $\text{Cr}^{+6}$  iyonu kanserojen özellikte olup, içme sularında bulunması ciddi sağlık problemlerine neden olabilmektedir. Sulara Cr elementinin bulunması su kirliliğine işaret etmektedir. İçme ve kullanma sularında izin verilebilir maksimum Cr değeri  $<50 \mu\text{g/l}$ 'dir. Cr elementinin en önemli kaynak kayalarından olan ultramafik kayaların çalışma alanı ve yakın civarında gözlenmemesi nedeniyle örneklerin Cr değerleri  $10 \mu\text{g/l}$ 'nin altındadır. Bu değerler TSE içme ve kullanma suyu standardına (TS-266, 2005) uygundur.

Tablo 3.6. Kelkit ve Köse İlçe merkezlerinden alınan örneklerin önemli bazı element analiz sonuçları

Element	İletkenlik	Sertlik	Ca	Mg	Na	K	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe	Zn	Cu	Al	Mn	Cd	Co	Ni	Pb	Cr
Örn./Birim	µS/cm	#Fr	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
<i>Kelkit Örnekleri</i>																			
OD-1	174.3	21.2	32.2	9.9	14.0	1.27	6.5	39.6	102.4	80.4	56.0	27.2	11.4	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	<15.0	<10.0
OD-2	172.9	18.0	31.9	9.8	13.5	1.12	5.9	33.6	103.8	80.8	63.3	22.2	12.6	<12.5	<15.0	<b>36.7</b>	<10.0	<15.0	<10.0
OD-3	174.3	20.0	32.8	10.2	13.6	1.12	6.0	32.2	102.4	85.1	59.2	18.6	<10.0	<12.5	<15.0	<b>45.2</b>	<10.0	<15.0	<10.0
OD-4	173.7	8.4	34.1	10.6	13.4	1.01	5.0	32.4	102.4	75.9	42.2	18.7	11.5	<12.5	<15.0	<b>65.7</b>	<10.0	<15.0	<10.0
OD-5	175.3	22.0	34.3	9.7	13.4	1.09	6.0	30.0	102.4	76.4	53.4	18.3	14.4	<12.5	<15.0	<b>78.9</b>	<10.0	<15.0	<10.0
OD-6	710.0	28.8	79.7	19.4	33.3	0.99	36.1	130.8	317.1	69.5	52.0	19.3	15.2	<12.5	<15.0	<b>53.5</b>	<10.0	<15.0	<10.0
OD-7	173.9	14.0	29.3	7.7	13.8	1.09	3.3	40.4	98.2	76.7	63.1	32.3	10.6	<12.5	<15.0	<10.0	11.5	47.3	<10.0
OD-8	174.7	18.0	31.9	7.6	13.8	1.16	3.7	35.6	91.2	85.5	43.6	25.9	10.1	<12.5	<15.0	<10.0	15.2	<b>69.2</b>	<10.0
OD-9	173.6	20.8	30.5	7.5	13.7	1.13	4.9	32.2	112.2	82.6	55.6	28.4	11.9	<12.5	<15.0	<10.0	13.9	<b>85.1</b>	<10.0
OD-10	299.0	15.6	36.7	10.3	5.5	1.55	5.6	20.4	178.2	78.6	55.4	21.5	<10.0	<12.5	<15.0	<10.0	13.2	<b>102.2</b>	<10.0
OD-11	1386.0	<b>70.8</b>	165.0	21.8	36.9	2.72	142.1	92.0	472.8	73.0	65.7	28.3	20.5	<12.5	<15.0	<10.0	16.9	<b>125.3</b>	<10.0
OD-12	173.1	22.4	33.9	7.9	13.8	1.09	8.1	40.4	109.4	80.5	53.9	21.2	12.5	<12.5	<15.0	<10.0	14.3	<b>89.1</b>	<10.0
OD-13	174.5	28.8	32.4	7.8	13.5	1.07	5.7	32.3	105.2	77.0	70.3	17.6	13.1	<12.5	<15.0	<10.0	10.8	<b>78.1</b>	<10.0
C-1	563.0	29.6	100.8	14.0	32.9	0.36	16.0	59.9	305.9	70.7	68.0	16.8	16.8	<12.5	<15.0	<10.0	14.1	<b>69.6</b>	<10.0
C-2	745.0	29.6	103.3	13.9	34.2	0.36	35.5	87.3	408.3	69.9	76.3	15.3	16.2	<12.5	<15.0	<10.0	12.2	<b>57.5</b>	<10.0
C-3	508.0	25.2	78.7	12.9	32.9	0.31	44.4	65.8	287.6	68.5	59.2	14.1	18.9	<12.5	<15.0	<10.0	10.1	45.3	<10.0
C-4	663.0	29.6	106.1	13.0	30.6	0.82	31.7	58.2	374.6	65.8	75.5	14.4	18.8	<12.5	<15.0	<10.0	10.7	49.1	<10.0
C-5	698.0	34.4	105.6	13.3	34.5	0.49	30.7	65.6	416.7	65.2	75.2	15.1	21.0	<12.5	<15.0	<10.0	13.3	31.2	<10.0
C-6	680.0	33.2	102.0	14.5	33.4	0.94	53.7	145.2	286.2	68.1	87.6	16.5	19.8	<12.5	<15.0	<10.0	12.1	29.9	<10.0
C-7	175.1	14.8	32.1	7.5	13.4	1.09	7.8	39.1	101.0	73.9	68.7	14.5	23.2	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	18.2	<10.0

Tablo 3.6'nın devamı

Element	İletkenlik	Sertlik	Ca	Mg	Na	K	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe	Zn	Cu	Al	Mn	Cd	Co	Ni	Pb	Cr
Örn./Birim	µS/cm	#Fr	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
<i>Kelkit Örnekleri</i>																			
C-8	486.0	28.8	90.2	14.1	9.1	1.21	9.4	81.6	269.4	67.1	81.9	15.3	18.4	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	<15.0	<10.0
C-9	516.0	30.4	97.4	14.8	10.0	1.78	11.7	87.4	73.0	72.7	69.3	23.8	12.1	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	<15.0	<10.0
C-10	300.0	22.8	77.3	10.9	5.6	1.46	6.5	19.6	178.2	75.6	72.8	18.2	10.0	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	<15.0	<10.0
C-11	398.0	23.6	59.4	13.8	5.8	0.42	11.6	32.3	211.9	77.6	62.2	18.2	<10.0	<12.5	<15.0	<10.0	11.1	34.5	<10.0
C-12	335.0	49.6	112.9	16.1	33.7	1.57	112.3	93.2	343.7	74.9	68.6	22.7	12.6	<12.5	<15.0	<10.0	12.4	<b>78.1</b>	<10.0
C-13	622.0	33.2	84.8	13.0	34.7	0.69	57.0	181.7	253.9	77.3	71.7	18.2	12.6	<12.5	<15.0	<10.0	14.7	<b>92.5</b>	<10.0
C-14	173.6	13.2	35.8	7.7	13.6	1.08	6.2	46.7	117.9	77.8	82.7	17.9	11.2	<12.5	<15.0	<10.0	12.7	<b>103.5</b>	<10.0
SD-1	175.5	14.4	33.8	7.6	13.6	1.21	6.8	35.9	117.9	76.1	74.8	15.9	<10.0	<12.5	<15.0	<10.0	12.2	<b>89.6</b>	<10.0
SD-2	176.2	12.4	35.3	7.7	13.7	1.30	3.7	34.1	102.4	74.0	80.0	15.6	13.9	<12.5	<15.0	<10.0	11.6	<b>89.4</b>	<10.0
SD-3	175.6	14.8	35.6	7.6	13.3	1.23	5.1	31.0	91.2	74.2	89.6	16.1	17.6	<12.5	<15.0	<10.0	11.3	<b>73.1</b>	<10.0
<i>Köse Örnekleri</i>																			
OD-14	166.9	18.4	31.2	9.6	12.3	1.07	4.3	32.4	96.8	62.0	743.4	12.8	20.8	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	<b>65.7</b>	<10.0
OD-13	169.0	14.4	30.4	9.9	11.9	1.08	5.7	25.5	101.0	58.4	382.1	12.2	15.0	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	<b>60.1</b>	<10.0
OD-12	169.5	14.0	30.7	9.7	11.7	1.43	3.8	22.8	99.6	59.5	344.6	12.2	14.4	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	42.8	<10.0
OD-11	169.8	13.2	29.7	10.1	12.1	1.13	4.1	22.3	103.8	63.3	295.8	13.6	10.3	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	21.8	<10.0
OD-10	169.9	18.0	29.8	9.7	12.0	1.17	4.4	26.8	108.0	66.4	221.6	11.8	<10.0	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	23.2	<10.0
OD-9	168.2	28.0	28.2	9.3	11.8	1.18	7.0	25.9	103.8	73.0	154.6	10.9	<10.0	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	<15.0	<10.0
OD-8	170.0	14.0	30.1	10.3	11.9	1.11	4.1	20.9	95.4	71.8	230.2	12.4	12.6	<12.5	<15.0	<b>10.9</b>	<10.0	<15.0	<10.0
OD-7	170.5	16.4	29.5	9.7	11.8	1.14	5.8	24.6	91.2	69.1	114.5	12.8	<10.0	<12.5	<15.0	<b>22.2</b>	<10.0	<15.0	<10.0
OD-6	171.4	9.2	29.6	10.1	11.9	1.12	0.7	23.6	103.8	67.2	108.0	11.4	<10.0	<12.5	<15.0	<b>25.5</b>	<10.0	<15.0	<10.0



Tablo 3.6'nın devamı

Element	İletkenlik	Sertlik	Ca	Mg	Na	K	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe	Zn	Cu	Al	Mn	Cd	Co	Ni	Pb	Cr
Örn./Birim	µS/cm	#Fr	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
<i>Köşe Örnekleri</i>																			
OD-5	179.9	16.0	30.5	10.2	13.9	1.15	3.0	35.1	108.0	71.6	132.8	10.8	15.1	<12.5	<15.0	<b>32.8</b>	<10.0	<15.0	<10.0
OD-4	171.8	9.2	30.1	9.9	13.5	1.17	6.2	33.8	108.0	66.6	357.3	8.8	14.3	<12.5	<15.0	<b>55.4</b>	<10.0	<15.0	<10.0
OD-3	170.6	15.6	29.6	9.9	11.7	1.09	1.7	31.1	99.6	61.6	70.6	8.2	16.5	<12.5	<15.0	<b>75.8</b>	<10.0	<15.0	<10.0
OD-2	170.3	16.0	28.8	9.6	11.6	1.12	5.2	22.7	99.6	61.8	55.2	10.2	16.8	<12.5	<15.0	<b>65.0</b>	<10.0	<15.0	<10.0
OD-1	607.0	34.4	73.9	19.6	33.2	0.68	45.2	72.4	307.3	59.5	35.0	13.1	18.5	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	24.2	<10.0
Ç-5	433.0	28.8	67.0	16.4	26.6	0.51	20.2	44.9	248.3	60.3	155.2	15.7	17.8	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	<b>52.6</b>	<10.0
Ç-4	771.0	33.6	103.3	21.8	35.4	3.04	42.4	113.8	391.4	58.9	136.9	18.7	21.0	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	<b>83.2</b>	<10.0
Ç-3	584.0	30.4	65.0	21.2	36.5	0.48	40.9	93.8	252.5	61.5	139.5	17.5	20.4	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	<b>72.8</b>	<10.0
Ç-2	173.2	20.0	30.6	9.6	13.0	1.21	6.6	37.0	115.0	70.9	106.6	18.9	17.6	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	<b>61.4</b>	<10.0
Ç-1	608.0	36.4	72.2	19.6	32.3	0.74	37.3	92.8	304.5	67.5	100.9	21.2	13.8	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	40.2	<10.0
SK-1	645.0	45.6	67.6	20.4	33.4	0.37	37.8	141.1	321.3	72.6	90.9	21.4	12.2	<12.5	<15.0	<10.0	<10.0	33.8	<10.0
TİSS*	<2000	<50	<200	<50	<175	<12	<250	<600		<200	<5000	<3000	<200	<50	<5	≤10	<50	<50	<50
DSTİSS**	-	<50	-	-	<200	-	<250	<250		-	-	-	<200	<500	<10	-	-	<50	<50

#Fr: Fransız su sertliği, \*TİSS: Türkiye İçme Suyu Standardı, \*\*DSTİSS: Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu Standardı.

### 3.2.5. Hidrokimyasal Fasiyes sınıflaması

Fasiyes, herhangi bir cisim veya sistemin birbirinden farklı fakat köken olarak ilişkili parçaları olarak tanımlanır (Freeze and Cherry, 1979). Bir akiferde su akarken litolojik yapıyla etkileşime uygun karakteristik bir kimyasal bileşim sunar. Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar, ayrı ayrı olmak üzere litrede eşdeğer gram cinsinden toplam çözünmüşlerin %50'sinden fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir.

Bu kısımda suları sınıflamak ve hidrojeokimyasal işlevlerini tanımlamak için Piper Diyagramı (1944) ve suların kimyasal içeriklerini karşılaştırmak amacıyla da Logaritmik Schoeller Diyagramı (1962) kullanılmıştır.

#### 3.2.5.1. Piper Diyagramı

İnceleme alanından derlenen su numunelerinin jeokimyasal sınıflaması Piper diyagramı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.16; Tablo 3.7). Üçgen diyagramlarda suların sınıflaması farklı şekillerde yorumlanıp, anyon ve katyon sınıflamaları ayrı ayrı yapılmıştır (Piper, 1944).

Yapılan sınıflamaların kalitatif olması nedeniyle, suların geldiği kaya hakkında kesin yargıya varılamayıp, jeolojik ve diğer verilerin ışığı altında suların kökeni açıklığa kavuşturulabilir. Bu nedenle Piper diyagramı, suların karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.

İnceleme alanından alınan su numunelerinden, Piper diyagramı çiziminde kullanılan parametreler meq/l birimine çevrilerek diyagrama atılmıştır.

Derlenen su numunelerinin katyonlarından  $\text{Ca}^{+2}$  iyon değerleri Kelkit örnekleri için 1.46-8.25 meq/l ve Köse örnekleri için 1.41-5.17 meq/l aralığındadır.

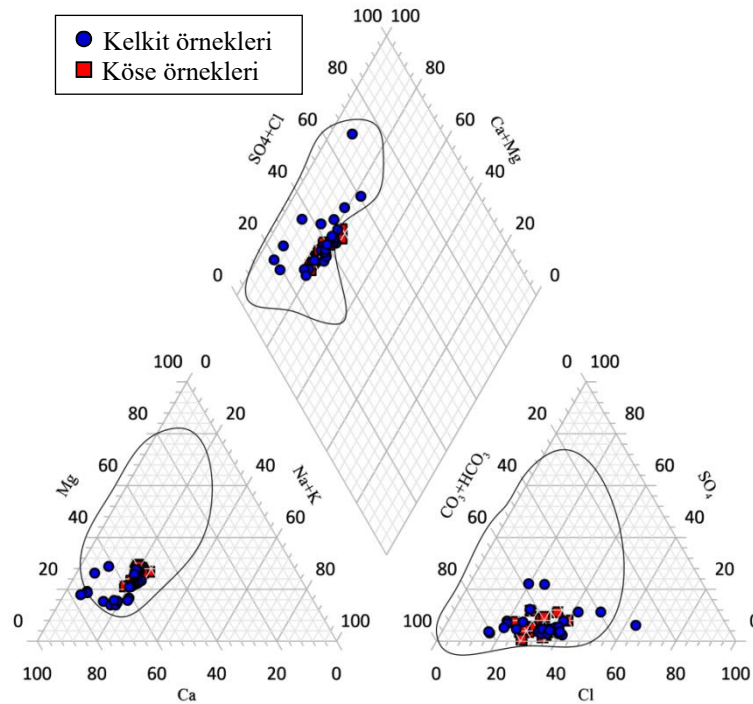
$\text{Mg}^{+2}$  iyon değerleri ise Kelkit örnekleri için 0.62-1.34 meq/l ve Köse örnekleri için 0.78-1.82 meq/l arasındadır.

$\text{Na}^{+}$  iyon değerleri Kelkit örnekleri için 0.24-1.60 meq/l ve Köse örnekleri için 0.50-1.59 meq/l arasında değişmekte iken,  $\text{K}^{+}$  iyon değerleri Kelkit örnekleri için 0.01-0.07 meq/l ve Köse örnekleri için 0.01-0.08 meq/l aralığında değişim sergilemektedir (Tablo 3.7).

Ayrıca alınan su numunelerinin anyonlarından  $\text{Cl}^-$  iyon değerleri Kelkit örnekleri için 0.56-5.19 meq/l ve Köse örnekleri için 0.60-4.03 meq/l aralığında,  $\text{SO}_4^{2-}$  iyon değerleri Kelkit örnekleri için 0.07-2.96 meq/l ve Köse örnekleri için 0.01-0.94 meq/l aralığında,  $\text{HCO}_3^-$  iyon değerleri Kelkit örnekleri için 1.20-7.75 meq/l ve Köse örnekleri için 01.50-6.42 meq/l aralığında değişmektedir (Tablo 3.7).

Alınan tüm örneklerden katyon olarak en yüksek  $\text{Ca}^{+2}$  iyon değeri ve anyon olarak en yüksek  $\text{HCO}_3^-$  iyon değeri Kelkit örneklerinde bulunmaktadır.

Piper diyagramında eşkenar üçgenlerde örneklerin dağılımına göre çalışma alanından derlenen suların bileşimlerinin bikarbonatlı ( $\text{HCO}_3^-$ ) ve  $\text{Ca}$ 'lu bileşimli oldukları, eşkenar dörtgende ise düşük  $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$  içeren  $\text{Ca} + \text{Mg}$ 'lu karışık bileşimli sular olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Kelkit ve Köse su numunelerinin Piper diyagramında sınıflandırılması. Kapalı alanlar Gümüşhane İl merkezi içme sularının değerlerini (Uslu, 2014) göstermektedir.

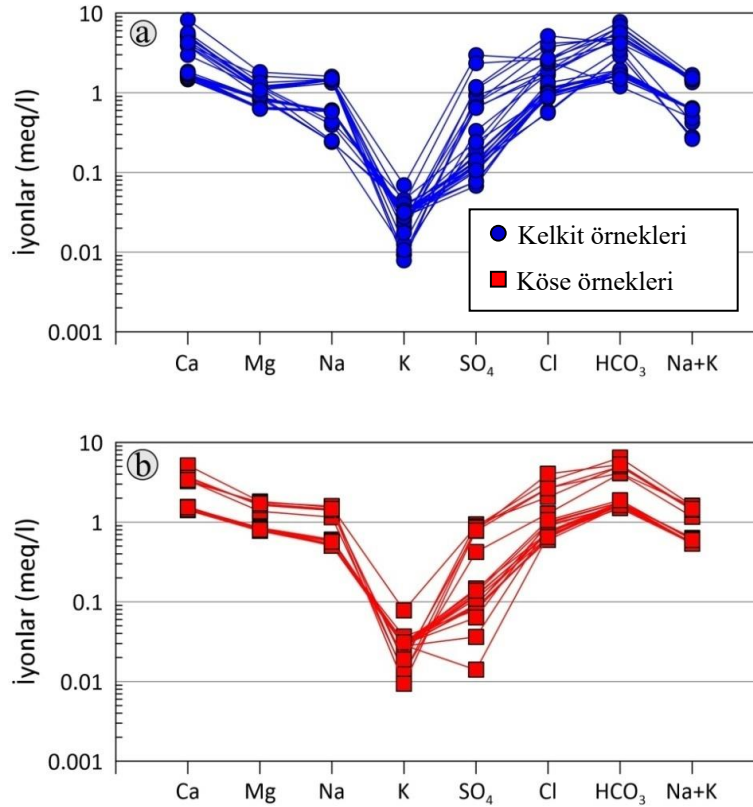
Tablo 3.7. Su numunelerine ait Piper diyagramında kullanılan parametre değerleri (meq/l)

Element	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub>	% Hata oranı
<i>Kelkit Örnekleri</i>								
OD-1	1.61	0.83	0.61	0.03	1.13	0.13	1.68	2.21
OD-2	1.60	0.82	0.59	0.03	0.96	0.12	1.70	4.24
OD-3	1.64	0.85	0.59	0.03	0.92	0.13	1.68	6.54
OD-4	1.70	0.88	0.58	0.03	0.93	0.10	1.68	8.21
OD-5	1.72	0.81	0.58	0.03	0.86	0.12	1.68	8.17
OD-6	3.98	1.62	1.45	0.03	3.74	0.75	5.20	-15.59
OD-7	1.46	0.64	0.60	0.03	1.15	0.07	1.61	-1.76
OD-8	1.60	0.63	0.60	0.03	1.02	0.08	1.50	4.93
OD-9	1.53	0.63	0.59	0.03	0.92	0.10	1.84	-1.51
OD-10	1.84	0.86	0.24	0.04	0.58	0.12	2.92	-9.78
OD-11	8.25	1.81	1.60	0.07	2.63	2.96	7.75	-6.38
OD-12	1.70	0.66	0.60	0.03	1.15	0.17	1.79	-2.19
OD-13	1.62	0.65	0.59	0.03	0.92	0.12	1.73	2.04
C-1	5.04	1.16	1.43	0.01	1.71	0.33	5.01	3.95
C-2	5.17	1.16	1.49	0.01	2.49	0.74	6.69	-11.87
C-3	3.94	1.08	1.43	0.01	1.88	0.92	4.72	-7.64
C-4	5.31	1.08	1.33	0.02	1.66	0.66	6.14	-4.47
C-5	5.28	1.11	1.50	0.01	1.87	0.64	6.83	-8.38
C-6	5.10	1.21	1.45	0.02	4.15	1.12	4.69	-12.28
C-7	1.61	0.62	0.58	0.03	1.12	0.16	1.66	-1.63
C-8	4.51	1.17	0.39	0.03	2.33	0.20	4.42	-6.39
C-9	4.87	1.24	0.44	0.05	2.50	0.24	1.20	25.20
C-10	3.87	0.91	0.24	0.04	0.56	0.14	2.92	16.54
C-11	2.97	1.15	0.25	0.01	0.92	0.24	3.47	-2.87
C-12	5.64	1.34	1.46	0.04	2.66	2.34	5.64	-11.24
C-13	4.24	1.08	1.51	0.02	5.19	1.19	4.16	-21.27
C-14	1.79	0.64	0.59	0.03	1.34	0.13	1.93	-5.32
SD-1	1.69	0.63	0.59	0.03	1.03	0.14	1.93	-2.56
SD-2	1.77	0.64	0.60	0.03	0.97	0.08	1.68	5.30
SD-3	1.78	0.63	0.58	0.03	0.89	0.11	1.50	9.67
<i>Köse Örnekleri</i>								
OD-14	1.56	0.80	0.53	0.03	0.93	0.09	1.59	5.79
OD-13	1.52	0.83	0.52	0.03	0.73	0.12	1.66	7.23
OD-12	1.54	0.81	0.51	0.04	0.65	0.08	1.63	10.07
OD-11	1.48	0.84	0.53	0.03	0.64	0.08	1.70	8.62
OD-10	1.49	0.81	0.52	0.03	0.77	0.09	1.77	3.99
OD-9	1.41	0.78	0.51	0.03	0.74	0.15	1.70	2.66
OD-8	1.50	0.85	0.52	0.03	0.60	0.09	1.56	12.73
OD-7	1.47	0.81	0.51	0.03	0.70	0.12	1.50	9.78
OD-6	1.48	0.84	0.52	0.03	0.68	0.01	1.70	9.07
OD-5	1.53	0.85	0.61	0.03	1.00	0.06	1.77	2.96
OD-4	1.50	0.83	0.59	0.03	0.97	0.13	1.77	1.44
OD-3	1.48	0.83	0.51	0.03	0.89	0.04	1.63	5.22
OD-2	1.44	0.80	0.50	0.03	0.65	0.11	1.63	7.42
OD-1	3.69	1.63	1.45	0.02	2.07	0.94	5.04	-8.47
Ç-5	3.35	1.37	1.16	0.01	1.28	0.42	4.07	0.93
Ç-4	5.17	1.82	1.54	0.08	3.25	0.88	6.42	-10.21
Ç-3	3.25	1.77	1.59	0.01	2.68	0.85	4.14	-7.37
Ç-2	1.53	0.80	0.57	0.03	1.06	0.14	1.89	-2.52
Ç-1	3.61	1.63	1.40	0.02	2.65	0.78	4.99	-11.64
SK-1	3.38	1.70	1.45	0.01	4.03	0.79	5.27	-21.27

### 3.2.5.2. Schoeller Diyagramı

Schoeller Diyagramı logaritmik ölçekli dikey ekseninde element konsantrasyonlarının meq/l, yatay ekseninde  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  iyonlarını içeren yarı logaritmik bir diyagramdır. Gerek benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması, gerekse iyonların topluca tek bir diyagramda görülmesi açısından sık kullanılır. Schoeller diyagramında aynı kökenli, aynı akifer ve beslenme alanına sahip suların iyon dağılımları paralellik gösterir. Çalışma alanına ait sularının Schoeller diyagramındaki konumları Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

Schoeller Diyagramı’nda tüm suların iyonları incelendiğinde, meq/l değerlerini birleştiren doğrular birbiri ile çakışmakta ya da paralel geçmektedir. Bunun sebebi, suların beslenme kaynağının aynı olması mevsimsel değişimlerden etkilenmemesidir. Grafiklerde hem Kelkit hem Köse çeşme örneklerinde  $\text{SO}_4$  içeriklerinin daha yüksek oldukları, bu sebeple grafik üzerinde gruplaşma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.17. İncelenen örneklere ait Schoeller diyagramı.  
(a) Kelkit Örnekleri. (b) Köse örnekleri

### 3.3. Su - Kayaç Etkileşimi

Kıtasal kabuktaki suların kimyasal içeriği su-kayaç etkileşimi sonucu gelişir. Yerkabuğunu oluşturan kayalar magmatik, başkalaşım ve çökel kayalar diye 3 sınıfa ayrılır. Her kaya grubu kendi içerisinde sınıflara ayrılır, içerdikleri bazı mineral ve elementler kendilerine özgüdür. Magmatik kayaların ortak en önemli elementi silisyumdur. Ultrabazik ve bazik kayalarda bu element ender olarak  $\text{SiO}_2$  şeklinde bulunur. Asidik kayalarda ise silis, önemli miktarlarda kuvarz veya amorf silis özelliğini taşır. Magmatik kaya mineralleri kimyasal bozunmaya karşı dayanıklı olduklarından tuz miktarı oldukça azdır. Buna karşın, ultrabazik ve bazik kaya mineralleri, asidik kaya minerallerine oranla daha az dayanıklıdır.

Doğada en çok bulunan metamorfik kayalar arduvaz, şist ve gnayslardır. Arduvaz ve şistlerin geçirimsizliğinin düşük, kristal boyutlarının küçük olması su – kayaç etkileşim süresinin artmasına neden olur. Böylece, suların buharlaşma kalıntıları yüksektir tüm iyonlar bol miktarda bulunur. Tek tür minerallerin hakim olduğu tortul kayalar, bünyesindeki suya kimyasal özelliğini yansıtır.

Üst kabukta kristalen kayaçlardaki suların majör element içerikleri derinliğe göre değişiklik gösterir. Alt kabuktan gelen sular  $\text{Cl}^-$  'ca zenginleşirken yüzeye yakın sular  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  ve  $\text{HCO}_3^-$  'ca zenginleşir (Frape vd., 2003).

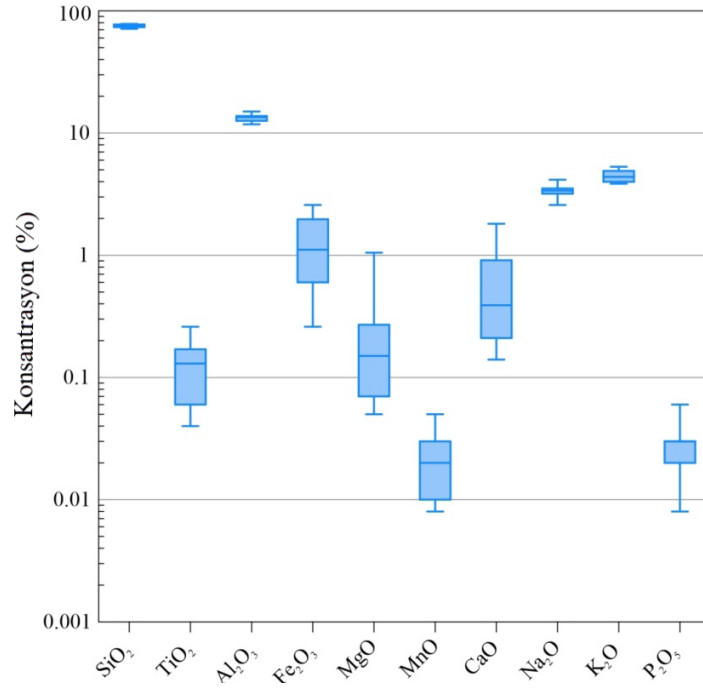
#### 3.3.1. Kayaç Jeokimyası

Çalışma alanında yüzeyleyen birimlerin kimyasal analizleri ile bu birimlerle su-kayaç etkileşiminin kimyasal benzerliklerini karşılaştırmak amacı ile inceleme alanında daha önceki yapılmış çalışmalardan faydalanılarak, farklı kayaç türlerine ait jeokimyasal analiz sonuçları kullanılmıştır. Kelkit Formasyonu'ndan alınan örnekler Saydam Eker (2011) tarafından bölgede yapılan kumtaşlarının jeokimyasal verileri ile, Köse Graniti'nden alınan örnekler ise Dokuz (2011) tarafından bölgede yapılan granit/monzogranitlerin jeokimyasal verileri ile kayaç jeokimyası değerleri kullanılmıştır. Köse graniti genel olarak granit, monzogranit, mafik ve porfiri dayklar ile mikrogranüler magmatik anklavlardan oluşmaktadır. Kelkit Formasyonu ise genellikle konglomera, kumtaşı, kumlu kireçtaşı, şeyl, tuf aralanmalı türbiditik istif özelliğindedir.

Kayaç jeokimyası verileri ana oksit ve iz element değerleri Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da verilmiştir. Yüzeyleyen tüm kayaçlarda (granit, bazalt, kumtaşı) en bol bulunan oksit  $\text{SiO}_2$ ’dir. İkinci sırada ise  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yer almaktadır.

Tablo 3.8. Köse Graniti’ne ait granit/monzogranitlerin tümkayaç jeokimyası (Dokuz, 2011)

Örnek	56a	59a	72a	94	136	144	189	200	207	210	215
Ana Oksitler (%)											
$\text{SiO}_2$	75.82	73.6	76.1	75.31	77.48	76.65	78.19	77.36	71.52	71.28	74.21
$\text{TiO}_2$	0.06	0.16	0.06	0.14	0.09	0.04	0.06	0.17	0.2	0.26	0.13
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13.6	13.99	12.89	13.04	12.58	12.25	11.79	13.49	13.6	15	13.78
$\text{Fe}_2\text{O}_3^*$	0.55	1.97	0.87	1.11	0.6	1.24	1.09	0.26	2.58	2.08	1.57
$\text{MgO}$	0.17	0.2	0.15	0.27	0.06	0.05	0.07	0.08	0.72	1.05	0.13
$\text{MnO}$	0.01	0.03	0.02	0.02	0.008	0.01	0.02	0.01	0.05	0.04	0.03
$\text{CaO}$	0.25	0.21	0.52	0.91	0.39	0.59	0.14	0.21	1.75	1.81	0.31
$\text{Na}_2\text{O}$	3.52	4.15	3.26	3	3.32	3.43	2.58	3.46	3.38	3.19	3.75
$\text{K}_2\text{O}$	4.9	4.06	4.93	4.38	4.13	4.74	5.3	3.92	3.85	3.99	4.81
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.05	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.008	0.03	0.02	0.06	0.03
A.K.	1	1.5	1.1	1.7	1.2	1	0.8	0.8	2.4	1.2	1.2
Toplam	99.93	99.9	99.91	99.92	99.88	100.02	100.06	99.79	100.08	99.97	99.95
İz Elementler (ppm)											
Cr	14	14	14	41	5	21	34	14	75	21	14
Ni	1.7	1.9	2.1	2.8	0.8	1.3	2.6	1.4	2.2	3.8	1.9
Sc	2	11	2	4	3	4	3	5	5	4	10
Ba	728.5	893.4	960.9	793.9	1204.6	172.8	663.9	2841.2	747.4	1310.2	931.7
Co	0.7	1	0.9	1	0.3	0.6	1	0.6	2.7	3.6	0.7
Cs	1	1.5	1.5	2.2	1.5	1.8	0.7	0.6	1.3	3.1	2.1
Ga	11	20.2	13	17	15.1	15.3	12	13.1	16.9	17	18.7
Hf	2.9	6.2	2.5	4.3	3.1	4.3	2.4	4.8	3.5	2.6	6
Nb	3.9	13.1	4.2	9.4	6.4	12.7	5.6	8.6	7	5.5	12
Rb	107.6	133.6	147.3	141.1	109.7	174.5	139	101.7	107.1	106.4	153.2
Sr	156.8	85	150.5	72.4	91.3	43.9	46.8	142.4	91.8	346.3	74.9
Ta	0.8	1.1	0.8	1.1	0.6	1.3	0.6	0.6	0.8	0.4	0.9
Th	10.7	17.9	16.5	12.3	8.4	20.5	8.2	9.9	21.9	22.8	15.5
U	3.2	3.5	2.9	2.2	1.3	1.2	1.5	1.2	2.3	1.5	3.6
Pb	10.9	17.7	9.5	3.4	2.7	6.1	3.1	3.7	3.1	7.5	16.9
V	4	3	4	9	6	2	3	5	17	20	4
W	0.4	0.6	0.5	2	0.6	1.2	0.9	3.9	0.5	1	0.6
Zr	58.3	195.2	53.1	117.1	77.9	89.2	57.5	129.9	101.8	86.6	175.8
Y	27.2	37.6	15.1	24.8	19.7	39.6	20	10.4	29.8	8	35.5
La	6.3	33.3	20.6	32.3	12.5	23.4	12.1	18.3	46.3	77.6	28.7
Ce	29.7	86.5	41.3	64.6	15.7	54.4	28	58.7	88.3	129.2	74
Pr	1.59	7.94	4.08	6.86	2.32	6.37	2.78	3.93	9.7	11.84	6.54
Nd	6.4	29.1	13.8	24.8	8.7	23.1	10.1	13.5	32.1	35.7	24.4
Sm	1.9	6.1	2.6	5	1.9	6.3	2.3	2.1	6	3.9	5.2
Eu	0.4	0.72	0.55	0.52	0.4	0.11	0.36	0.34	0.74	1.23	0.69
Gd	2.21	5.39	2.18	4.24	2.04	5.83	2.41	1.38	4.47	1.83	5.27
Tb	0.55	1.02	0.44	0.72	0.42	1.13	0.52	0.27	0.85	0.28	0.97
Dy	3.96	6.47	2.45	4.13	2.92	7.27	2.85	1.75	4.75	1.39	5.88
Ho	0.89	1.26	0.43	0.82	0.69	1.38	0.63	0.34	0.99	0.26	1.25
Er	2.98	3.97	1.48	2.64	2.08	4.46	2.03	1.08	2.98	0.64	3.76
Tm	0.5	0.65	0.22	0.4	0.3	0.66	0.21	0.06	0.42	0.03	0.54
Yb	3.35	3.88	1.5	2.57	2.18	4.27	1.91	1.24	3.29	0.7	3.59
Lu	0.46	0.62	0.26	0.43	0.31	0.76	0.26	0.1	0.46	0.08	0.55



Şekil 3.18. Köse Graniti'ne ait granit/monzogranit örnekleri ana oksitlerinin dağılımı

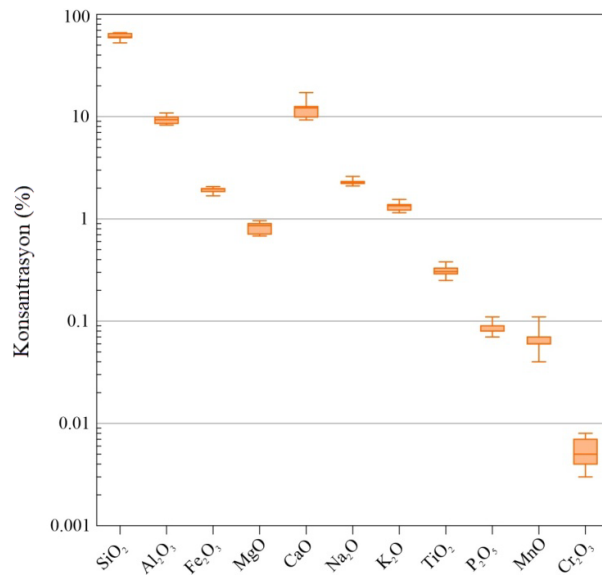
Tablo 3.9. Kelkit Formasyonu kumtaşlarının tümkayaç jeokimyası (Saydam Eker, 2011)

Örnek	P1	P2	P3	P4	P8	P10	P11	P13	P14	P15
<b>Ana Oksitler (%)</b>										
SiO <sub>2</sub>	61.44	52.64	59.15	58.53	59.1	64.95	59.93	64.85	60.45	66.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.86	8.26	9.96	9.9	9.63	9.15	9.51	8.77	8.58	8.51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.97	1.9	1.98	1.98	1.96	1.69	2.07	1.99	1.85	1.68
MgO	0.9	0.88	0.9	0.96	0.84	0.68	0.89	0.71	0.73	0.69
CaO	9.93	17.2	12.27	12.56	12.47	9.63	12.11	9.28	12.58	9.91
Na <sub>2</sub> O	2.6	2.1	2.37	2.26	2.31	2.32	2.22	2.25	2.24	2.22
K <sub>2</sub> O	1.55	1.15	1.35	1.38	1.36	1.34	1.39	1.2	1.22	1.25
TiO <sub>2</sub>	0.34	0.26	0.38	0.32	0.31	0.3	0.33	0.29	0.3	0.25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.08	0.08	0.07
MnO	0.07	0.06		0.05	0.07	0.06	0.11	0.04	0.1	0.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.004	0.005	0.008	0.004	0.005	0.007	0.006	0.005	0.008	0.003
<b>Toplam</b>	<b>99.874</b>	<b>99.825</b>	<b>99.948</b>	<b>99.824</b>	<b>99.835</b>	<b>99.917</b>	<b>99.776</b>	<b>99.865</b>	<b>99.838</b>	<b>99.933</b>
<b>İz Elementler (ppm)</b>										
Sc	7	6	7	7	6	6	6	6	6	6
Ba	229	175	185	622	536	237	1324	207	349	209
Co	6.9	6	4.7	7.5	6.2	4.1	9.2	4.5	4	5.2
Cs	1.7	1.2	1.6	1.7	1.6	1.9	1.9	1.5	1.8	1.9
Ga	11.3	8	9.3	9	9	8.3	9	8.5	8.4	7.7
Hf	2.6	1.8	2.7	2.3	2.4	2.5	2.5	2.9	2.6	2.6
Nb	5.1	3.9	7.3	5.1	4.7	4.5	4.8	4.1	4.1	6.8
Rb	43.9	33	39.9	40	38	39.4	39	35.7	35.1	34.8
Sr	320.8	503.9	403.9	290.9	284.8	294.9	359.5	268.9	379	299.2
Ta	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4



Tablo 3.9'un devamı

Örnek	P1	P2	P3	P4	P8	P10	P11	P13	P14	P15
İz Elementler (ppm)										
Th	4.6	3.8	4.4	4.1	3.8	4.4	4.3	3.7	3.6	3.7
U	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.4	1.4	1.6	1.1	1.2
V	59	53	52	49	45	41	44	43	38	36
W	0.8	0.6	0.8	2.3	0.6	0.8	0.9	0.6	0.8	0.5
Zr	90.7	64.6	97.5	74.5	77.7	94.3	84.5	90.6	87.7	82.7
Y	15.1	13.3	15.2	13.3	14.3	13.6	14.8	12	11.8	12.1
La	17.2	12.3	16.2	14.2	15.4	14.1	15.6	12.9	13.4	12.3
Ce	32.8	22.1	29.6	25.8	27.7	24.7	26.5	21.5	22.6	21.5
Pr	3.96	2.86	3.64	3.19	3.53	3.17	3.44	2.89	2.99	2.9
Nd	15.3	10.3	12.7	11.7	12.1	11.6	11.9	9.4	10.8	9.9
Sm	2.75	2.06	2.53	2.15	2.45	2.22	2.43	2.08	2	1.95
Eu	0.75	0.55	0.68	0.61	0.68	0.56	0.67	0.53	0.54	0.53
Gd	2.59	2.08	2.45	2.01	2.3	2.14	2.51	1.83	1.98	1.95
Tb	0.42	0.33	0.42	0.35	0.4	0.35	0.41	0.33	0.32	0.32
Dy	2.64	2.23	2.59	2.21	2.3	2.05	2.31	1.95	1.97	2
Ho	0.53	0.42	0.49	0.41	0.47	0.43	0.48	0.4	0.38	0.38
Er	1.46	1.17	1.47	1.27	1.26	1.17	1.43	1.22	1.21	1.19
Tm	0.24	0.19	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22	0.2	0.2	0.21
Yb	1.43	1.15	1.41	1.34	1.33	1.24	1.41	1.14	1.36	1.16
Lu	0.23	0.2	0.23	0.21	0.21	0.21	0.22	0.19	0.18	0.19
Mo	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.4	0.9	0.6	1.1	0.7
Cu	8.1	7.7	7.5	7.2	6.4	6.3	7	7	5.9	6.6
Pb	8.4	6.5	7.7	7.6	8.3	7.2	8.8	6.5	6.5	8.4
Zn	38	30	33	32	30	23	34	25	23	24
Ni	13.7	13.8	12.5	16.4	12.2	10.4	14.7	10.3	13.3	12.3
As	8.2	7.9	10.7	8.1	7.4	12	8.6	15.2	7.2	10.7
Sb	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.7	0.5	0.6
Hg	0.13	0.08	0.1	0.04	0.04	0.1	0.06	0.12	0.05	0.08



Şekil 3.19. Kelkit Formasyonu'na ait kumtaşı örneklerinin ana oksit dağılımı

### 3.3.2. Su - Kayaç İlişkisi

Yüzey ve yer altı sularının kimyasını, kayaç kimyası ve sıcaklık, pH, Eh gibi ortam koşulları oldukça fazla etkilemektedir. Su-kayaç etkileşimine ve ortam koşullarına, kayaç kimyasının yanı sıra çevresel faktörlerden iklim koşulları da önemli ölçüde etki etmektedir. Bunun sebebi iklim tipinin, kayaçların ayrışma derecesini, kayaçların ayrışma derecesi ise suyun kimyasal bileşimini etkilemesidir. İnceleme alanındaki içme sularının majör iyon ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{HCO}_3^-$ ) değerleri kullanılarak, hangi kimyasal olaylar sonucu su-kayaç etkileşimi ile suya geçmiş olabilecekleri Hounslow (1995)'e göre değerlendirilmiştir (Tablo 3.10) ve bu değerlendirmeden elde edilen sonuçlar Tablo 3.11'de verilmiştir. Sonuç olarak incelenen kaynakları etkileyen kimyasal olaylar belirlenmiştir (Tablo 3.12).

Tablo 3.10. Su-kayaç etkileşimine bağlı olarak belirlenen sonuçlar (Hounslow, 1995'den düzenlenmiştir)

Parametreler	Değer Aralıkları	Olası Sonuçlar
$\frac{(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-)}{(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{+2})}$	$> 0.2$ ve $< 0.8$ $< 0.2$ ya da $> 0.8$	Olası plajiyoklas ayrışması Plajiyoklas ayrışması
$\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)$	$> 0.5$ $= 0$ $< 0.5$ TDS $> 500$ $< 0.5$ TDS $< 500$ $> 50$ $< 0.5$ TDS $< 50$	Halit-albit dışındaki farklı sodyum kaynağı, iyon değişimi Halit çözültisi Tatlılaşmaya dönüş, deniz suyu Analiz hatası Yağmur suyu
$\text{Mg}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$	$\text{HCO}_3^- / \text{SiO}_2 > 10$ $= 0.5$ $< 0.5$ $> 0.5$ $\text{HCO}_3^- / \text{SiO}_2 < 5$ $> 0.5$ $< 0.5$	Karbonat ayrışması Dolomit ayrışması Kireçtaşı- dolomit ayrışması Dolomit çözültisi, kalsit çökelişi veya deniz suyu Silikat ayrışması Ferromagnezyen mineraller Granit ayrışması
$\text{Ca}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2})$	$= 0.5$ $< 0.5$ pH $< 5.5$ $< 0.5$ nötr $> 0.5$	Jips çözültisi Pirit oksidasyonu Kalsiyum ayrılması- iyon değişimi veya kalsit çökelişi Jipsten farklı kalsiyum kaynağı- karbonat veya silikatlar

Tablo 3.10'un devamı

Parametreler	Değer Aralıkları	Olası Sonuçlar
$(Ca^{+2}+Mg^{+2})/SO_4^{-2}$	$> 0.8$ ve $< 1.2$	Dedolomitleşme
$SiO_2/(Na^++K^++Cl^-)$	$< 1$ $> 1$ ve $< 2$ $> 2$	Kasyon değişimi Albit ayrışması Ferromagnezyen mineraller
TDS	$> 500$ $< 500$	Karbonat ayrışması, tuzlu sular veya deniz suyu Silikat ayrışması
$Cl^-/\Sigma anyon$	$> 0.8$ TDS $> 500$ $> 0.8$ TDS $< 100$ $< 0.8$	Deniz suyu, tuzlu sular veya evaporitler Yağmur suyu Kayaç ayrışması
$HCO_3^-/\Sigma anyon$	$> 0.8$ $< 0.8$ Yüksek sülfat $< 0.8$ Düşük sülfat	Silikat veya karbonat ayrışması Jips çözeltisi Deniz suyu veya tuzlu sular
Doygunluk indeksi	Pozitif 0 Negatif	Kalsitçe aşırı doymun çözelti Kalsitçe doymun çözelti Kalsitçe doymamış çözelti

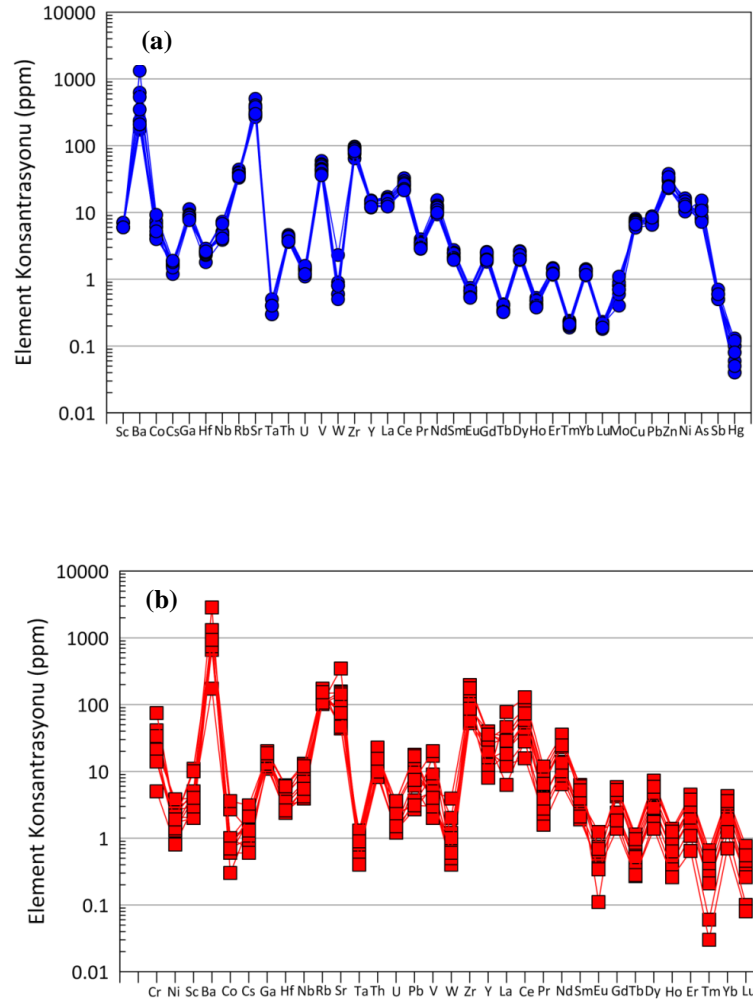
Tablo 3.11.  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  katyonları ile  $Cl^-$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $HCO_3^-$  anyon değişim değerleri (Hounslow, 1995)

Parametreler	Kelkit	Köse
$(Na^++K^+-Cl^-)/(Na^++K^+-Cl^-+Ca^{+2})$	-0.19-12.38	-0.36-2.71
$Na^+/(Na^++Cl^-)$	0.10-0.35	0.19-0.37
$Mg^{+2}/(Ca^{+2}+Mg^{+2})$	0.11-0.24	0.17-0.25
$Ca^{+2}/(Ca^{+2}+SO_4^{-2})$	0.50-0.92	0.61-0.98
$(Ca^{+2}+Mg^{+2})/SO_4^{-2}$	1.15-13.50	2.07-59.06
$SiO_2/(Na^++K^++Cl^-)$	1.02	1.50
$Cl^-/\Sigma anyon$	0.10-0.37	0.14-0.28
$HCO_3^-/\Sigma anyon$	0.42-0.87	0.64-0.80

Tablo 3.12.  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  katyonları ile  $Cl^-$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $HCO_3^-$  anyon değişimlerine bağlı olarak kaya-su etkileşimine göre kimyasal olaylar (Hounslow, 1995)

Parametreler	Kelkit	Köse
$(Na^++K^+-Cl^-)/(Na^++K^+-Cl^-+Ca^{+2})$	Plj ayrışması	Plj ayrışması
$Na^+/(Na^++Cl^-)$	Yağmur suyu	Yağmur suyu
$Mg^{+2}/(Ca^{+2}+Mg^{+2})$	Kireçtaşı-dolomit ayrışması	Granit ayrışması
$Ca^{+2}/(Ca^{+2}+SO_4^{-2})$	Jipsten farklı kalsiyum kaynağı karbonat veya silikatlar	Jipsten farklı kalsiyum kaynağı karbonat veya silikatlar
$(Ca^{+2}+Mg^{+2})/SO_4^{-2}$	Dedolomitleşme yok	Dedolomitleşme yok
$SiO_2/(Na^++K^++Cl^-)$	Albit ayrışması	Albit ayrışması
$Cl^-/\Sigma anyon$	Kayaç ayrışması	Kayaç ayrışması
$HCO_3^-/\Sigma anyon$	Silikat veya karbonat ayrışması	Silikat veya karbonat ayrışması

Tablo 3.11 ve Tablo 3.12 incelendiğinde inceleme alanındaki suların plajiyoklas ayrışması ve yağmur suyu,  $Mg^{+2}$ ,un kaynağını kireçtaşı- dolomit ayrışması,  $Ca^{+2}$ ,un kaynağını Jipsten farklı kalsiyum kaynağı karbonat veya silikatlar, dedolomitleşmenin olmadığı,  $Cl^-$ ’un kaynağını kayaç ayrışması oluşturmaktadır.  $HCO_3^-$  sulara silikat veya karbonat ayrışması sonucu geçmiştir. Çalışma alanınınında incelenen tüm sulardaki  $SiO_2$  ise albit ayrışması sonucu oluşmuştur. Şekil 3.20’de granit ve kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl, tuf türü kayaçlarda Zn, Rb, Zr, Ba, La, Ce gibi iz element içeriğinin yüksek; Hg, Sb, Cd, Se, As gibi iz elementlerin düşük olduğu gözlenmektedir. Suların iz element içerikleri ile kayaçların iz element içerikleri karşılaştırıldığında; bu elementlerinin sulara Kelkit Formasyonu’na ait birimlerden ve granitten geçtiğini göstermektedir.



Şekil 3.20. Su ve kayaçların iz element analiz sonuçları. (a) Kelkit örnekleri. (b) Köse örnekleri.

## 4. TARTIŞMA

### 4.1. Fiziksel ve Jeokimyasal Parametrelerin İrdelenmesi

Su, canlılığın temelini oluşturan ve yaşamsal işlevlerin gerçekleştirilmesinde en ihtiyaç duyulan doğal bir kaynak olup, birçok metabolik olayda önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, biyolojik sistemlerde değişik görevleri olan H, Na, K gibi elementler suda çözünmüş olarak bulunmakta ve canlıların başlıca besin maddelerini oluşturmaktadır. Bu özellik, suda çözülmüş element düzeylerinin önemini vurgulamaktadır. Fizyolojik olayların sürdürülmesinde su, doğrudan veya dolaylı olarak, metabolik işlemlere katılır. Bu sebeple suların belli bir amaç için kullanılabilirliği, su kalitesi ile belirlenmektedir.

İnceleme alanlarından alınan su numunelerinin Kıta İçi Su Kaynakları Sınıfı (RG, 2015)'na göre sınıflaması Tablo 4.1 ve 4.2'de verilmiş ve Türkiye İçme Suyu Standartları açısından ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre; Kelkit yerleşim merkezi içme suyu örneklerinin pH, Na, Ca, Fe, Zn, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> miktarlarına göre I.sınıf (yüksek kaliteli); iletkenlik değerlerine göre OD-11 nolu numune III. sınıf diğer numuneler I. ve II. sınıf; Pb içeriklerine göre I. ve IV. sınıf arasında değişen sular; Co miktarlarına göre I. ve III. sınıf; Cu miktarlarına göre ise I. ve II. sınıf sular özelliğindedir (Tablo 4.1). Köse örnekleri ise Kıta İçi Yerüstü Su Kaynakları'nın pH, Na, Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> sınır değerlerine göre I. sınıf (yüksek kaliteli), iletkenlik miktarlarına göre I. ve II. sınıf; Pb miktarlarına göre I. ve IV. sınıf arasında değişen; Zn ve Co miktarlarına göre I. II. ve III. sınıf; Cu miktarlarına göre Ç-1 ve SK-1 nolu numuneler II. sınıf ve diğer numuneler I. sınıf sular özelliğindedir (Tablo 4.2). İçme sularının kalitesini, çıktığı lokasyonlarda bulunan çakıl, kum, kumtaşı, kireçtaşı, granit, marn gibi jeolojik birimler olumlu yönde etkilemektedir. Özellikle fay zonlarında meydana gelen su-kayaç etkileşimi ile bazı ağır metallerin (Al, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Fe, Mn, Ni, Sb, Se, Pb ve Zn) konsantrasyonlarında artış gözlenebilir. Bununla birlikte suların dağıtımında kullanılan boruların ilksel özellikleri kaybetmesi, aşınması ve deforme olması Pb, Ni, SO<sub>4</sub> değerlerinin artışına sebep olabilmektedir. İnceleme alanından alınan örneklerinde kirletici olarak rol oynayan elementlerin başında Cu, Pb, Co ve Zn gelmektedir. Bazı örneklerde gözlenen bu kirliliğin kurşun boruların korozyonu, endüstriyel ve maden atıklarının içme suyuna karışmış olma ihtimali gösterilebilir.

Tablo 4.1. Kelkit ilçesinde alınan numunelerin kirletici parametreleri ve su sınıfları (anyon-kasyon değerleri mg/l, ağır element konsantrasyon değerleri µg/l cinsindedir)

Örnek No	Alındığı yer	Kirlilik parametresi	Su sınıfı	Kayaç türü
OD-1	Yılmazlar petrol su tankı	pH, iletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Pb	I II	Alüvyon
Ç-1	İstanbul parkı çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Alüvyon
		İletkenlik	II	
		Pb	IV	
Ç-2	İlçe stadyum çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Alüvyon
		İletkenlik	II	
		Pb	IV	
OD-2	Hacı Neşet Yavuz cami şadırvanı	pH, iletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Pb, Zn, Cu	I II III	Alüvyon
Ç-3	İhsan Korkmaz hayrat çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		İletkenlik	II	
		Pb	III	
OD-3	İmam-1 Azam cami şadırvanı	pH, iletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu, Pb	I III	Kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
Ç-4	Hacı Fikri Sözer hayrat çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co	I	Kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		İletkenlik,	II	
		Pb	III	
Ç-5	Hatice Uçar hayrat çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu,Co	I	Kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		İletkenlik,	II	
		Pb	III	
OD-4	Kelkit Belediye Binası	pH, iletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Zn, Cu, Pb	I III	Alüvyon
OD-5	Küçük cami şadırvanı	pH, iletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Zn, Cu, Pb	I III	Alüvyon
Ç-6	Küçük cami hayrat çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Alüvyon
		İletkenlik	II	
		Pb	III	
OD-6	Kelkit Belediye hamamı	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Zn, Cu, Pb	I	Alüvyon
		İletkenlik	II	
		Co	III	
OD-7	Topuzlar restaurant	pH, iletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn	I	Alüvyon
		Cu	II	
		Pb	III	

Tablo 4.1'in devamı

Örnek No	Alındığı yer	Kirlilik parametresi	Su sınıfı	Kayaç türü
OD-8	Topuzlar kıraathanesi	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn	I	Alüvyon
		Cu	II	
		Pb	IV	
OD-9	Yeni cami şadırvanı	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn	I	Alüvyon
		Cu	II	
		Pb	IV	
Ç-7	Hokok Hüseyin Çavuş çakıcı hayrat çeşmesi	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Alüvyon
		Pb	II	
SD-1	Kelkit Belediyesi su deposu-1	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Kumtaşı, kilitaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		Pb	IV	
SD-2	Kelkit Belediyesi su deposu-2	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Kumtaşı, kilitaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		Pb	IV	
SD-3	Kelkit Belediyesi su deposu-3	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Kumtaşı, kilitaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		Pb	IV	
OD-10	Toki esentepe cami şadırvanı	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Kumtaşı, kilitaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		Pb	II	
			IV	
OD-11	Köksal petrol su tankı	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Pb	I	Kumtaşı, kilitaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		Cu	II	
		İletkenlik,	III	
		Pb	IV	
Ç-8	Ünlüpınar belde girişi hayrat çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu, Pb	I	Kireçtaşı (Berdiga F.)
		İletkenlik	II	
Ç-9	Ünlüpınar belediye meydanı şadırvan çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, , Pb	I	Kireçtaşı (Berdiga F.)
		Cu, İletkenlik	II	
Ç-10	Ünlüpınar belediye önu çeşme	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu, Pb	I	Kireçtaşı (Berdiga F.)
Ç-11	Hayrat çeşmesi	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu,	I	Kireçtaşı (Berdiga F.)
		Pb	III	
OD-12	Molla Yusuf cami şadırvanı	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Alüvyon
		Pb	II	
			IV	
Ç-12	Karaçayır köy giriş çeşmesi	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Alüvyon
		Pb	II	
			IV	



Tablo 4.1'in devamı

Örnek No	Alındığı yer	Kirlilik parametresi	Su sınıfı	Kayaç türü
Ç-13	Hayrat çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Alüvyon
		İletkenlik	II	
		Pb	IV	
OD-13	Hirikler petrol su tankı	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Alüvyon
		Pb	IV	
Ç-14	Temel Yılmaz sokak hayrat çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu, İletkenlik	I	Alüvyon
		Pb	II	
			IV	

Tablo 4.2. Köse ilçesinde alınan numunelerin kirlenici parametreleri ve su sınıfları (konsantrasyon değeri mg/l cinsindedir)

Örnek No	Alındığı yer	Kirlilik parametresi	Su sınıfı	Kayaç türü
OD-1	Murathanoğulları petrol su tankı	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		iletkenlik	II	
		Pb	III	
OD-2	İrfan Can MYO	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Zn, Cu, Pb	I	Alüvyon
		Co	III	
OD-3	Köse belediye binası	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Zn, Cu, Pb	I	Granit (Köse Graniti)
		Co	III	
		Pb	IV	
Ç-1	Göze suyu	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Zn, Co	I	Alüvyon
		Cu	II	
		Pb	III	
SK-1	Artezyen kuyu suyu	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn	I	Kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		İletkenlik, Cu	II	
		Pb	III	
OD-4	KYK binası	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Cu, Pb	I	Kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		Zn	II	
		Co	III	
OD-5	İlçe devlet hastane binası	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Zn, Cu, Pb	I	Kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		Co	III	
OD-6	Halk eğitim merkezi binası	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Zn, Cu, Pb	I	Kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl, tuf (Kelkit F.)
		Co	III	
OD-7	Tarım ilçe binası	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Zn, Cu, Pb	I	Granit (Köse Graniti)
		Co	III	
OD-8	60. yıl ortaokul binası	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Cu, Pb	I	Granit (Köse Graniti)
		Zn, Co	II	

Tablo 4.2'nin devamı

Örnek No	Alındığı yer	Kirlilik parametresi	Su sınıfı	Kayaç türü
Ç-2	İlçe emniyet müdürlüğü çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu,	I	Granit (Köse Graniti)
		İletkenlik	II	
		Pb	IV	
OD-9	İlçe jandarma komutanlığı binası	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Zn, Cu, Pb, Co	I	Granit (Köse Graniti)
Ç-3	Zarif Kesler hayrat çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Granit (Köse Graniti)
		İletkenlik	II	
		Pb	IV	
OD-10	Dedepaşa cami şadırvanı	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Cu	I	Granit (Köse Graniti)
		Zn	II	
		Pb	III	
OD-11	Merkez cami şadırvanı	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Cu	I	Granit (Köse Graniti)
		Zn	II	
		Pb	III	
Ç-4	Merkez cami çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Granit (Köse Graniti)
		İletkenlik	II	
		Pb	IV	
OD-12	Selçuklular ilkokul binası	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Cu	I	Granit (Köse Graniti)
		Zn	II	
		Pb	III	
OD-13	İlkadım anaokul binası	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Cu	I	Granit (Köse Graniti)
		Zn	II	
		Pb	IV	
Ç-5	Emin ve Kaya Akgül hayrat çeşmesi	pH, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Zn, Cu	I	Alüvyon
		İletkenlik	II	
		Pb	IV	
OD-14	İMKB çok prog. Lise binası	pH, İletkenlik, SO <sub>4</sub> , Na,Ca, Fe, Al, Mn, Cr, Cd, Ni, Cl, HCO <sub>3</sub> , Co, Cu	I	Granit (Köse Graniti)
		Zn	III	
		Pb	IV	

İnceleme alanından derlenen su numunelerinin Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıfları (RG, 2005)'na göre tasnifi yapılmış olup, suların kalitesi I-IV arası değişen sınıflarda olduğu belirlenmiştir. TSE (TS-266) ve WHO (2014) standartlarına göre bazı Kelkit örneklerinin (Ç-1, Ç-2, Ç-12, Ç-13, Ç-14, SD-1, SD-2, SD-3, OD-8, OD-9, OD-10, OD-11, OD-12 ve OD-13) ile Köse numunelerinin (Ç-2, Ç-3, Ç-4, Ç-5, OD-13 ve OD-14) Pb içeriği, izin verilebilir maksimum değer olan  $\leq 50 \mu\text{g/l}$  üzerindedir. Benzer şekilde, Co değerleri Kelkit örneklerinde 5 numunede (OD-2, OD-3, OD-4, OD-5, OD-6) ve Köse örneklerinde ise 7 numunede (OD-2, OD-3, OD-4, OD-5, OD-6, OD-7, OD-8) izin verilebilir maksimum değer olan  $\leq 10 \mu\text{g/l}$  üzerindedir. Diğer element değerleri, izin

verilebilir aralıklar içerisinde dağılım sergilemektedir. Bununla birlikte, Pb ve Co içeriği yüksek çıkan numunelerin alındığı lokasyonlardaki sular kullanım alanı açısından herhangi bir risk teşkil etmemektedir.

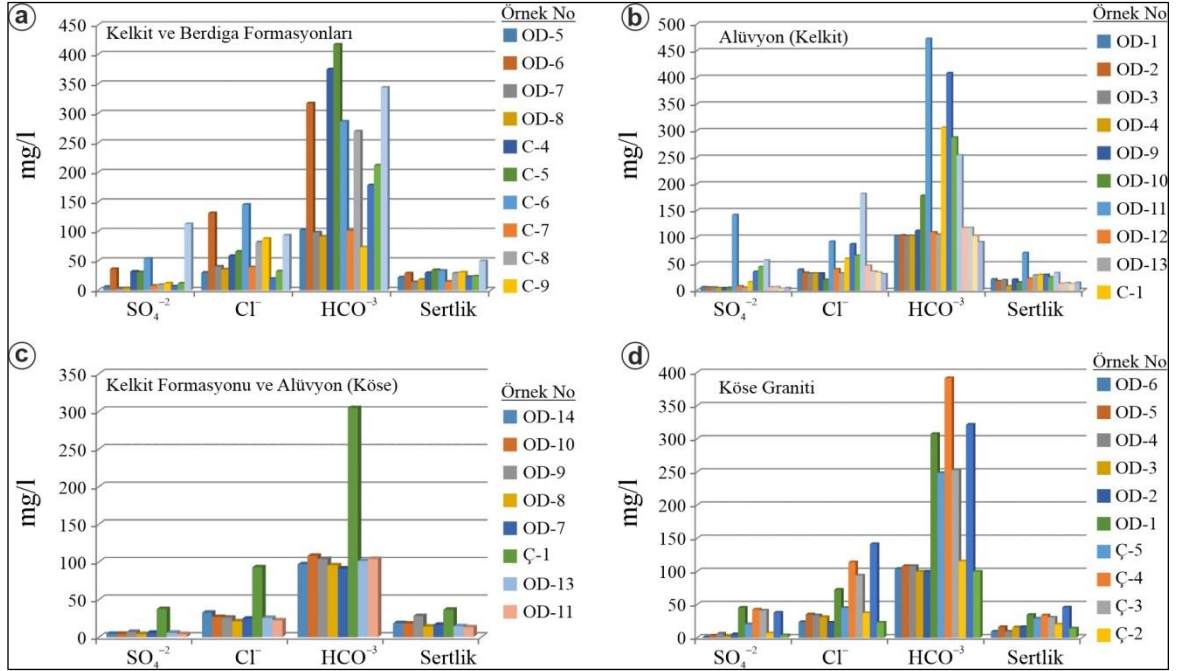
İnceleme alanlarından derlenen numunelerin alındığı yerdeki kayaç türü (suların geçtiği litolojiler) ile sertlik, pH ve elementlerin konsantrasyonu arasında birbiri ile bağlantılı bir ilişki görülmemiştir. Alüvyondan geçen suların sertlikleri “yumuşak” ile “çok sert” arasında düzensiz bir dağılım göstermekle birlikte, pH değerleri de 7.50-8.05 değerleri vermektedir. Kelkit Formasyonu’na ait birimlerden (konglomera, kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl ve tuf ardışımı) alınan suların sertlikleri “yumuşak”tan “orta sert” – “sert”e kadar değişiklik sergilemektedir. Bu örneklerdeki pH dağılımı ise 7.40-8.07 aralığındadır. Her iki litolojiden de alınan suların kalitesi büyük bir çoğunlukla I. sınıf kalitededir. Kelkit yerleşim merkezinde kireçtaşlarından, Köse yerleşim merkezinde ise granitlerden alınan numunelerde de benzer durum gözlenmekte olup, suların sertliği geniş aralıkta değişmektedir. Su kalitesi ise I. ve II. sınıf kalitededir. Ancak, tüm örnekler genel olarak değerlendirildiğinde, sertliği “oldukça sert”, “sert” ve “çok sert” olan numunelerin iletkenlik değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma alanında yüzeyleme veren birimlerin kaya türleri dikkate alındığında,  $\text{Na}^+$  değerlerindeki değişimler ve bazı örneklerdeki yüksek değerler (örneğin OD-1, Ç-1, Ç-3, Ç-4, SK-1, OD-11, C-13) plajiyoklasların ayrışması,  $\text{Mg}^{+2}$  ve  $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$  içeriklerindeki değişim (örneğin OD-3, OD-8, OD-9) ise granit, bazalt ve andezit gibi kayaçlardaki amfibol ve biyotit gibi mafik minerallerin ayrışması sonucu değişim gösterdiği düşünülmektedir.  $\text{Ca}^{+2}$  iyonu plajiyoklas, amfibol ve kalsit gibi minerallerin,  $\text{K}^+$  değerleri ise K-feldspat ve biyotit gibi minerallerin ayrışması sonucu sularda bulunabilmektedir.

Su kalite sınıflamasının bir diğer ölçütü ise sulardaki  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{Cl}^-$  içerikleridir. Kelkit ve Köse örneklerindeki bu parametreler, Gümüşhane il merkezi içme sularındaki değerlere kıyasla daha dar bir aralıkta dağılım sergilemektedir (bkz. Şekil 4.1, Tablo 3.5). Gümüşhane il merkezi örneklerine kıyasla, Kelkit ve Köse örneklerinin  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  ve  $\text{K}^+$  kation ve  $\text{SO}_4^{-2}$  anyon değerleri düşük, buna karşın  $\text{Cl}^-$  ve  $\text{HCO}_3^-$  anyon değerlerinin ise yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu farklılıkların, suların geçtiği litolojiler ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanından derlenen su örneklerinin  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ve sertlik ( $\text{Fr}^\circ$ ) parametreleri topluca değerlendirildiğinde, farklı lokasyonlarda farklı kayaç türünden alınan örneklere ait değerlerin genellikle benzer dağılım sergilediği belirlenmiştir (Şekil

4.1). Çalışma alanındaki sular genel olarak karbonatlı ( $\text{Ca}+\text{Mg}>\text{Na}+\text{K}$ ) ve sülfatlı sular sınıfında olup, genellikle zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden ( $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}+\text{Cl}^-$ ) daha fazladır. Buna ek olarak, örneklerden elde edilen  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{Cl}^-$  değerlerinin kayaların türüne bağlı olarak daha yüksek çıktığı belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Çalışma alanından lokasyon ve kayalar türlerine göre derlenen su numunelerinin  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ve sertlik ( $\text{Fr}^\circ$ ) parametrelerinin karşılaştırılmış dağılımı. (a) Kelkit ve Berdiga Formasyonlarından alınan örneklere ait parametreler. (b) Kelkit yerleşim merkezinde alüvyonlardan alınan örnekler. (c) Köse İlçe merkezinde Kelkit Formasyonu ve alüvyonlardan derlenen numuneler. (d) Köse yerleşim merkezinde Köse Granitinden derlenen numuneler.

## 4.2. Potansiyel Toksik Element İçerikleri

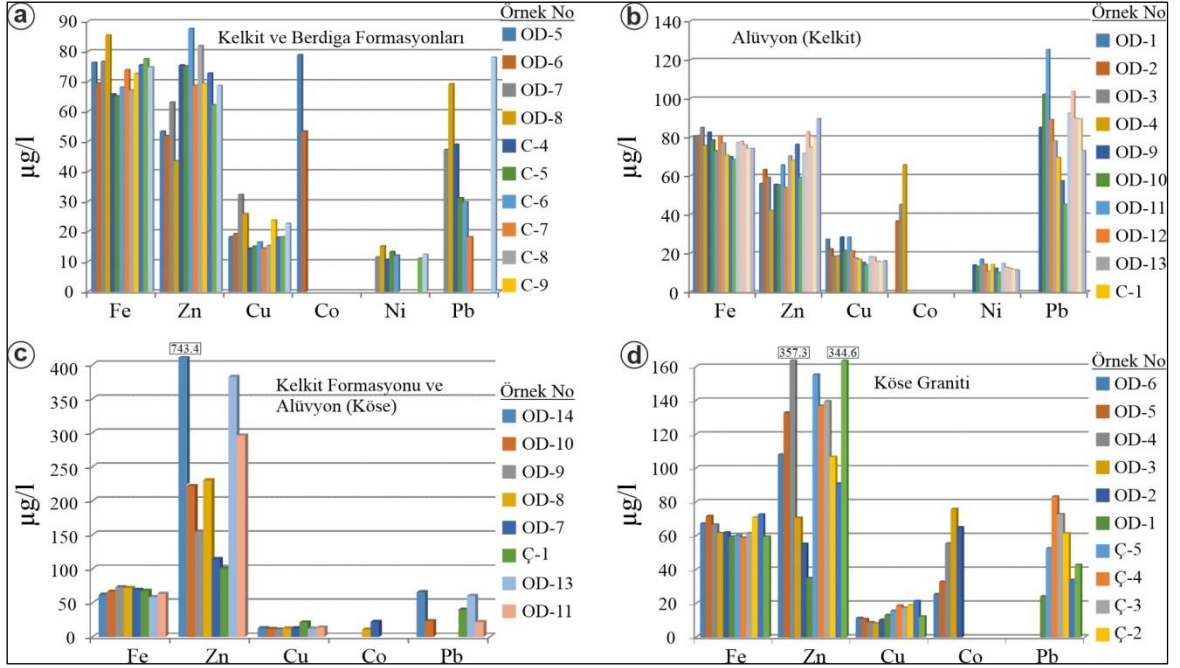
Doğada bulunan sularda yüksek metal element (Fe, Zn, Cu, Co, Ni, Pb vb.) konsantrasyonları canlı yaşamı ve çevresel etkiler açısından büyük problemlere yol açabilmektedir. Bu elementlerden bazıları sularda istenmeyen metalik bir tad ve bulanıklığa sebep olmakta iken, Cu, Pb gibi elementler sağlık açısından ciddi problemler teşkil etmektedir (örneğin Dündar ve Aslan, 2005). Metal içeriği yüksek elementlerin içme suyu dışındaki kullanımları da çevresel açıdan olumsuz etkilere neden olabilmektedir.

Köse ilçesinden alınan su örneklerinden 4 adet örnek (OD-1, OD-2, OD-3, SK-1) hariç, diğer numunelerin Zn değeri (100.9-743.4 µg/l) tavsiye edilen sınır değer (100 µg/l) üzerinde bulunmaktadır. Bu örnekler petrol istasyonu ve bina depolarında kullanım amaçlı depolanan sulardan alındığından, Zn miktarının depoların metal korezyonundan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ancak buna ek olarak, Çözülmüş Zn konsantrasyonu yüksek çıkan numunelerdeki Zn içeriğinin, Kelkit ve Köse yerleşim merkezlerine oldukça yakın bir konumda bulunan Ünlüpınar (Kelkit - Gümüşhane) Pb-Zn±Au Cevherleşmesi (Akbulut vd., 2015) ile ilişkili olabileceği de düşünülmektedir.

Çözülmüş Cu konsantrasyonu yüksek çıkan numunelerdeki Cu içeriğinin, Kelkit ve Köse yerleşim merkezlerine oldukça yakın bir konumda bulunan Ünlüpınar (Kelkit - Gümüşhane) Pb-Zn±Au Cevherleşmesi (Akbulut vd., 2015) ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

İnceleme alanlarından alınan sularda ise Pb değerleri Köse ilçesinden alınan su örneklerinden 6 örnek (OD-13, OD-14, Ç-2, Ç-3, Ç-4, Ç-5), Kelkit ilçesinden alınan sularda ise 14 örnek (OD-8, OD-9, OD-10, OD-11, OD-12, OD-13, Ç-1, Ç-2, Ç-12, Ç-13, Ç-14, SD-1, SD-2, SD-3) hariç, diğer numunelerde izin verilebilir sınırlar içerisinde. Çözülmüş Pb konsantrasyonu yüksek çıkan numunelerdeki Pb içeriğinin, Kelkit ve Köse yerleşim merkezlerine oldukça yakın bir konumda bulunan Ünlüpınar (Kelkit - Gümüşhane) Pb-Zn±Au Cevherleşmesi (Akbulut vd., 2015) ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Çalışma alanından derlenen tüm su numunelerindeki çözülmüş metal elementlerin (Fe, Zn, Cu, Co, Ni, Pb) yerleşim merkezi ve kayaç türüne göre dağılımları (Şekil 4.2)'de verilmiştir. Elementlerdeki bu dağılımlar, çalışma alanı ve yakın çevresinde yüzeyleme veren kayaç türleri ve cevherleşmeler ile doğrudan ilişkilidir. Uslu (2014) tarafından yapılan Gümüşhane İl merkezi içme ve kullanma sularının fiziksel ve jeokimyasal özellikleri ile bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular kıyaslandığında; çalışma alanından elde edilen Cu, Co, Pb, iletkenlik değerlerinin Gümüşhane İl merkezi içme sularına göre yüksek değerler verdiği, buna karşın, Fe, Ni, Mn, Zn, Cd, Al, Cr, Ca, Mg, Na, K,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ve sertlik (Fr) değerlerinin ise benzer dağılım sergilediği ve/veya daha düşük değerler verdiği ortaya konmuştur.



Şekil 4.2. Çalışma alanından lokasyon ve kayaç türlerine göre derlenen su numunelerinin metal (Fe, Zn, Cu, Co ve Pb) element içeriklerinin karşılaştırılmış dağılımı. (a) Kelkit ve Berdiga Formasyonlarından alınan örneklerle ait parametreler. (b) Kelkit yerleşim merkezinde alüvyonlardan alınan örnekler. (c) Köse İlçe merkezinde Kelkit Formasyonu ve alüvyonlardan derlenen numuneler. (d) Köse yerleşim merkezinde Köse Granitinden derlenen numuneler.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kelkit ve Köse (Gümüşhane) ilçe merkezlerindeki içme sularının fiziksel ve jeokimyasal karakteristikleri ortaya konmuş ve bu suların geçtiği litolojiler ile olan ilişkisi irdelenmiştir. Yapılan çalışmalar kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Çalışma alanı tektonik olarak Sakarya Zonu üzerinde ve Doğu Pontidler'in Güney Zonu'nda yer almaktadır. Çalışma alanı ve yakın çevresinde yaşlıdan gence doğru Kurtoğlu Metamorfiti (Erken Karbonifer), Köse Graniti (Geç Karbonifer), Şenköy Formasyonu (Liyas), Berdiga Formasyonu (Jura-Alt Kretase), Kelkit Formasyonu (Erken-Orta Eosen) ve Alüvyon, Yamaç molozu (Kuvaterner) birimleri yüzeyleme vermektedir.
2. Kelkit ve Köse (Gümüşhane) ilçe merkezlerini kapsayan inceleme alanında baskın litolojiyi konglomera, kumtaşı, marn, kumlu kireçtaşı ve şeyl ardışımından oluşan Erken-Orta Eosen yaşlı birimler oluşturmaktadır. Kelkit civarından alınan sular genel olarak Alüvyon, Kelkit ve Berdiga Formasyonlarında yer alan kaynaklardan, Köse örnekleri ise Alüvyon, Kelkit Formasyonu ve Köse Graniti üzerinde yer alan kaynaklardan derlenmiştir.
3. Kelkit yerleşim merkezinden alınan su örneklerinin pH değerleri 7.51-8.07 arasında, Köse İlçe merkezi örneklerinin pH değerleri ise 7.50-8.09 arasında dağılım sergilemektedir. Bu değerler her iki yerleşim merkezinden alınan suların bazik karakterli alkali su olduğunu işaret etmektedir. Elde edilen pH değerleri hem TS 266, hem de Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) standartlarına uygundur.
4. Kelkit örneklerinin iletkenlik değerleri 173.1-1386.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Köse örnekleri değerleri ise 166.9-645.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aralığında olup, elde edilen bu veriler TS 266 ve Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) standartları ile uyumludur.
5. Su kalitesi bakımından Kelkit örnekleri genel olarak “yumuşak”tan “orta sert” ve “sert”e kadar değişiklik sergilemekte olup, genellikle I. sınıf (yüksek kaliteli) kategoride; Köse örnekleri ise “oldukça sert”, “sert” ve “çok sert” özellikte olup, genel olarak I. ve II. sınıf kaliteli su kategorisinde yer almaktadır.



6. İnceleme alanı su örneklerinin bikarbonatlı ( $\text{HCO}_3^-$ ) ve Ca'lu bileşimli ile düşük  $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$  içeren Ca+Mg'lu karışık bileşimli sular olarak sınıflandırılmıştır. Örnekler genel olarak karbonatlı ( $\text{Ca} + \text{Mg} > \text{Na} + \text{K}$ ) ve sülfatlı sular sınıfında olup, genellikle zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden ( $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ ) daha fazladır. Schoeller Diyagramı'nda tüm suların iyonları incelendiğinde, meq/l değerlerini birleştiren doğrular birbiri ile çakışmakta ya da paralel geçmektedir. Bunun sebebi, suların beslenim kaynağının aynı olması mevsimsel değişimlerden etkilenmemesidir. Grafiklerde hem Kelkit hem Köse çeşme örneklerinde  $\text{SO}_4$  içeriklerinin daha yüksek oldukları, bu sebeple grafik üzerinde gruplaşma olduğu gözlemlenmiştir.
7. İncelenen örneklerin Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn ve Al değerleri genel olarak izin verilebilir aralıkta olup, TS-266 ve Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) standartlarına uygundur. Bu değerler aynı zamanda Gümüşhane İl merkezi içme suyu değerleri ile de benzer dağılım sergilemektedir.
8. İncelenen örneklerdeki çözünmüş metal elementlerin (Zn, Cu, Co, Ni, Pb) dağılımı çalışma alanı ve yakın çevresinde yüzeyleme veren kayaç türleri ve cevherleşmeler ile doğrudan ilişkili olup, bazı örnekler dışında izin verilebilir aralıkta dağılım sergilemişlerdir.
9. İnceleme alanındaki suların plajiyoklas ayrışması ve yağmur suyu,  $\text{Mg}^{+2}$ 'un kaynağını kireçtaşı- dolomit ayrışması,  $\text{Ca}^{+2}$ 'un kaynağını Jipsten farklı kalsiyum kaynağı karbonat veya silikatlar, dedolomitleşmenin olmadığı,  $\text{Cl}^-$ 'un kaynağını kayaç ayrışması oluşturmaktadır.  $\text{HCO}_3^-$  sulara silikat veya karbonat ayrışması sonucu geçmiştir. Çalışma alanının incelenen tüm sulardaki  $\text{SiO}_2$  ise albit ayrışması sonucu oluşmuştur. İnceleme alanından derlenen suların iz element içerikleri ile kayaçlardaki iz element içerikleri karşılaştırıldığında, kayaç kimyasının su kimyasını etkilediği görülmektedir (Şekil 3.20). Şekil 3.20'de granit ve kumtaşı, kıltaşı, marn, şeyl, tuf türü kayaçlarda Zn, Rb, Zr, Ba, La, Ce gibi iz element içeriğinin yüksek; Hg, Sb, Cd, Se, As gibi iz elementlerin düşük olduğu gözlenmektedir. Suların ve yan kayaçların iz element içerikleri karşılaştırıldığında; bu elementlerinin sulara Kelkit Formasyonu'na ait birimlerden ve granitten geçtiğini göstermektedir.
10. Gümüşhane İl merkezi içme sularının fiziksel ve jeokimyasal özellikleri ile bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular kıyaslandığında; çalışma alanından elde edilen Cu, Co, Pb, iletkenlik değerlerinin Gümüşhane İl merkezi içme sularına göre yüksek

değerler verdiği, buna karşın, Fe, Ni, Mn, Zn, Cd, Al, Cr, Ca, Mg, Na, K,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ve sertlik (Fr) değerlerinin ise benzer dağılım sergilediği ve/veya daha düşük değerler verdiği ortaya konmuştur.

11. Bu çalışma, Kelkit ve Köse İlçe merkezleri içme sularında gerçekleştirilen ve sağlık açısından önemli olan elementlerin analiz edildiği ve jeokimyasal açıdan yorumlandığı ilk çalışma olma özelliğindedir. Bu nedenle, canlı yaşamın sürdürülebilirliği açısından içme ve kullanma sularının, Gümüşhane'nin maden yatakları bakımından zengin olması da göz önünde bulundurularak, belirli dönemlerde anyon, katyon ve ağır metal analizlerinin yapılması ve izlenmesi son derece önem arz etmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, İ.Ü., Fen Fakültesi, İstanbul, 56.
- Akaryalı, E., Gücer, M.A. ve Alemdağ, S., 2018. Atık Barajı Rezervuarı ve Cevher Stok Alanlarında Asit Maden Drenajı (AMD) Oluşumunun Değerlendirilmesi: Gümüşhane Örneği. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4, 2, 192-209.
- Akbulut, K., Akaryalı, E., Akpınar, İ. ve Atay, U., 2014. Gümüşdamla Yayla (Kelkit-Gümüşhane) Pb-Zn±Au±Ag Cevherleşmesinin Petrografisi ve Cevher Mikroskobisi. 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, MTA, Ankara.
- Akbulut, K., Akaryalı, E., Aydınçakır, E. ve Akpınar, İ., 2015. Ünlüpınar Kelkit Gümüşhane Pb Zn Au Cevherleşmesinin Jeolojik Jeokimyasal ve Kökensel Olarak İncelenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 34-39.
- Akıncı, Ö.T., 1984. The Eastern Pontide volcano-sedimentary belt and associated massive sulphide deposits. In: J.E. Dixon & A.H.F. Robertson (Eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Geological Society, London, Special Publications, 17, 415-428.
- Akın, H., 1979. Geologie, magmatismus und lagerstaetten-bildung im ostpontischen Gebirge-Türkei aus der Sicht der Plattentektonik, Geologische Rundschau, 68, 253-283.
- Alp, D., 1972. Amasya yöresinin jeolojisi: İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri, 22, 101, İstanbul.
- Altunkaynak, L., 2000. Ağvanis masifi doğu kesimi ve çevre kayaçlarının jeolojisi, petrografisi ve jeokimyası, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Arslan, M. ve Aliyazıcıoğlu, İ., 2001. Geochemical and Petrological Characteristics of the Kale (Gümüşhane) volcanic rocks: Implications for the Eocene evolution of Eastern Pontide arc volcanism, Northeast Turkey. International Geology Review, 43, 595-610.
- Arslan, M., Tüysüz, N., Korkmaz, S. ve Kurt, H., 1997. Geochemistry and Petrogenesis of the Eastern Pontide Volcanic Rocks, Northeast Turkey. Chemie der Erde Geochem., 57, 157-187.
- Baykal, F., 1952. Kelkit-Şiran Bölgesinde Jeolojik Araştırmalar, MTA Raporu No: 2205, Ankara.
- Bulut, V.N., Gündoğdu, A., Vural, A., Baltacı, C. ve Soylak, M., 2018. Gümüşhane Harşit Çayı'nın Florür İçeriğinin Jeolojik ve Antropojenik Olarak İncelenmesi. International Trace Analysis Congress (ITAC 2018), s: 74, Sivas-Turkey.

- Çoğulu, E., 1975. Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonlarının Mukayeseli Petrolojik ve Jeokronometrik Etüdü. Doçentlik Tezi, İ.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 186s.
- Doğan, L., 1981. Hidrojeolojide Su Kimyası, DSİ yayınları, Ankara, 178s.
- Dokuz, A., 2011. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides: The Köse composite Pluton. Gondwana Research, 19, 926-944.
- Dokuz, A., 2000. Yusufeli yöresinin jeolojisi, jeotektoniği, magmatik-metamorfik kayaların jeokimyası ve petrojenezi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 311s.
- Dokuz, A. ve Tanyolu, E., 2006. Gechemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of lower Jurassic and Upper Cretaceous clastic rocks from the Eastern Pontides, Yusufeli (Arvin), NE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 15, 181-209.
- Dündar, Y. ve Aslan, R., 2005. Yaşamı kuşatan ağır metal kurşunun etkileri. Kocatepe Tıp Dergisi, 6, 1-5.
- Eren, M., 1983. Gümüşhane-Kale Arasının Jeolojisi ve Mikrofasiyes İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Eyüboğlu, Y., 2006. Doğu Pontid Magmatik Yayı'nda (KD Türkiye) Alaska-tip mafik-ultramafiklerin tanımı ve jeotektonik önemi. Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimler Enstitüsü, Trabzon, 204s.
- Folk, R.L., 1962, Spectral subdivision of limestone types. In: Ham, W.E., (Ed.) Classification of carbonate Rocks-A Symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir 1, 62-84.
- Frape, S.K., Blyth, A., Blomqvist, R., McNutt, R.H. ve Gascoyne, M., 2003. Deep Fluids in the Continents: II. Crystalline Rocks. Treatise on Geochemistry, 5, 541-580. Doi: 10.1016/B0-08-043751-6/05086-6
- Freeze, R.A. ve Cherry, J.A., 1979. Groundwater, Prentice- Hall, U.S.A., ISBN- 13: 978-0133653120, 604s.
- Gedikoğlu, A., Özsaray, T. ve Pelin, S., 1979. The main lines of the geotectonic evolution of the Eastern Pontids in Mesozoic Era: geotectonics. 555-850.
- Goldschmidt, V.M., 1958. Geochemistry, Oxford Univ. Press, London, 730s.
- Göncüoğlu, M.C., 2010. Türkiye Jeolojisine Giriş: Alpin ve Alpin Öncesi Tektonik Birliklerin Jeodinamik Evrimi. MTA Monografi Serisi No: 5, Ankara, 69s.

- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1997. Gecekondular ve Çevre Sağlığı. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 48, Ankara.
- Gültekin, F., 1998. Gümüşhane ve Bayburt yöresi mineralli su kaynaklarının hidrokimyası ve izotopik özellikleri, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 188s.
- Gültekin, F., Dilek, R., Fırat Ersoy, A. ve Ersoy, H., 2005. Aşağı Değirmendere (Trabzon) Havzasındaki Suların Kalitesi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 29, 1, 21-34.
- Gültekin, F., Fırat Ersoy, A., Hatipoğlu, E. ve Celep, S., 2012. Trabzon İli Akarsularının Yağışlı Dönem Su kalitesi Parametrelerinin Belirlenmesi, Ekoloji Dergisi, 21, 82, 77-88.
- Gündoğdu, A., Vural, A. ve Baltacı, C., 2017. Fluoride Levels of Surface Waters in Gümüşhane City (NE Turkey) as Drinking and Usage Water Resources. 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering (Cappadocia-2017), Nevşehir-Turkey, s.3677.
- Gündoğdu, A., Vural, A., Bulut, V.N., Baltacı, C. ve Soylak, M., 2018. Gümüşhane'deki Bazı Yüzey Sularının Su Kalitesi Açısından İzlenmesi ve Değerlendirilmesi. International Trace Analysis Congress (ITAC 2018/ES-AN 2018), sayfa:54, Sivas-Turkey.
- Güner, S., 1986. Gümüşhane-Kelkit-Şiran Yöresinin Jeolojisi, MTA, Trabzon.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu, MTA, Ankara.
- Hem, J.D., 1985. Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, U.S. Geological Survey Water Supply Paper, United State Governmet Print Office, No.2254, U.S.A., 263s.
- Hounslow, A.W., 1995. Water Quality Data: Analysis and Interpretation, Lewis Publishers, 54s.
- Kandemir, R. ve Yılmaz, C., 2009. Lithostratigraphy, Facies and Deposition Environment of the Lower Jurassic Ammonitico Rosso Type Sediments (ARTS) in the Gumushane Area, NE Turkey: Implications for the Opening of the Northern Branch of the Neo-Tethys Ocean. Journal of Asian Earth Sciences, 34, 586-598.
- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve Yakın Yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, Doktora Tezi, Karadeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Karslı, O., Dokuz, A. ve Kandemir, R., 2016. Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian magmatism in the Eastern Pontides, the Camlık and Casurluk plutons: Insights from geochemistry, whole-rock Sr-Nd and in situ zircon Lu-Hf isotopes, and U-Pb geochronology. Lithos. doi: 10.1016/j.lithos.2016.10.007

- Kaygusuz, A., Arslan, M., Sipahi, F. ve Temizel, İ., 2016. U-Pb zircon chronology and petrogenesis of Carboniferous plutons in the northern part of the Eastern Pontides, NE Turkey: Constraints for Paleozoic magmatism and geodynamic evolution. Gondwana Research, 39, 327-346.
- Ketin, İ., 1951. Bayburt Bölgesinin Jeolojisi, İ.Ü. Fen Fakültesi Mecmuası, Cilt:16, İstanbul.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. MTA Dergisi, 66, 20-34.
- Kırmacı, Z., 1992. Alucra-Gümüşhane-Bayburt yörelerindeki (Doğu Pontid Güney Zonu) Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Berdiga Kireçtaşı'nın sedimentolojik incelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Lenntech, 2014. <http://www.lenntech.com/ro/water-hardness.htm>
- Lermi, A., 2003. Midi (Karamustafa/Gümüşhane, KD Türkiye) Zn-Pb Yatağının Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal ve Kökensele İncelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Okay, A.I. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan Sutures of Northern Turkey. The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geol. Soc. London Spec. Publ., 156, 475-515.
- Okay, A.I., 1984. Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. In: The geological evolution of the Eastern Mediterranean (Eds.) Dixon, J.E., Robertson, A.H.F.), Geological Society, London, Special Publications. 17, 455-466.
- Okay, A.I., 1989. Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey, in A.M.C. Şengör, ed., Tectonic evolution of the Tethyan region: NATO ASI Series C259, Kluwer, Dordrecht, 109-116.
- Okay, A.I., 2008. Geology of Turkey: A Synopsis. Anschnitt, 21, 19-42.
- Okay, A.I., Sunal, G., Tüysüz, O., Sherlock, S., Keskin, M. ve Kylander-Clark, A.R.C., 2014. Low-pressure-high-temperature metamorphism during extension in a Jurassic magmatic arc, Central Pontides, Turkey. Journal of Metamorphic Geology, 32, 49-69.
- Okay, A.I. ve Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides, In: Robinson, A.G. (Eds.), Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region. AAPG Bulletin, 68, 291-311.
- Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Keskin, E., Oral, A., Özer, S., Sümege, M. ve Tekeli, O., 1980. Amasya-Turhal arasındaki bölgenin jeolojisi, MTA Rap. No: 6722.
- Özdoğan, K., 1992. Karadağ (Torul-Gümüşhane) ve yakın çevresinin jeolojisi-mineralojisi-petrografisi ve maden zuhurlarının jenetik incelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniv. Fen Bil. Enstitüsü, Konya.

- Özsayar, T., Gedikoglu, A. ve Pelin, S., 1981. Artvin Yöresi Yastık-Lavların Yaşına İlişkin Paleontolojik Veriler, KTÜ. Yerbilimleri Dergisi, 1, 1, 38-42.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelemesi, KTÜ yayını, 87, 103.
- Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses. Transactions of the American Geophysical Union 25, 914-923.
- Rankama, K. ve Sahama, T.H.G., 1964. Geochemistry, The univ. of Chicago Pres, Chicago and London, 912s.
- Resmi Gazete, 15/04/2015. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetim Yönetmeliği, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Sayı: 29327, Ankara.
- Robinson, A.G., Banks, C.J., Rutherford, M.M. ve Hirst, J.P.P., 1995. Stratigraphic and structural development of the Eastern Pontides, Turkey. Journal of Geological Society of London, 152, 861-872.
- Rojay, B., 1993. Tectonostratigraphy and neotectonic characteristics of the southern margin of Merzifon-Suluova Basin (Central Pontides, Amasya), PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ. ve Sipahi, F., 2016. Organic geochemistry and element distribution in coals formed in Eocene lagoon facies from the Eastern Black Sea Region, NE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 25, 467-489.
- Saydam Eker, Ç., 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 Geochem., 72, 167-177.
- Saydam, Ç., 2002. 'Doğu Pontidler'de Geç Kretase yaşlı kırıntılı çökellerin sedimanter petrografik ve organik jeokimyasal özellikleri, Doktora Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Schoeller, H., 1962. Les Eaux Souterraines, Mason et cie, Paris, 642p.
- Seymen, İ., 1975. Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Sipahi, F. ve Uslu S., 2016. Investigation of the quality and physical-geochemical characteristics of the drinking water in Gümüşhane (Turkey) city central. Arabian Journal of Geosciences, 9, 600. doi.org/10.1007/s12517-016-2620-6
- Şahinci, A., 1986. Yeraltı Sularının Jeokimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, MM/JEO-86 EY 99, İzmir.
- Şen, C., 2007. Jurassic volcanism in the Eastern Pontides: Is it rift related or subduction related?. Turkish Journal of Earth Sciences, 16, 523-539.



- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. Tectonophysics, 75, 181-241.
- Tahmasebzadeh Bastam, E., 2014. Değirmendere (Trabzon) havzası kaynak sularında su-kayaç ilişkisi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Taslı, K., 1990. Gümüşhane-Bayburt yörelerindeki Üst Jura-Alt Kretase yaşlı karbonat istiflerinin stratigrafisi ve mikropaleontolojik incelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region (NE Turkey), Doktora Tezi, University of College, London.
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Wemer, O. ve Schwarz, W.H., 2004a. Aluminous granulites from the Pulur complex, NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallization. Lithos, 72, 183-207.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwarz, W.H., Dokuz, A. ve Meyer, H.P., 2007. Variscan amphibolite-facies rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex. Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey. International Journal of Earth Sciences, 96, 861-873.
- Topuz, G., Altherr, R., Wolfgang, S., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasanözbek, A., Mathias, B., 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. ve Altherr, R., 2004. Pervasive rehydration of granulites during exhumation-an example from the Pulur complex, Eastern Pontides, Turkey. Mineralogy and Petrology, 81, 165-185.
- Topuz, G., Altherr, R., Satır, M. ve Schwarz, W.H., 2004b. Low-grade metamorphic rocks from the Pulur complex, NE Turkey: implications for pre-Liassic evolution of the Eastern Pontides. International Journal of Earth Sciences, 93, 72-91.
- 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.
- Tuncay, H., 1994. Su Kalitesi. E.U., Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir, 243s.

- Tüysüz, O., 1996. Amasya ve çevresinin jeolojisi, Türkiye 11. Petrol Kongresi Bildirileri, 32-48.
- Uslu, S., 2014. Gümüşhane İl Merkezi İçme Sularının Fiziksel ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Ustaömer, T. ve Robertson, H.F.A., 2010. Late Paleozoic-Early Cenozoic development of the Eastern Pontides (Artvin area), Turkey: stages of closure of Tethys along the southern margin of Eurasia. Geological Society, London, Special Publications, 340, 281-327.
- Vural, A., Bulut, V.N., Alemdağ, S. ve Soylak, M., 2018. Geochemical investigation of the potability of surface water in Torul Çit River (Gümüşhane, NE Turkey). 3rd International Healt Sciences and Management Conference, p.280-286, Sofia, Bulgaria.
- Vural, A. ve Gündoğdu, A., 2017. Determination of Excess Fluoride Content in Surface Waters from Gümüşhane (NE Turkey) Mining/Alteration Areas. 3<sup>rd</sup> International Congress on Environmental Researches and Technology (ICERAT), Belgrade, Serbia.
- Vural, A., Gündoğdu, A. ve Saka, F., 2018. Hydro-chemical evaluation of water quality in Gökdere-Beyçam drainage network (Gümüşhane, NE Turkey). 3rd International Healt Sciences and Management Conference, p.259-263, Sofia, Bulgaria.
- Vural, A., Gündoğdu, A., Saka, F., Bulut, V.N., Alemdağ, S. ve Soylak, M., 2017. The heavy metal effects of alteration fields on the surface waters: Sarıçiçek (Gümüşhane-Turkey) and its near vicinity. The 3rd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS). p.559, Budapest, Hungary.
- WHO (World Health Organization), 2014. <http://www.permoakdeniz.com/icme-suyu-standardi.html>.
- Yılmaz, C., 2002. Gümüşhane-Bayburt Yöresindeki Mesozoyik Havzalarının Tektono-Sedimentolojik Kayıtları ve Kontrol Etkenleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 45, 1, 141-165.
- Yılmaz, C. ve Kandemir, R., 2003. Şenköy Formasyonu: yeni bir Formasyon adlaması. 3.Stratigrafi çalıştay bildirisi özleri, Ankara, 14.
- Yılmaz, Y., 1972. Petrology and Structure of the Gümüşhane Granite and Surrounding Rock, N.E. Andolin, PhD Thesis, University of London, 266s (yayımlanmamış).
- Yılmaz, Y., 1976. Geochemical study of the Gümüşhane Granite, İst. Üniv. Fen. Fak. Mec. Seri B, 39, 3-4, 173-203.

- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genc, Ş.C. ve Şengör, A.M.C., 1997. Geology and tectonics of the Pontides. In: Robinson, A.G. (Eds.), regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region. AAPG Memoirs. 68, 183-226.
- Yılmaz, C. ve Kandemir R., 2006. Sedimentary records of the extensional tectonic regime with temporal cessation: Gumushane Mesozoic Basin (NE Turkey). Geologica Carpathica, 57, 3-13.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Nadire YAZICI, 1992 yılında Balıkesir’de dünyaya geldi. İlk ve orta öğrenimini Balıkesirde tamamlayarak 2010 yılında Balıkesir Anadolu Ticaret Meslek Lisesi Web Tasarımı ve Programcılık Bölümü’nden mezun oldu. Aynı yıl Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nü kazanarak bu bölümden 2014 yılında bölüm birincisi ve onur öğrencisi olarak mezun oldu. 2016 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime başladı. Halen bu bölümde eğitimini sürdüren yazar, C sınıfı İş güvenliği uzmanı olup, evli ve bir çocuk annesidir.