



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



**TORUL ve KÜRTÜN (GÜMÜŞHANE) İLÇE MERKEZİ İÇME SULARININ
FİZİKSEL ve JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasin MERDAN

**KASIM 2020
GÜMÜŞHANE**

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

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TORUL ve KÜRTÜN (GÜMÜŞHANE) İLÇE MERKEZİ İÇME SULARININ
FİZİKSEL ve JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasin MERDAN

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.11.2020
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 25.12.2020**

KASIM 2020

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TORUL ve KÜRTÜN (GÜMÜŞHANE) İLÇE MERKEZİ İÇME SULARININ
FİZİKSEL ve JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Yasin MERDAN

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Enver AKARYALI

2020, 38 sayfa

Bu çalışmada Gümüşhane İli Torul-Kürtün İlçe merkezlerindeki içme sularının kation ve anyon ölçümleri yanı sıra suların pH, Elektriksel İletkenlik (Eİ) ve sertlik (Fr°) gibi fizikokimyasal parametreleri araştırılmıştır. Su örneklerinin pH değerleri 7.54-8.10, iletkenlikleri 119.5-640.0 $\mu S/cm$ ve sertlikleri (Fr°) 9.93-26.22 arasında değişmektedir. Analiz edilen tüm su örneklerinde anyon ve kationların konsantrasyonlarının TS-266 ve Dünya Sağlık Örgütü standartlarına göre kabul edilen sınırları içinde kaldığı belirlenmiştir. TS-266 standartına göre T2 (640 $\mu S/cm$), K9 (479 $\mu S/cm$) ve K11 (477 $\mu S/cm$) nolu örneklerle ait Eİ değerleri hariç diğer tüm örneklerin Eİ değerleri I. sınıf su kalitesine işaret etmiştir. Suların; normal klorürlü ve oligoklorürlü sular, normal sülfatlı, oligosülfatlı ve sülfatlı sular sınıfına girdiği belirlenmiştir. Piper diyagramına göre suların, bikarbonatlı (HCO_3^-) ve kalsiyumlu (Ca), düşük sülfat ve klorür ($SO_4^{-2}+Cl^{-}$) içeren kalsiyum magnezyumlu (Ca+Mg) karışık bileşimli olduğu belirlenmiştir. Kloroalkalin indeksi I ve

kloroalkalin indeksi II'nin pozitif olarak hesaplandığı sularda Na^+ ve K^+ iyonlarının kayalarda yer alan Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonları ile yer değiştirdiği tespit edilmiştir. Sularda karbonat ayrışmasının, silikat ayrışmasından daha etkili olduğu belirlenmiştir. İz element analiz sonuçlarına göre Co ve Pb hariç diğer elementlerin konsantrasyonlarının kabul edilen standartlar içinde yer aldığı tespit edilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, analiz edilen su örneklerinin içme suyu açısından genel olarak iyi sınıf sular kategorisinde yer aldığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel iletkenlik, İçme suyu, Gümüşhane, pH, Sertlik

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION of THE PHYSICAL and GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS of DRINKING WATERS of TORUL and KÜRTÜN (GÜMÜŞHANE) DISTRICT CENTER

Yasin MERDAN

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Enver AKARYALI

2020, 38 pages

In this study, physicochemical parameters such as pH, Electrical Conductivity (EC) and hardness (Fr°) of the drinking water as well as cation and anion measurements of drinking water in Torul-Kürtün District centers of Gümüşhane Province were investigated. The pH, conductivity and hardness values of the water samples vary between 7.54-8.10, 119.5-640 and 9.93-26.22, respectively. the concentrations of anions and cations in all analyzed water samples are within the limits set by TS-266 and World Health Organization. According to the TS 266 standard, the EI values of all samples, except the samples numbered T2 (640 $\mu\text{S} / \text{cm}$), K9 (479 $\mu\text{S} / \text{cm}$) and K11 (477 $\mu\text{S} / \text{cm}$), indicate first class waters that are classified as normal chlorinated and oligchlorinated waters; as normal sulphate, oligosulphate and sulphate waters. According to the Piper diagram, the waters are mixed composition of Ca+Mg containing bicarbonate (HCO_3^-) and Ca, with low $\text{SO}_4^{-2}+\text{Cl}^-$. In waters, in which chloralkaline index I and chloralkaline index II are

calculated positively, Na + and K + ions are replaced by Mg^{+2} and Ca^{+2} ions in the rocks. The graph of $SO_4 + HCO_3$ versus Ca + Mg revealed that carbonate decomposition in water is more effective than silicate decomposition.

Trace element analysis results indicate that the concentrations of all elements, except Co and Pb, are within the standards. Considering all data, it is concluded that the analyzed water samples are generally in the category of good water in terms of drinking water.

Keywords: Electrical conductivity, Drinking water, Gümüşhane, pH, Hardness

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 Doç. Dr. Enver AKARYALI' ya sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez çalışmam süresince her türlü desteğini esirgemeyen başta Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali GÜCER'e candan teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarım ve örneklerimin hazırlanmasında katkıları meslektaşlarım, Jeoloji Yüksek Mühendisi Ümmühan SEMİZ ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Nadire YAZICI'ya teşekkürü borç bilirim.

Bana her zaman ileriye gösteren, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, bugünlere gelmeme vesile olan aileme ve biricik eşim Yasemin MERDAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yasin MERDAN
Gümüşhane, 2020

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Konum, Yerleşim ve Ulaşım	1
1.3. Jeomorfoloji, İklim ve Bitki Örtüsü	2
1.4. Çalışmanın Amacı	3
1.5. Önceki Çalışmalar	4
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	6
2.1. Giriş	6
2.2. Arazi Çalışmaları	8
2.3. Laboratuvar Çalışmaları	8
2.4. Büro Çalışmaları	10
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	11
3.1. Giriş	11
3.2. İnceleme Alanının Jeolojisi	11
3.3. Suların Hidrojeokimyasal Karakteristikleri	13
3.4. Hidrojeokimyasal Süreçler	21
3.5. Potansiyel Toksik Element İçeriklerinin Değerlendirilmesi	24
3.6. Suların İçilebilirliği ve Kalitesi	27
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	32
6. KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 2. 1. a) Torul ve b) Kürtün ilçe merkezlerinden alınan su örneklerine ait noktaların konumu (Google Earth uydu görüntüsü erişim tarihi: 13.05.2020).	6
Şekil 3. 1. İnceleme alanının jeoloji haritası (Güven,1993)	12
Şekil 3. 2. İnceleme alanındaki jeolojik birimlerden görünümeler	13
Şekil 3. 3. Çalışma alanı örneklerinin Schoeller diyagramı.....	18
Şekil 3. 4. Örneklerin Piper diyagramındaki dağılımı.	20
Şekil 3. 5. Ca ve HCO ₃ iyonları arasındaki pozitif korelasyon	21
Şekil 3. 6. Örneklerin kloroalkalin indekslerine (CAI-I ve CAI-II) göre dağılımı.....	22
Şekil 3. 7. Çalışma alanındaki suların ayrışma diyagramları. a) Ca+Mg'a karşı SO ₄ +HCO ₃ diyagramı. b) Ca-Mg diyagramı. c) Toplam katyona karşı Na+K diyagramı. d) Toplam katyona karşı Ca+Mg diyagramı.....	23
Şekil 3. 8. Su örneklerinin potansiyel toksik element içeriklerinin dağılımı.....	26
Şekil 3. 9. Su örneklerinin Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları.	29

TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. TS-266 ve Dünya Sağlık Örgütü Standartına göre sularda izin verilen maksimum konsantrasyon değerleri	3
Tablo 2. 1. Torul-Kürtün ilçe merkezleri ve yakın çevresinden alınan su örneklerinin alındığı yerler ve konumları.....	7
Tablo 2. 2. Toplam kalıcı su sertliğinin CaCO_3 olarak konsantrasyonuna karşılık sertlik gösterge tablosu.	9
Tablo 2. 3. ICP-MS cihazının çalışma şartları ve sistemin analitiksel karakteristiği.	10
Tablo3. 1. Su örneklerin pH, elektriksel iletkenlik (EI), sertlik (F°) ve majör (anyon-kasyon) iyon analiz sonuçları ve hesaplanan analiz hata oranları (%fark).	16
Tablo3. 2. Klorür, sülfat ve karbonat içeriklerine göre suların sınıflandırılması.....	17
Tablo 3. 3. Su numunelerine ait Piper diyagramında kullanılan parametre değerleri	19
Tablo 3. 4. Korelasyon analiz sonuçları.....	21
Tablo 3. 5. İz element analiz sonuçları ($\mu\text{g/L}$).....	25
Tablo 3. 6. Çalışma alanı örneklerinin bazı fizikokimyasal parametreler ve iz elementler (metaller) açısından su kalite sınıfları.....	30

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Ag	: Gümüş
Ba	: Baryum
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klor
CO ₃	: Karbonat
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
FAAS	: Flame Atomic Absorbtion
Fe	: Demir
Fr	: Frasnıız su sertliği
HCO ₃ ⁻	: Bikarbonat
MP-AES	: Inductively Coupled plazma- Atomic emisyon Sperctrometer
K	: Potasyum
Kal	: Kalsit
LOD	: Gözlenebilme sınırı
LOQ	: Tayin sırrı
Met.kp	: Metamorfik kayaç parçası
mg/l	: Miligram/litre
Mn	: Mangan
My	: Milyon yıl
Na	: Sodyum
NO ₃	: Nitrat
SN	: Su numunesi
Ni	: Nikel
OH ⁻	: Hidroksit
Pb	: Kurşun
TİSS	: Türkiye İçme Suyu Standartı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
Zn	: Çinko

1. GENEL BİLGİLER

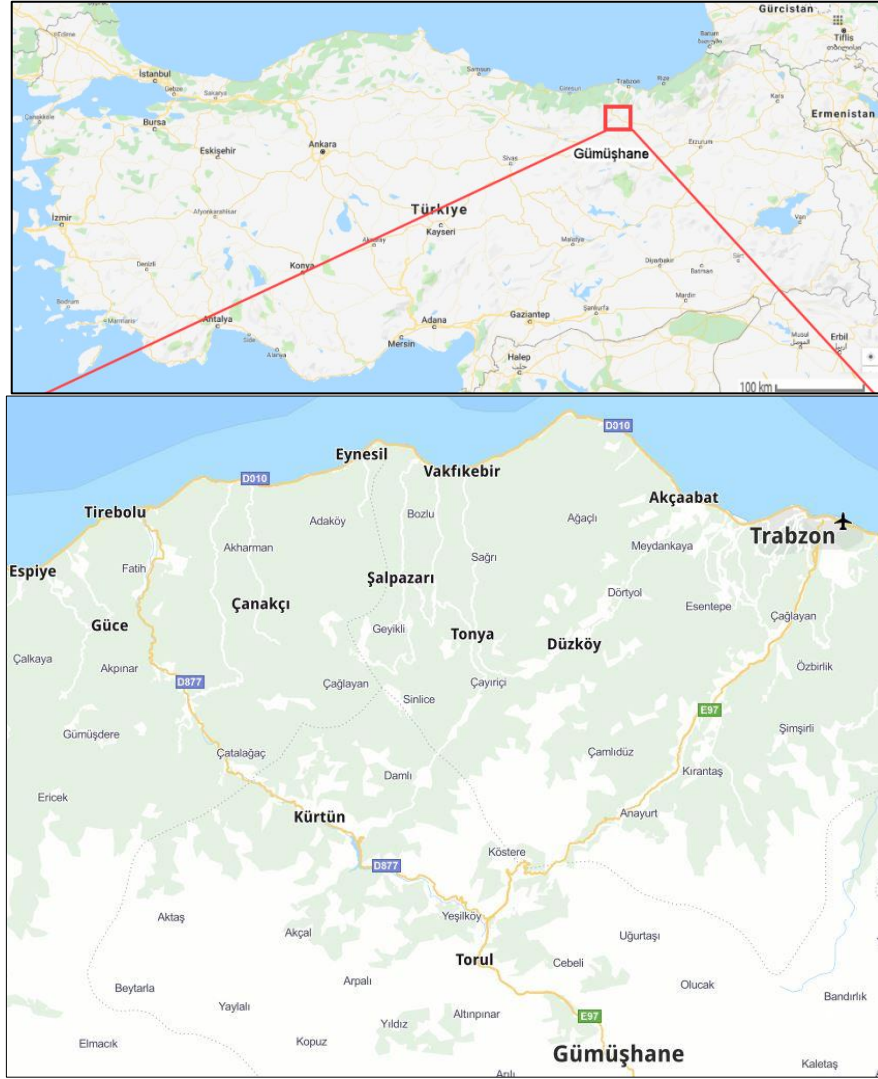
1.1. Giriş

Canlıların yaşamları için gerekli olan maddelerin başında gelen su, canlıların temel birimi hücreden başlayarak, dokularda, organlarda ve sistemlerde karakteristik bir nitelik olarak gözlenen madde alışverişi olan sıvı bir ortamda oluşmasından dolayı canlılar için vazgeçilmez gereksinmedir. İçme-kullanma suları genel olarak, kokusuz, renksiz, berrak olmalı, toksik madde içermemelidir (Çalık vd. 2004). Yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının bulunduğu bölgeye göre farklılıklar göstermesi, suların toprağın fizikokimyasal özelliklerinden etkilenmesi ile açıklanmaktadır (Özdoğan vd. 2016). Su kalitesi hidrolojik dolaşım, uygulanan arıtım ve dağıtım sistemi gibi değişik faktörlere bağlıdır. Yeryüzünde kullanılacak suyun sınırlı olması ve teknolojinin ilerlemesiyle insanların su ihtiyaçlarının artmasından dolayı buzullardan ve deniz suyundan tatlı su eldesi çalışmaları uzun yıllardan beri devam etmekte, ancak çok pahalı olan bu yöntemlerden sınırlı olarak yararlanılabilmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Gümüşhane ili ve çevresinde bir çok metalik maden yatağı bulunmaktadır (Akpınar vd. 2006). Söz konusu bu metalik madenlerden birincil ve ikincil jeokimyasal dağılıma bağlı olarak, Fe, Cu ve Pb gibi birçok toksik element yeraltı sularına ve içme sularına karışabilmektedir. Bunun sonucunda da içme sularını tüketen insanlarda çeşitli sağlık problemleri görülebilmektedir. Bu çalışmada; Gümüşhane ili Torul-Kürtün ilçelerinde kullanılan içme suları; su kalite sınıflandırması ve toksik element konsantrasyonlarına bağlı olarak, suların içilebilirlik kalitesi ve insan sağlığına etkileri yönünden değerlendirilmiştir. Bu bağlamda içme sularının analiz değerleri Türk Standartları Enstitüsü (TS-266) tarafından belirlenen içme suyu standartlarına ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre değerlendirilmiştir.

1.2. Konum, Yerleşim ve Ulaşım

Su örneklerinin alındığı Torul-Kürtün yöresi ve yakın çevresi Doğu Karadeniz Bölgesinde 1/100.000 ölçekli Trabzon G42 paftasında yer almaktadır. 1/25.000 ölçekli harita kapsamında Torul bölgesi G42c4, Kürtün bölgesi G42d1 paftasında yer almaktadır (Şekil 1.1). Torul ilçe merkezi, Kürtün ilçesine 38 km ve Gümüşhane il merkezine ise 24

km uzaklıktadır. Kürtün ilçesi ise Gümüşhane il merkezine 60 km uzaklıktadır. Torul ilçesine ulaşım Gümüşhane-Trabzon devlet karayolu ile Kürtün ilçesine ulaşım ise Gümüşhane-Trabzon ve Gümüşhane-Giresun devlet karayolu ile sağlanmaktadır.



Şekil 1. 1. Çalışma alanının yer buldurur haritası

1.3. Jeomorfoloji, İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanının içerisinde yer aldığı Gümüşhane ili, Doğu Karadeniz Bölgesinin iç kesiminde yer almakta olup, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi sınır ilişkisi vardır. Bu nedenlerden dolayı Gümüşhane ilinde görülen iklim hem Karadeniz hem de Doğu Anadolu bölgelerinde gözlenen iklim özelliklerini taşır. Buna bağlı olarak bölgede yazları kurak, kışları ise soğuk ve kar yağışlı iklim gözlenir. Bu nedenle yörenin bitki örtüsü daha çok

akarsu vadileri boyunca gözlenir. Bölge topografik olarak engebeli olup, Torul-Kürtün yörelerinin en önemli yükseltilerini sırasıyla Leşli Tepe (1290m), Belen Tepe (1317m) ve Kazıkkayalığı Tepe oluşturmaktadır. Topoğrafyanın engebeli olmasından kaynaklı bölgede tarımcılıktan ziyade hayvancılık ön plandadır. Çalışma alanı içerisindeki ana akarsu kaynağı Harşit Çayı olup, ana su kaynağına bağlı birçok küçük dere de mevcuttur.

1.4. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Torul-Kürtün (Gümüşhane) ilçe merkezlerinden derlenen 31 su numunesi üzerinde katyon ve anyon ölçümlerinin, pH, Elektriksel İletkenlik (EI) ve sertlik (F°) gibi fizikokimyasal parametrelerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen verilerden yararlanılarak ise, suların karbonat ve silikat ayrışması, toksik element içerikleri değerlendirilmiş ve TS-266 ve Dünya Sağlık Örgütü Standartına göre suların içilebilirliği ve kalitesi (Tablo 1.1) değerlendirilmiştir.

Tablo 1.1. TS-266 ve Dünya Sağlık Örgütü Standartına göre sularda izin verilen maksimum konsantrasyon değerleri

Standartlar	TS 266 Türk Standartları Enstitüsü	WHO Dünya Sağlık Teşkilatı
Parametreler (mg/L)		
pH	6.5-9.5	6.5-8.5
İletkenlik (uS/cm)	2500	2500
Nitrat (NO_3)	50	50
Nitrit (NO_2)	0.50	0.50
Bor (B)	1	2
Nikel (Ni)	0.02	0.02
Arsenik (As)	0.01	0.01
Kadmiyum (Cd)	0.005	0.003
Florür (F)	1.50	1.50
Kurşun (Pb)	0.01	0.01
Siyanür (CN)	0.05	0.07
Bromat (Br)	0.010	0.025
Benzen (C_6H_6)	0.001	0.010
Selenyum (Se)	0.010	0.010
Antimuan (Sb)	0.005	0.005
Bakır (Cu)	2	2
Demir (Fe)	0.2	0.3
Mangan (Mn)	0.05	0.10
Alüminyum (Al)	0.20	0.20
Amonyum (NH_4)	0.50	1.50
Sodyum (Na)	200	200
Kalsiyum (Ca)	75	200
Klorür (Cl)	250	250
Sülfat (SO_4)	250	250

1.5. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı olarak seçilen Gümüşhane ili Torul-Kürtün ilçeleri, Doğu Karadeniz Dağ Kuşağının Kuzey Zonu içerisinde yer almaktadır. Söz konusu bölgelerde günümüze kadar özellikle sedimantolojik, petrolojik ve tektonik çalışmaların yanı sıra maden yatakları açısından da bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Buna karşın Torul-Kürtün yörelerinde çalışma konusunu oluşturan içme suların fiziksel ve jeokimyasal özelliklerini inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu bağlamda bu bölümde Gümüşhane iline bağlı diğer bölgelerde suların jeokimyasal, hidrojeokimyasal vb. özellikleri üzerine yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

Gültekin (1998), Gümüşhane ve Bayburt illerinde, mineralli su kaynaklarını; tektonik, fiziko-kimyasal, izotopik ve iz element içerikleri bakımından irdelemiş ve bölgedeki suların içilebilirlik özelliğinin olmadığı sonucuna varmıştır.

Tahmasebzadeh Bastam ve Gültekin (2014), Değirmendere (Trabzon) yöresinde yaptıkları araştırma sonucu, sularda tespit ettikleri yüksek Zn, Br, Sr ve Ba konsantrasyonlarının kaynağını altere andezit, tüf, bazalt ve volkanik breş türü volkanik kayalarla ilişkilendirmiştir.

Uslu (2014), Gümüşhane İl Merkezi İçme Sularının Fiziksel ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi adlı çalışmada; alanındaki suların genel olarak karbonatlı ve sülfatlı ($\text{Ca}+\text{Mg}>\text{Na}+\text{K}$) sular sınıfında olduğu, genellikle zayıf asit köklerinin güçlü asit köklerinden ($\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-}>\text{Cl}^-+\text{SO}_4^{2-}$) daha fazla olduğu, suların pH'sı ile sularda değişik miktarlarda bulunan metaller arasında herhangi bir ilişki olmadığı sonucuna varmıştır.

Sipahi ve Uslu (2016), Gümüşhane kent merkezinde yaptıkları çalışmada, suların pH, sertlik, iletkenlik özelliklerinin yanı sıra suların alındığı kaynakların su-kayaç etkileşimlerini de araştırmıştır ve buna bağlı olarak suların TS-266 standartına göre iyi sular kategorisinde olduğunu tespit etmiştir.

Gündoğdu vd. (2017) ve Vural ve Gündoğdu (2017), Gümüşhane yöresinde Arzular-Dölek-Gökdere havzasındaki derelerin florit derişimlerini bol apatit mineralleri içeren magmatik kayalar ile ilişkilendirmişlerdir.

Vural vd. (2017), Gümüşhane ili Sarıççek köyü ve çevresinde gözlenen hidrotermal alterasyon alanlarının bulunduğu alandaki yüzey suları üzerinde yaptıkları çalışmada risk

oluşturabilecek Mn, Ba, Sr, As ve Hg gibi ağır metal potansiyelinin varlığını tespit etmişlerdir.

Akaryalı vd. (2018), asit maden drenajı gelişme potansiyelinin belirlenmesine yönelik kayaç jeokimyası, temas sızıntı testleri ve asit-baz testlerinden yararlanılarak yaptıkları çalışmada; alanda kısa zaman zarfı içinde asit kaya drenajı potansiyelinin gerçekleşmeyeceğini belirlemişlerdir.

Gündoğdu vd. (2018), Şiran (Gümüşhane) vadisi boyunca bazı dere sularını su kalite parametreleri açısından irdelenmiş ve sonucunda incelenen suların TS 266, WHO ve EPA'ya göre yüzey suları için belirlenen sınır değerlerin genelde altında kaldığını tespit etmiştir.

Bulut vd. (2018), Gümüşhane ili Harşit Çayı boyunca belirlenen istasyondan alınan su numunelerinin florür içeriğinin sınır değerlerinin üzerinde çıkmasını evsel atıklar ve asidik magmatik kayalar içerisinde apatit mineralleri ile ilişkilendirmiştir.

Vural vd. (2018a), Gümüşhane ili Torul ilçesi Büyük Çit Deresi'nin fiziko-kimyasal özelliklerini ortaya çıkarmak için yaptıkları araştırmalarda dere suyunun içme suyu kalitesine sahip olduğunu, risk oluşturabilecek metal konsantrasyonun kabul edilebilir standartlarda olduğunu vurgulamışlardır.

Vural vd. (2018b), Gökdere-Beyçam (Gümüşhane) drenaj ağının üzerinde yaptıkları çalışma sonucu söz konusu drenaj şebekesine ait sularının Mg-HCO₃ tipinde içme suyu kalitesine sahip olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

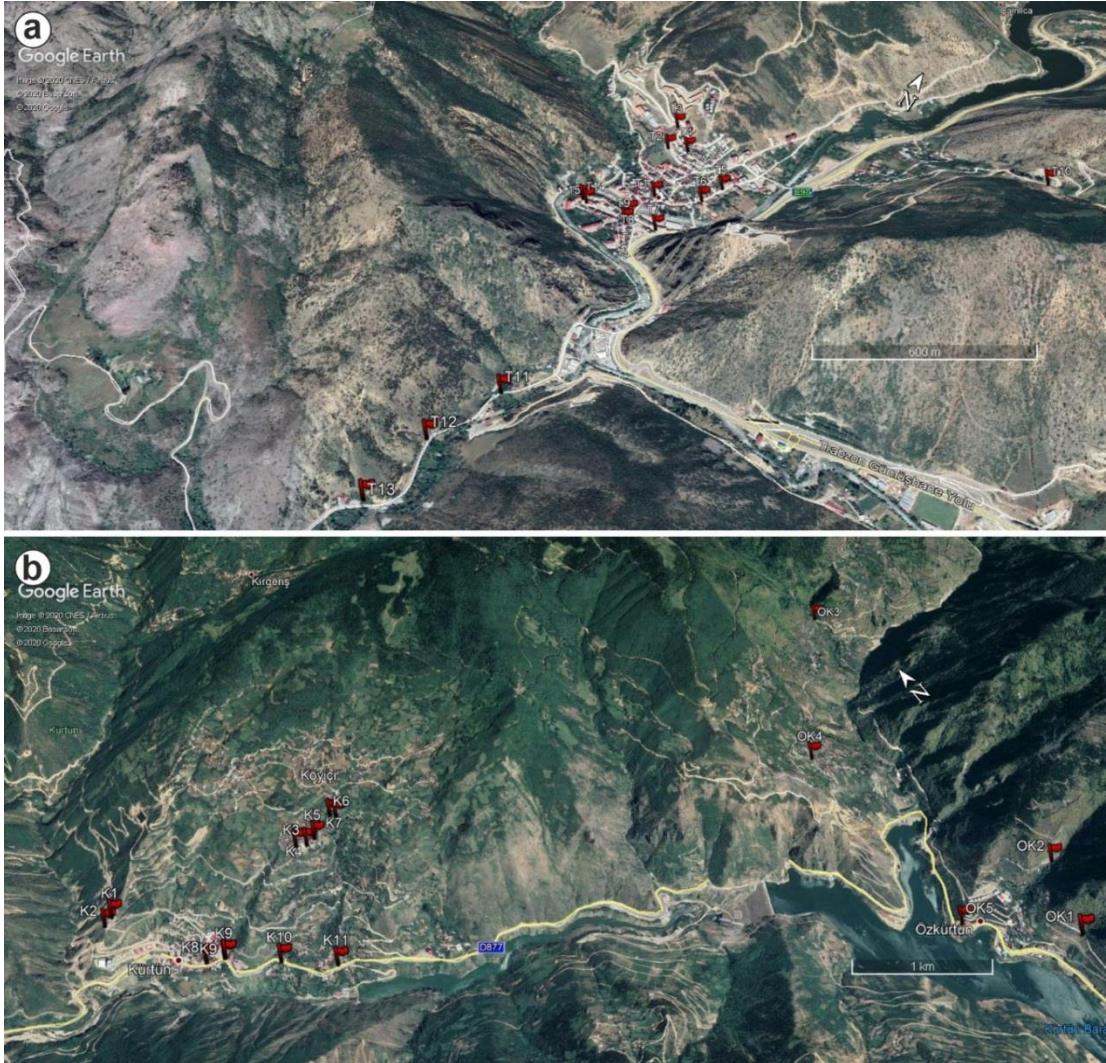
Semiz (2019), Gümüşhane ili Şiran ilçesinde içme suları üzerine yaptığı çalışmada; sun örneklerinin Örneklerin pH değerlerinin 5.41-7.68, iletkenliklerinin 106.9-827.0 µS/cm ve sertliklerinin (Fr) 5.2-52.8 arasında değiştiğini tespit etmiştir. Elde edilen bu verilerle su örneklerinin, kıta içi yerüstü su kaynakları sınıflamasına göre, suların çoğunlukla I. ve II. sınıf, az oranda ise III. sınıf kalitede olduğunu belirtmiştir.

Yazıcı (2019), Kelkit ve Köse (Gümüşhane) İlçe Merkezi İçme Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri ile Yan Kayalarla Olan İlişkilerinin İncelenmesi adlı çalışmada; analiz edilen suların genel olarak karbonatlı ve sülfatlı sular sınıfında olduğu, suların beslenme kaynağının aynı olduğunu, mevsimsel değişimlerden etkilenmediğini, genel olarak analiz sonuçlarının TS-266 ve Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) standartlarına uygun olduğunu ifade etmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Nisan 2019 döneminde, Torul-Kürtün (Gümüşhane) ilçe merkezlerinde yer alan ve içme amaçlı kullanılan su kaynakları (gözeler), özel ve kamu kurumlarına ait su depoları ve çeşmeler olmak üzere toplam 31 farklı su kaynağından örnekler alınmış ve hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiştir (Şekil 2.1, Tablo 2.1).



Şekil 2. 1.a) Torul ve b) Kürtün ilçe merkezlerinden alınan su örneklerine ait noktaların konumu (Google Earth uydu görüntüsü erişim tarihi: 13.05.2020).

Tablo 2. 1. Torul-Kürtün ilçe merkezleri ve yakın çevresinden alınan su örneklerinin alındığı yerler ve konumları

Sıra No	Örnek No	Alındığı Yer	Konumu (Boylam-Enlem)	
1	T1	Merkez Mah. Çeşmesi	39.293084	40.558058
2	T2	Hayrat Çeşmesi-1	39.292219	40.560277
3	T3	Merkez Tuğrul Bey Mah. Çeşmesi	39.291967	40.561337
4	T4	Kamu Su Deposu-1	39.293123	40.560366
5	T5	Şadırvan-1	39.295369	40.559608
6	T6	Özel işletme-1	39.294965	40.558673
7	T7	Çay Evi	39.294230	40.556449
8	T8	Kamu Çeşmesi-1	39.292769	40.556745
9	T9	Şadırvan-2	39.292922	40.556265
10	T10	Yukarı Tufaniye Çeşmesi	39.307448	40.564116
11	T11	Kamu Su Deposu-2	39.294025	40.548066
12	T12	Hayrat Çeşmesi-2	39.293178	40.545782
13	T13	Altınpınar Çeşme	39.293032	40.543542
14	T14	Kamu Su Deposu-3	39.290487	40.556721
15	T15	Kamu Su Deposu-4	39.290761	40.556611
16	K1	Kamu Su Deposu-5	39.083155	40.706758
17	K2	Sekü Çeşmesi	39.082377	40.706515
18	K3	İlyasoğlu Mustafa Çeşmesi	39.099191	40.702803
19	K4	Kamu Çeşmesi-2	39.098416	40.703138
20	K5	Şadırvan-3	39.100045	40.702938
21	K6	Değirmen Yanı Gözesi	39.102275	40.703719
22	K7	Ortaköy Çeşmesi	39.102620	40.703395
23	K8	Özel işletme-2	39.087443	40.700692
24	K9	Kamu Su Deposu-6	39.088881	40.700158
25	K10	Özel işletme-3	39.092273	40.697785
26	K11	Hanyanı Mah. Çeşmesi	39.095773	40.695416
27	OK1	Kale Deresi Süme Köyü	39.144274	40.667135
28	OK2	Kamu Çeşmesi-3	39.148158	40.671462
29	OK3	Şadırvan-4	39.155541	40.696747
30	OK4	Dereli Mah. Göze Suyu	39.140406	40.686996
31	OK5	Topkaralı Mah. Göze Suyu	39.138470	40.672520

Örnek alımlarında polietilen örnek şişesi kullanılmış olup, kullanımdan önce en az 3 kez örnek suyu ile çalkalanıp doldurulmuştur. İçerisinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde kapatılan örnekler etiketlenerek analiz sürecine kadar +4°C ortamda muhafaza edilmiştir. Yapılan çalışma kapsamında, alınan suların hidrojen iyonu aktivitesi (pH), toplam Fransız sertliği (F°), elektriksel iletkenlikleri (EI- µS/cm) ve jeokimyasal özellikleri (bazı önemli majör katyon-anyon değerleri, iz ve potansiyel toksik element içerikleri) ortaya konmuştur. Elde edilen veriler önceki çalışmalar ile korele edilerek, ilişkileri

yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olarak üç ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.2. Arazi Çalışmaları

Bu kapsamda çalışmanın amacına göre belirlenen sahaların literatür derlemesi gerçekleştirilmiş ve ilgili alanlara ait yayınlar, haritalar vb. derlenmiştir. Su örneği alınan lokasyonların koordinatları GPS cihazından yararlanılarak belirlenmiştir. Çalışma alanı ve yakın çevresinde yüzeyleme veren jeolojik birimlerin mevcut haritaları güncellenerek petrografik inceleme amaçlı örnekler alınmıştır. Yine, bu çalışmalarla eş zamanlı olarak belirlenen lokasyonlardan hidrojeokimyasal parametrelerin belirlenebilmesi için içme suyu örnekleri derlenmiştir.

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Bu kapsamda, alınan suların fiziksel ve jeokimyasal analizleri Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Fiziksel özellikler Amerika Halk Sağlığı Birliği'ne (APHA, 2017) göre belirlenmiş olup, bunlarda pH değerleri SM 4500-H⁺ metoduna, F^o ölçümleri SM 2340 C. EDTA (titrasyon) metoduna ve ÖEİ değerleri ise SM 2510 metoduna göre belirlenmiştir. Sülfat (SO₄⁻²), bikarbonat (HCO₃⁻) ve klorür (Cl⁻) gibi anyon değerleri de APHA'ya (2017) göre analiz edilmiş olup, sırasıyla türbidimetrik (SM 4500-SO₄⁻².E), titrasyon (SM 2320 B. alkalinite) ve titrimetrik (SM 4500-Cl⁻ klorür) yöntemlerle belirlenmiştir. Sertlik parametresinin belirlenmesinde Fransız sertlik derecesi (F^o) kullanılmıştır. Ca ve Mg sertliği, CaCO₃ eşdeğeri olarak ifade edilen Ca⁺² ve Mg⁺² iyonlarının konsantrasyonu olarak tanımlanmaktadır. CaCO₃, Ca⁺² ve Mg⁺² molar kütleleri sırasıyla 100,1 g/mol, 40,1 g/mol ve 24,3 g/mol'dür. Molar kütlelerin oranı ise aşağıda verilen (1) ve (2) nolu eşitlikler ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{M_{CaCO_3}}{M_{Ca}} = \frac{100,1}{40,1} = 2,5 \quad (1)$$

$$\frac{M_{CaCO_3}}{M_{Mg}} = \frac{100,1}{24,3} = 4,1 \quad (2)$$

Dolayısıyla, $CaCO_3$ eşdeğeri olarak ifade edilen toplam kalıcı su sertliği aşağıdaki formülle (3) hesaplanabilir:

$$CaCO_3 = 2,5 \cdot (Ca^{+2}) + 4,1 \cdot (Mg^{+2}) \quad (3)$$

Toplam kalıcı su sertliği hakkında bir gösterge vermek için Tablo 2.2'deki değerler kullanılır:

Tablo 2. 2. Toplam kalıcı su sertliğinin $CaCO_3$ olarak konsantrasyonuna karşılık sertlik gösterge tablosu (Lenntech, 2014)

CaCO ₃ olarak konsantrasyon	Sertlik Göstergesi
0-60 mg/L	Yumuşak su
61-120 mg/L	Orta derecede sert su
121-180 mg/L	Sert su
>181 mg/L	Çok sert su

Suların katyon (Ca, Mg, Na, K) ve ağır metal (Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Pb, Cr) analizleri ise emisyon spektrometresi yöntemine göre (Balaram vd., 2013; Vysetti vd., 2014), Agilent 7700 marka ICP-MS (indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Metallerin ölçümünde kullanılan cihaza ait çalışma koşulları ve performansı ile ilgili bilgiler Tablo 2.3'te özetlenmiştir (Agilent Technology, 2011; Jankowski vd. 2005). Sularda hesaplanan katyon ve anyon analiz sonuçlarının kullanılabilmesi için pozitif ve negatif yüklerin toplamının eşit olması gerekmektedir. Dolayısıyla analizlerin doğruluğunun test edilmesi önem arz etmektedir. Analizlerin doğruluğu ise majör iyonlar için elektriksel yük dengesinden (electrical balance) tahmin edilebilmektedir (Stumm ve Morgan, 1970; Appelo ve Postma, 2005). Çalışma alanından derlenen sularda, analiz sonuçlarının doğruluğu Stumm ve Morgan (1970) tarafından önerilen denklem (4) ile test edilmiş, analitik hata oranları (%fark) ise Appelo ve Postma (2005) tarafından önerilen elektronötrallite (%e) denklemi (5) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$|\sum \text{anyon} - \sum \text{katyon}| \leq (0.1065 + 0.0155 \times \sum \text{anyon}) \quad (4)$$

$$\text{Elektriksel denge (\%e)} = \frac{\sum \text{kasyon} - \sum \text{anyon}}{\sum \text{kasyon} + \sum \text{anyon}} \times 100 \quad (5)$$

Neredeyse tüm analiz sonuçlarında %2'ye varan hatalar kaçınılmazdır. Ancak %5 ve daha yukarı sapmalarda örnekleme ve/veya analitik prosedürlerin yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir (Appelo ve Postma, 2005). Çalışma kapsamında analizi gerçekleştirilen suların sonuçlarında hata oranı (%e) -4.25 ile 4.70 (n= 31) aralığında değişmekte olup (bkz. Tablo 3.1), yukarıda verilen ölçütler dikkate alındığında, elde edilen sonuçların %5 mutlak aralık içerisinde çıktığı ve sonuçların kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.

Tablo 2. 3. ICP-MS 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 ¹ (µg/l)	LOQ ² (µg/l)	BSS ³ (%)
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

¹LOD: Gözlenebilme sınırı, ²LOQ: Tayin sınırı, ³BSS: 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 ve kimyasal analiz sonuçlarına ait veriler, sayısal ortamda çeşitli paket programlar kullanılarak çizilmiş ve tablolar oluşturulmuştur. Elde edilen veriler farklı tanımlama ve sınıflama diyagramları kullanılarak yorumlanmış, Piper ve Schoeller diyagramları yardımı ile suların sınıflandırılması ve karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak elde edilen tüm veriler değerlendirilmiş ve Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünün yazım kurallarına göre tez yazımı gerçekleştirilmiştir

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

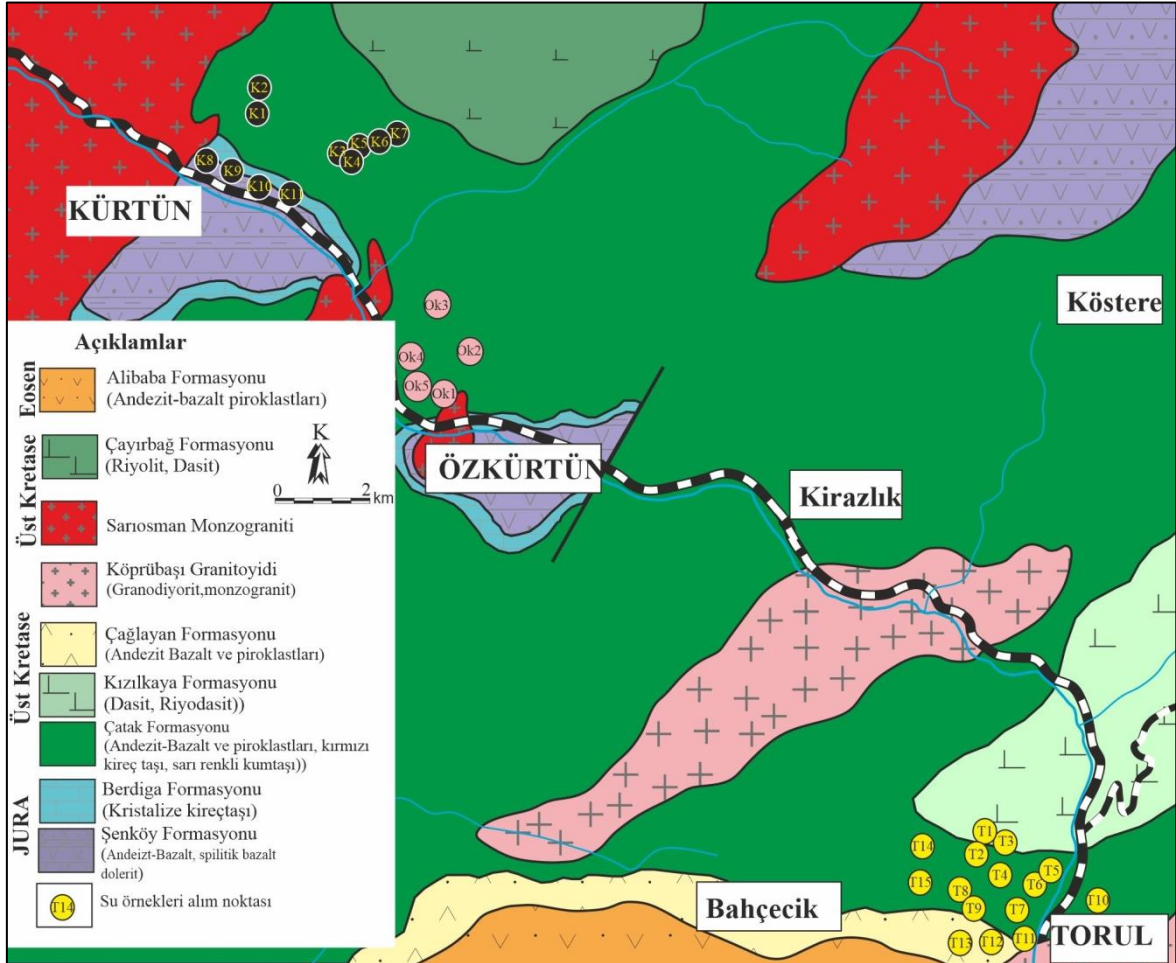
3.1. Giriş

Torul-Kürtün (Gümüşhane) ilçe merkezlerini kapsayan inceleme alanında derlenen 31 adet su numunesinin kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinin ve Gümüşhane’de yapılan başka çalışmalarla karşılaştırılmasının yanı sıra çalışma alanında yer alan jeolojik birimler hakkında genel bilgilerin verilmesi bu bölümde gerçekleştirilecektir. Çalışma konusu asıl olarak su örneklerinin kimyasal analizlerinden yararlanarak, suların pH, Elektriksel İletkenlik (Eİ) ve sertlik (F°) gibi fizikokimyasal parametrelerinin yanı sıra TS-266 ve Dünya Sağlık Örgütü’nün standartlarına göre içilebilirlik kalitesinin değerlendirilmesi olduğundan, çalışma alanının jeolojik özellikleri genel bilgiler şeklinde verilecektir.

3.2. İnceleme Alanının Jeolojisi

Doğu Karadeniz Dağ Kuşağı (Doğu Pontidler), bölgede yüzeyleyen kayaçların sedimantolojik, tektonik ve magmatik özelliklerine bağlı olarak; Kuzey, Güney ve Eksen zon olmak üzere üç zona ayrılmaktadır (Bektaş vd. 1995; Eyüboğlu vd. 2006). Torul-Kürtün bölgesi bu kuşağın Kuzey Zonunda yer alır ve bu zon genellikle Üst Kretase ve Tersiyer yaşlı volkanik kayaçlar ve granitik kütleler ile temsil edilmektedir. Torul-Kürtün bölgesinde yer alan jeolojik birimlerin temelini Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu (Kandemir, 2004) oluşturmaktadır. Bu birim üzerine uyumlu olarak Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu (Pelin, 1977) gelmektedir. Üst Kretase döneminde ise bu birimlerin üzerine sırasıyla Çatak Formasyonu (Güven, 1993), Kızılkaya Formasyonu (Güven, 1993), Çağlayan Formasyonu (Güven, 1993), Köprübaşı Granitoyidi (Kaygusuz vd. 2008, 2010), Sarıosman Monzograniti (Kaygusuz vd. 2009) ve Çayırbağ Formasyonu gelmektedir. Tüm bu birimleri Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu (Tokel, 1972) uyumsuz olarak üzerlemektedir. (Şekil 3.1). Çalışma amacına yönelik olarak su örneklerinin alındığı; Torul bölgesinde Çatak Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu ve Köprübaşı Granitoyidi, Kürtün bölgelerinde ise Çatak Formasyonu ve Sarıosman Monzograniti yüzeyleme vermektedir (Şekil 3.2). Bu bölümde Çatak Formasyonu, Kızılkaya

Formasyonu, Köprübaşı Granitoyidi ve Sariosman Monzograniti birimlerine ait bilgiler detaylandırılacaktır.



Şekil 3. 1. İnceleme alanının jeoloji haritası (Güven,1993)

İlk defa Güven (1993) tarafından adlandırılan ve genellikle koyu gri-yeşil renkli andezit-bazalt ve piroklastitleri ile ara katkılı olarak kıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, tüfit seviyeleri içeren Çatak Formasyonu'nda ayrıca iyi gelişmiş yastık lav yapıları da görülmektedir. Asidik karakterli lavlardan oluşan Kızılkaya Formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülen Çatak Formasyonu'nun yaşı ise Geç Kretase olarak belirlenmiştir (Güven, 1993). Kızılkaya Formasyonu Güven (1993) tarafından tanımlanmış olup felsik volkanik ve ilişkili piroklastik kayalardan oluşmaktadır. Formasyon ara seviye olarak killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve tüfit içermektedir. Torul merkezde yüzeyleme veren birimin dokanaklarında kaolenleşme, kloritleşme ve limonitleşme türü alterasyon ürünleri görmek

mümkündür. Geç Kretase yaşlı Çatak Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelen birimin yaşı Güven (1993) tarafından Santoniyen olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3. 2. İnceleme alanındaki jeolojik birimlerden görünüm

Köprübaşı Granitoyidi uzun eksenini kuzeydoğu güneybatı istikametinde uzanım gösteren elips şekilli küçük bir sokulumdan oluşur. Yaklaşık 7 km²'lik bir alanda yüzeyleme vermekte olup, 3-4 km uzunluğunda ve 1-2 km genişliğindedir. Köprübaşı Granitoyidi Üst Kretase yaşlı Çatak Formasyonu ve Kızılkaya Formasyonu'nu kesmiştir. Köprübaşı Granitoyidi granodiyorit ve monzogranit bileşimindeki kayalardan oluşur. Birimin yaşı U-Pb yöntemine göre 79 My Üst Kretase olarak bulunmuştur (Kaygusuz ve Şen 2011).

Sariosman Graniti, uzun eksenini kuzeydoğu güneybatı istikametinde uzanım gösteren elips şekilli bir sokulumdan oluşur. Sariosman Graniti yaklaşık 15 km²'lik bir alanda yüzeyleme vermekte olup, 7-8 km uzunluğunda ve 2-2.5 km genişliğindedir. Plüton Geç

Kretase yaşı (82 my U-Pb yöntemi) olup, yer yer kireçtaşı, kırmızı kireçtaşı ara seviyeleri içeren andezit ve piroklastları ile, yine kireçtaşı ara seviyeleri içeren dasit ve piroklastlarını kesmiştir. Bunun sonucu olarak dokanaklarda meta andezit, meta-dasit ve epidotlu boynuztaşları gelişmiş, volkanitlerde ara seviye halindeki kireçtaşları, kristalize kireçtaşlarına yer yer de mermere dönüşmüştür. Plüton aplit daykları tarafından kesilmiştir. Sariosman Plütonu, Torul Plüton'unun aksine tekdüze bir mineralojik bileşime sahip olup monzogranit bileşimindedir (Kaygusuz vd. 2009).

3.3. Suların Hidrojeokimyasal Karakteristikleri

Çalışma amacına yönelik olarak alınan toplam 31 su numunesi üzerinde katyon ve anyon ölçümlerin yanı sıra suların pH, Elektriksel İletkenlik (EI) ve sertlik (F°) gibi fizikokimyasal parametreleri de belirlenmiştir. T1-15 nolu örnekler (n=15) Torul bölgesinden, K1-K11 nolu örnekler (n=11) ve OK1-OK5 nolu örnekler (n=5) ise Özkürtün bölgesinden alınmıştır (Tablo 3.1).

Doğal suların bileşiminde en yaygın olarak bulunan Na elementi, başlıca magmatik kayalar, kil mineralleri ve feldspatların bileşiminde bulunur. Bunun yanı sıra K; feldspat, feldspatoid, mika ve kil minerallerinde (Rankama and Sahama, 1964), Ca; kalsit, dolomit, jips, anhidrit, florit, aragonit, plajiyoklas, piroksen ve amfibol minerallerinde, Mg ise olivin, piroksen ve amfibol minerallerinde bulunur. Bu çalışmada incelenen suların Ca konsantrasyonları, 27.56-80.91 mg/L arasında (ortalama=51.79) arasında değişmektedir. Ca katyonu yanı sıra sulara analiz edilen Mg, Na ve K katyonlarına ait konsantrasyonlar ise sırasıyla 6.72-15.65 mg/L (ortalama=11.46 mg/L), 5.30-26.59 mg/L (ortalama 11.06 mg/L) ve 0.15-1.55 mg/L (ortalama=0.55mg/L) arasında değişmektedir.

Çalışma sahasından derlenen su numunelerinin analiz sonuçları ana anyonların konsantrasyonları incelendiğinde; indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayalarda yaygın olarak bulunan SO_4^{2-} konsantrasyonu 4.10-90.83 mg/L (ortalama=20.86 mg/L) aralığında değişmektedir. Bunun yanı sıra sedimanter kayalarda özellikle evaporitlerde bulunana Cl^- anyonunun su örneklerindeki konsantrasyonu 12.32-49.82 mg/L (ortalama=19.06 mg/L) arasında ve HCO_3^- konsantrasyonu ise 79.97-347.94 mg/L (ortalama=177.64 mg/L) arasında değişmektedir.

TSE standardı (TS-266, 2005)'nda içme sularının; Ca^{+2} değerinin 75 mg/L'den az olması, Mg^{+2} değerinin 50 mg/L'den az olması, Na değerinin 200 mg/L'den az olması ve K

değerinin 12 mg/L'den az olması gerektiği belirtilmektedir. Buna göre yukarıda değişim aralıkları ve ortalama değerleri verilen söz konusu elementlerin TS-266 standartını sağladığı açıkça görülmektedir (Tablo 3.1). Burada istisnai bir durum T2,K9 ve K11 nolu örneğin Ca değeri (80.4-80.91 mg/L) için söylenebilir. TS-266 standartına göre Ca^{+2} değerinin 75 mg/l'den az olması gerektiği dikkate alındığında T2,K9 ve K11 nolu örneğin değerinin önemsiz miktarda sınır değeri üzerinde olduğu görülmektedir.

TSE standardı (TS-266, 2005)'nda HCO_3^- için bir sınır değeri verilmemekle beraber SO_4^{2-} değerinin 250 mg/L'den az olması ve Cl^- değerinin 250 mg/L'den az olması gerektiği belirtilmiştir. TS-266 standart değerleri ile su örneklerinin analizlerinden elde edilen SO_4^{2-} ve Cl^- değerleri karşılaştırıldığında her iki anyonun da kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı görülmektedir (Tablo 3.1).

Sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir göstergesi olan pH, asit ve bazlar arasındaki dengeyi ifade eder. Buna bağlı olarak suların bazik özelliğini karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonlarının artırırken suların asitlik özelliğini ise serbest mineral asitleri ve karbonik asit arttırmaktadır (Doğan, 1981). Çalışma alanından derlenen su numunelerinin pH değerleri 7.54 ile 8.10 (n= 31; ortalama= 7.86) arasında değişmekte (Tablo3.1) olup pH değerleri>7'dir. Buna bağlı olarak, örneklenen tüm sular alkali sular sınıfında yer almaktadır. Örnekler, TS 266 (pH; 6-9) ve WHO (6.5-9.2) içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında örneklerin verilen limitler içerisinde kaldığı açıkça görülmektedir. Diğer taraftan, ilk yayın tarihi 2012 olan (RG28483, 2012) ve 2016 yılında yenilenen *Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği*'nde sözü edilen (Değişik: RG-10/8/2016-29797) Su Kalite Sınıfları pH değerleri (pH=6-9) baz alındığında, incelenen suların I. sınıf (çok iyi)kalitede olduğu belirlenmiştir.

Sayısal bir ifade olan elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletebilme özelliğini göstermektedir. Çalışma sahasından derlenen su numunelerinin Eİ değerleri mikrosiemens/cm cinsinden 119.5-640.0 $\mu S/cm$ (n=31; ortalama= 285.01 $\mu S/cm$) aralığında değişmektedir (Tablo 3.1). TS 266 standartına göre T2 (640 $\mu S/cm$), K9 (479 $\mu S/cm$) ve K11 (477 $\mu S/cm$) nolu örneklerle ait Eİ değerleri hariç diğer tüm örneklerin Eİ değerleri I. sınıf su kalitesine işaret etmektedir. Dünya Sağlık Örgütü İçme kullanma standartlarına göre ise derlenen su örneklerinin tamamının Eİ değerleri I. sınıf su kalitesini yansıtmaktadır. Suların sertliğinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Fransız (F°) sertlik derecesi Lenntech, (2014) tarafından geliştirilen denklemlerle elde edilebilmektedir. Bu çalışmada analiz edilen suların mg/L Ca^{+2} ve Mg^{+2} değerlerinden yararlanılarak

hesaplanan CaCO_3 değerleri 99.26 mg/L ile 262.25mg/L (n= 31, ortalama=176.43 mg/L) arasında sertlik değerleri ise 9.93 ile 26.22 F° (n= 31, ortalama=17.64 F°) arasında değişmektedir. Elde edilen mg/L CaCO_3 değerleri Tablo 2.2’de verilen değişim aralıkları ile karşılaştırıldığında, örneklerinin çoğunlukla çok sert su (n=15) özellikte olduğu, daha az oranda ise orta sert (n=9) su ve sert su (n=7) özellikte olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.1. Su örneklerin pH, elektriksel iletkenlik (Eİ), sertlik (F°) ve majör (anyon-katyon) iyon analiz sonuçları ve hesaplanan analiz hata oranları (%fark)

	Parametre	Eİ	Sertlik	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca	Mg	Na	K	%
	Birimi	µS/cm	F°	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	fark
Örnek	pH										
T1	7.77	348.0	20.48	26.7	18.7	227.3	67.4	8.9	18.8	0.28	1.11
T2	7.59	640.0	26.22	90.8	17.9	347.9	80.9	14.6	24.8	1.17	2.79
T3	7.86	349.0	20.92	29.0	20.0	211.9	67.0	10.2	11.7	0.56	0.71
T4	7.90	333.0	15.19	39.1	23.0	168.4	43.4	10.6	26.6	0.90	-0.07
T5	8.10	345.0	16.71	31.2	20.6	209.0	43.5	14.2	11.9	0.60	2.25
T6	8.05	343.0	16.56	22.4	20.4	204.8	42.7	14.4	11.8	0.60	1.78
T7	7.95	344.0	23.19	27.9	20.2	207.6	67.1	15.7	11.9	0.56	4.40
T8	7.95	344.0	23.08	24.3	21.4	216.1	66.9	15.5	11.9	0.56	4.05
T9	7.97	346.0	23.29	27.5	21.1	211.9	68.3	15.1	11.8	0.58	4.10
T10	7.89	344.0	22.73	20.9	24.0	209.0	67.7	14.1	11.6	0.59	3.98
T11	7.94	344.0	21.32	21.9	17.0	210.5	62.1	14.1	11.6	0.58	4.33
T12	7.80	345.0	21.45	30.2	27.3	211.9	62.5	14.2	11.5	0.59	-0.71
T13	7.84	343.0	21.63	28.3	18.7	211.9	62.9	14.4	11.5	0.54	2.68
T14	7.84	323.0	22.17	24.1	17.8	220.3	66.1	13.8	11.4	0.46	3.39
T15	7.91	345.0	23.18	24.6	20.9	203.4	67.9	15.1	11.6	0.54	3.99
K1	7.84	186.3	13.31	13.0	14.4	131.9	38.7	8.9	5.9	0.30	1.53
K2	7.87	120.5	9.93	5.0	13.5	80.0	27.6	7.4	5.4	0.28	-1.38
K3	7.79	120.7	9.98	5.6	13.1	87.0	28.4	7.0	5.3	0.30	-1.95
K4	7.86	119.9	10.21	4.7	13.4	99.6	28.0	7.8	5.5	0.30	4.03
K5	7.72	120.8	9.70	4.2	13.6	87.0	27.6	6.9	5.6	0.30	-2.77
K6	7.77	120.4	9.92	4.1	12.7	80.0	28.3	7.0	5.5	0.29	-2.32
K7	7.92	119.5	9.80	5.3	12.3	88.4	28.2	6.7	5.4	0.30	-4.25
K8	7.86	343.0	22.34	27.8	49.8	193.6	68.7	12.6	17.6	1.55	1.08
K9	7.54	479.0	25.52	36.5	16.3	319.9	80.4	13.2	9.4	0.42	4.70
K10	8.02	224.6	13.77	22.0	24.6	122.1	39.1	9.7	12.2	1.31	2.53
K11	7.55	477.0	25.63	31.4	13.9	325.5	80.9	13.2	9.3	0.42	4.33
OK1	7.87	174.9	11.62	28.7	12.9	91.2	33.7	7.8	7.2	0.44	3.77
OK2	7.98	217.2	15.17	13.4	15.5	138.9	41.8	11.5	10.6	0.72	3.54
OK3	7.96	202.2	15.26	11.6	26.9	141.7	43.6	10.7	10.8	0.35	3.01
OK4	7.94	154.0	12.34	8.7	15.7	108.0	36.8	7.6	6.9	0.42	4.63
OK5	7.85	219.2	14.32	13.6	13.2	140.3	37.2	12.3	9.9	0.15	3.96
Minimum	7.54	119.50	9.93	4.10	12.32	79.97	27.56	6.72	5.30	0.15	-4.25
Maksimum	8.10	640.00	26.22	90.83	49.82	347.94	80.91	15.65	26.59	1.55	4.70
Ortalama	7.86	285.01	17.64	22.73	19.06	177.64	51.79	11.46	11.06	0.55	
TS266	6-9		<50	<250	<250		<75	<50	<200	<12	-
WHO	6.5-9.2		<50	<250	<250		<200	-	<200	-	-

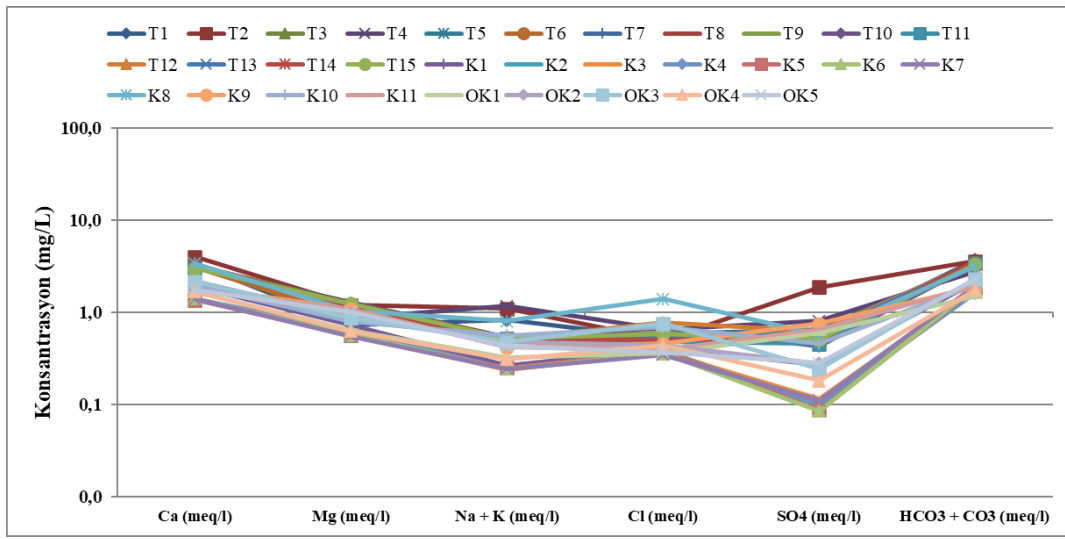
Gümüşhane ili Şiran İlçesinde Semiz (2019) tarafından yapılan çalışmada, incelenen suların pH değerlerinin 5.41-7.68, iletkenliklerinin 106.9-827.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve sertliklerinin (Fr) 5.2-52.8 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde Yazıcı (2019) tarafından Kelkit-Köse ilçesinde yapılan çalışmada suların pH değerlerinin 7.50-8.09, iletkenliklerinin 166.9-1386 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve sertliklerinin 8.4-70.8 arasında değiştiği belirlenmiştir. Gümüşhane il merkezinde Uslu (2014) tarafından yapılan çalışmada ise suların pH değerlerinin 6.3-8.2 ve iletkenliğinin 240-900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında, sertlik derecelerinin ise 18.1-115.1 arasında değiştiği sonucu elde edilmiştir. Söz konusu çalışmalar, bu çalışmada yapılan değerler ile karşılaştırıldığında, incelenen suların pH değerleri bakımından Kelkit Köse yöresindeki, iletkenlik bakımından Şiran ilçesi ve Gümüşhane il merkezindeki, sertlik bakımından ise Gümüşhane il merkezindeki sular ile benzer özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Çalışılan sahadan toplanan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak, suların kimyasal yapısı ve su tipleri Schoeller (1955) ve Piper (1944) sınıflandırmalarına göre yapılmıştır. Klorür, sülfat ve karbonat içeriklerine göre suların sınıflandırılmasının (Schoeller, 1955) verildiği Tablo 3.2'ye göre çalışılan sular; klorür içeriğine göre, normal klorürlü ve oligoklorürlü sular, sülfat içeriğine göre, normal sülfatlı, oligosülfatlı ve sülfatlı sular sınıfına girdiği belirlenmiştir. Örneklerin katyon-anyon konsantrasyonlarındaki dağılımlarına bakıldığında ise, genel olarak $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$ ve $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ sıralaması sergilediği ve karbonatlı kayalardan gelen sular dağılımına benzer yönelim gösterdiği belirlenmiştir (Schoeller, 1955; Şekil 3.3).

Tablo3. 2. Klorür, sülfat ve karbonat içeriklerine göre suların sınıflandırılması

Klorür Sınıflaması		Sülfat Sınıflaması		Karbonat Sınıflaması	
Su Sınıfı	Klorür Miktarı (meq/L)	Su Sınıfı	Sülfat Miktarı (meq/L)	Su Sınıfı	Karbonat Miktarı (meq/L)
Hipoklorürlü sular	>700	Hiposülfatlı sular	>58	Hipokarbonatlı sular	>7
Klorotalastik sular	420-700	Sülfatlı sular	24-58	Normal karbonatlı sular	2-7
Klorürce zengin sular	140-420	Oligosülfatlı sular	6-24	Hipokarbonatlı sular	<2
Orta klorürlü sular	40-140	Normal sülfatlı sular	<6		
Oligoklorürlü sular	15-40				
Normal klorürlü sular	<15				

Semiz (2019) tarafından yapılan Şiran ilçesi içme suları, klorür, sülfat ve karbonat içeriklerine göre incelendiğinde; su numunelerinin tamamının klorür içeriklerine göre normal klorürlü sular, sülfat konsantrasyonları açısından ise normal sülfatlı sular sınıfına girdiği ifade edilmektedir. Karbonat miktarı açısından ise bir örnek dışında (SN7 nolu örnek, normal karbonatlı sular) diğer örneklerin hipokarbonatlı sular karakteri sergilediği belirtilmektedir. Bu verilere göre Torul-Kürtün yöresindeki içme sularının klorür ve sülfat içeriklerine göre sınıflandırılması Şiran yöresinde suların sınıflandırılması ile benzerlik göstermediği tespit edilmiştir.



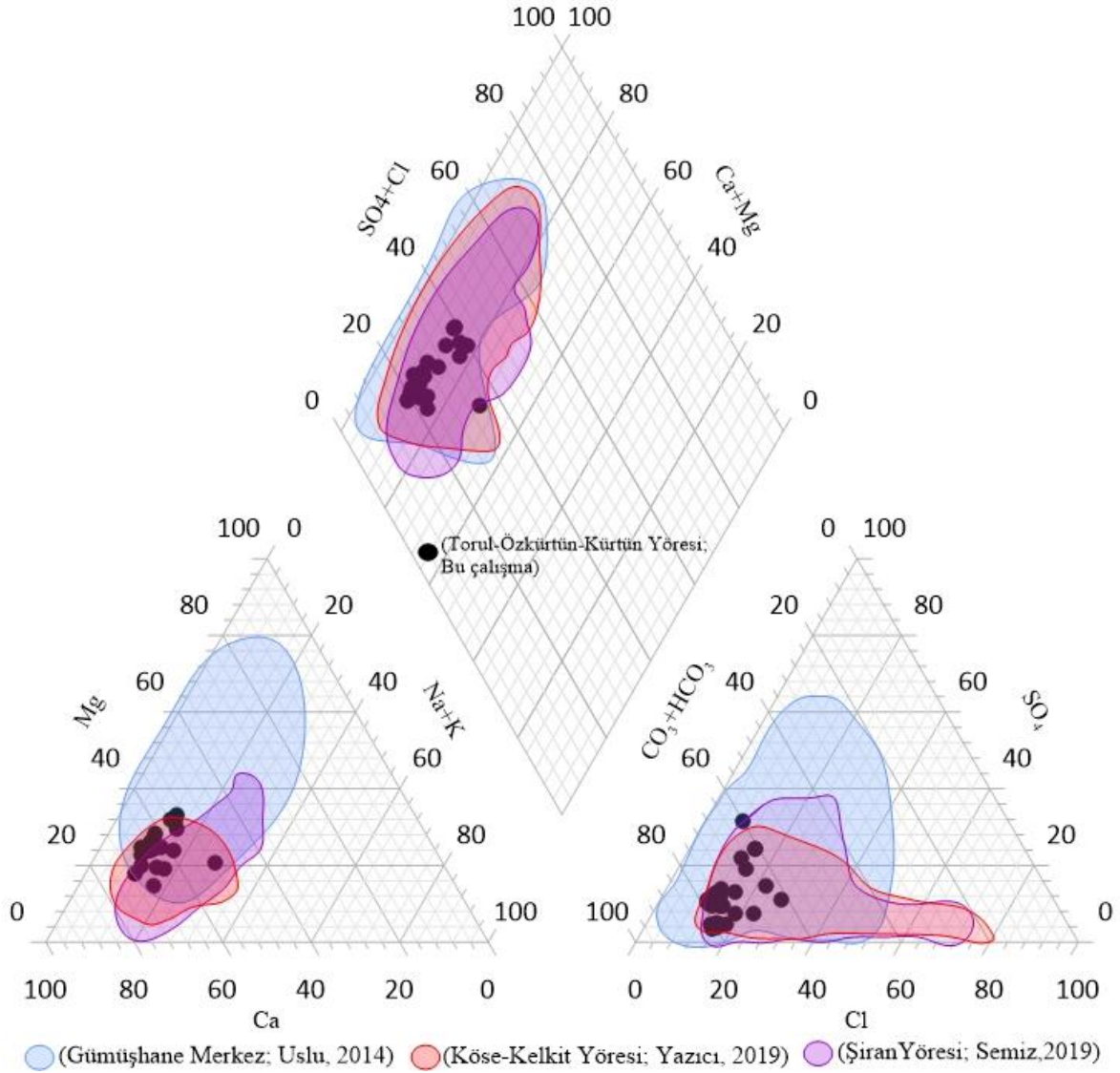
Şekil 3.3. Çalışma alanı örneklerinin Schoeller diyagramı

Suların jeokimyasal sınıflamasında Piper (1944) tarafından geliştirilen üçgen diyagramlardan yararlanılmıştır. Bu sınıflamanın kalitatif olması suların geldiği kaya hakkında kesin yargıya varılmayacağını ortaya koymakla beraber jeolojik ve diğer verilerle suların kökeni hakkında bir kanı ortaya koyar. Bu nedenle Piper diyagramı, suların karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Piper (1944) diyagramı çiziminde kullanılan parametreler meq/L birimine çevrilerek diyagrama atılmıştır. Su örneklerinin Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$, SO_4^{-2} , Cl^{-} ve HCO_3^{-} konsantrasyonlarının ortalaması sırasıyla 2.46 meq/L, 0.93 meq/L, 0.48 meq/L, 0.01 meq/L, 0.47 meq/L, 0.54 meq/L ve 2.70 meq/L'dir (Tablo 3.3). Buna göre suların, bikarbonatlı (HCO_3^{-}) ve kalsiyumlu (Ca), düşük $\text{SO}_4^{-2} + \text{Cl}^{-}$ içeren kalsiyum magnezyumlu (Ca+Mg) karışık bileşimli olduğu Şekil 3.4'te verilen Piper diyagramında açıkça görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında Piper diyagramına göre elde edilen değerlendirmeler, Gümüşhane il merkezi (Uslu, 2014), Şiran (Semiz, 2019) ve Köse-Kelkit (Yazıcı, 2019) ilçelerinde yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında; tüm bölgelerdeki suların bikarbonatlı ve sülfatlı olduğu ve benzer özellik gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 3.4.).

Tablo 3.3. Su numunelerine ait Piper diyagramında kullanılan parametre değerleri (meq/L)

Örnek No	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
T1	3.36	0.73	0.82	0.01	0.56	0.53	3.72
T2	4.04	1.20	1.08	0.03	1.89	0.50	3.61
T3	3.35	0.84	0.51	0.01	0.60	0.56	3.47
T4	2.16	0.87	1.16	0.02	0.81	0.65	2.76
T5	3.17	1.17	0.52	0.02	0.65	0.58	3.43
T6	3.13	0.90	0.52	0.02	0.47	0.58	3.36
T7	3.15	1.29	0.52	0.01	0.58	0.57	3.40
T8	3.24	1.28	0.52	0.01	0.51	0.60	3.54
T9	3.26	1.25	0.51	0.01	0.57	0.59	3.47
T10	3.23	1.16	0.50	0.01	0.43	0.68	3.43
T11	3.10	1.16	0.50	0.01	0.46	0.48	3.45
T12	3.12	1.17	0.50	0.01	0.63	0.77	3.47
T13	3.14	1.19	0.50	0.01	0.59	0.53	3.47
T14	3.30	1.13	0.50	0.01	0.50	0.50	3.61
T15	3.04	1.25	0.51	0.01	0.51	0.59	3.33
K1	1.93	0.73	0.26	0.01	0.27	0.41	2.16
K2	1.38	0.61	0.23	0.01	0.10	0.38	1.80
K3	1.42	0.58	0.23	0.01	0.12	0.37	1.84
K4	1.40	0.64	0.24	0.01	0.10	0.38	1.63
K5	1.38	0.56	0.24	0.01	0.09	0.38	1.84
K6	1.41	0.57	0.24	0.01	0.09	0.36	1.89
K7	1.41	0.55	0.24	0.01	0.11	0.35	1.94
K8	3.43	1.04	0.77	0.04	0.58	1.41	3.17
K9	1.90	1.09	0.41	0.01	0.76	0.46	1.89
K10	1.95	0.80	0.53	0.03	0.46	0.69	2.00
K11	1.76	1.09	0.41	0.01	0.65	0.39	1.95
OK1	1.68	0.64	0.31	0.01	0.60	0.36	1.49
OK2	1.79	0.95	0.46	0.02	0.28	0.44	2.28
OK3	2.17	0.88	0.47	0.01	0.24	0.76	2.32
OK4	1.69	0.63	0.30	0.01	0.18	0.44	1.77
OK5	1.76	1.01	0.43	0.00	0.28	0.37	2.30
Minimum	1.38	0.55	0.23	0.01	0.09	0.35	1.49
Maksimum	4.04	1.29	1.16	0.04	1.89	1.41	3.72
Ortalama	2.46	0.93	0.48	0.01	0.47	0.54	2.70

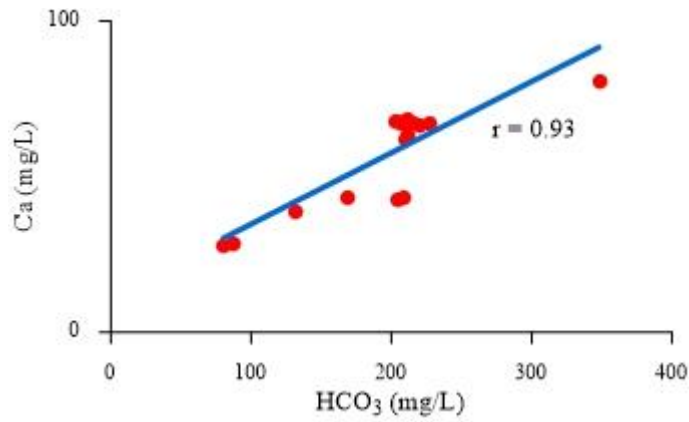


Şekil 3. 4. Örneklerin Piper diyagramındaki dağılımı

Majör iyonlar arasındaki ilişkinin derecesini ve yönünü belirlemek amacıyla istatistiksel yöntemlerden korelasyon analizi kullanılmıştır (Tablo 3.4). Çalışma alanındaki suların Spearman korelasyon analiz sonuçlarına göre örneklerdeki Na iyonu ile K, Ca ve HCO_3 , arasında kuvvetli pozitif korelasyon, K iyonu Cl iyonu ile kuvvetli pozitif korelasyon, Ca iyonu Mg iyonu ve HCO_3 kuvvetli pozitif korelasyon olduğu görülmüştür. Majör anyon ve katyonlar arasında Ca ve HCO_3 iyon çifti arasında en kuvvetli pozitif korelasyon ($r=0.93$) gerçekleşmiştir (Şekil 3.5). Bu durumu Varol ve Şekerci (2018) sulara kaya su etkileşimi ile ilişkili çözünme/çökme ve iyon baz değişimi reaksiyonlarının gerçekleşmesi ile ilişkilendirmektedir.

Tablo 3. 4. Korelasyon analiz sonuçları

	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Na	1,00	0,65	0,53	0,46	0,57	0,49	0,77
K		1,00	0,35	0,35	0,31	0,73	0,55
Ca			1,00	0,77	0,93	0,38	0,68
Mg				1,00	0,76	0,39	0,56
HCO ₃ ⁻					1,00	0,24	0,79
Cl ⁻						1,00	0,24
SO ₄ ²⁻							1,00



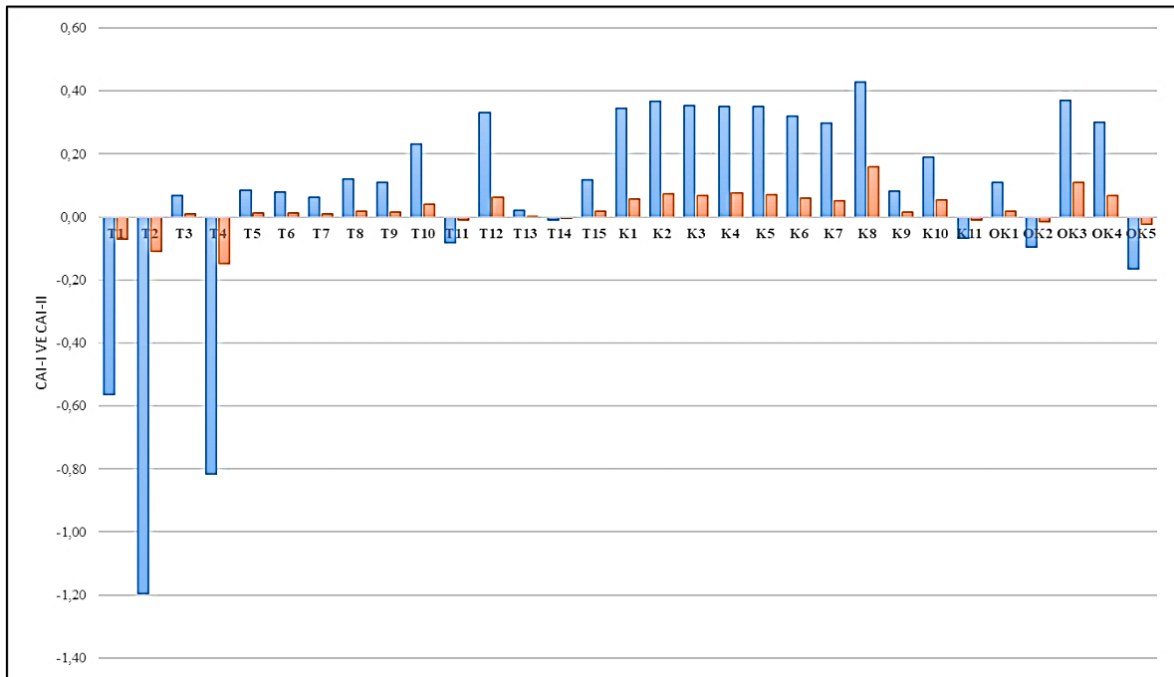
Şekil 3. 5. Ca ve HCO₃ iyonları arasındaki pozitif korelasyon

3.4. Hidrojeokimyasal Süreçler

Suların kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak; iyon değişimi, ayrışma ve çözünme gibi prosesler hidrojeokimyasal süreç olarak adlandırılmaktadır. Su kalitesini ve suların içilebilirliğini kontrol eden ana mekanizmaların başında iyonların göreceli hareketliliği ve su-kayaç etkileşiminin geldiğini Yousef vd. (2009) yaptıkları çalışmada vurgulamıştır. Buna bağlı olarak yeraltı suyu bileşiminin akifer litolojisi ile ilişkisini, kayaç etkileşimini ve buharlaşma baskınlığını tespit edebilmek için; HCO₃, Cl gibi anyonlar ile Ca, Mg, Na ve K gibi katyonların konsantrasyon değerleri kullanılmaktadır (Gibbs, 1970). Çalışmanın amacına bağlı olarak Gümüşhane İli Torul-Kürtün ilçelerinden derlenen 31 adet su örneğinin Cl/(Cl+HCO₃) oranları 0.07-0.20 (ortalama=0.11) arasında, (Na+K)/(Na+K+Ca) oranları ise 0.14-0.39 (ortalama=0.19) aralığında değişim göstermektedir. Elde edilen Cl/(Cl+HCO₃) ve (Na+K)/(Na+K+Ca) değerleri analiz edilen

sularının kimyasının Gibbs (1970)'e göre kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması tarafından kontrol edildiğini ifade eder.

Kaynak sularında meydana gelen su-kayaç etkileşiminde etkili faktör iyon değişimi olduğu göz önüne alındığında, bu çalışmada su-kayaç arasındaki iyon değişimini açıklamak için Schoeller (1965) tarafından önerilen CAI (Chloro Alkaline Indices) indislerinden yararlanılmıştır. Kloroalkalin indeksi I, $\{CAI-I = [Cl^-(Na^+ + K^+)]/Cl^-\}$ ve kloroalkalin indeksi II ise $\{CAI-II = [Cl^-(Na^+ + K^+)]/(SO_4^{2-} + HCO_3^- + CO_3^{2-} + NO_3^-)\}$ formülü ile hesaplanmaktadır. Schoeller (1965)'e göre, sulardaki Na^+ ve K^+ ile kayaçlardaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} , un yer değiştirmesi doğrudan değiş tokuş, değişimin tersi olduğu durum ise ters değiş tokuş olarak adlandırılmaktadır. Doğrudan değiş tokuş işleminde indislerin her ikisi de pozitif, tersi durumda negatif değerler almaktadır (Tahmasebzadeh Bastam ve Gültekin, 2017). Çalışılan su örneklerinin ilgili formüllerle hesaplanan CAI-I değerlerinin 0.24 ile 1.18 (ortalama=0.71) arasında, CAI-II değerlerinin ise 0.04 ile 0.30 (ortalama=0.17) aralığında değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 3.6).

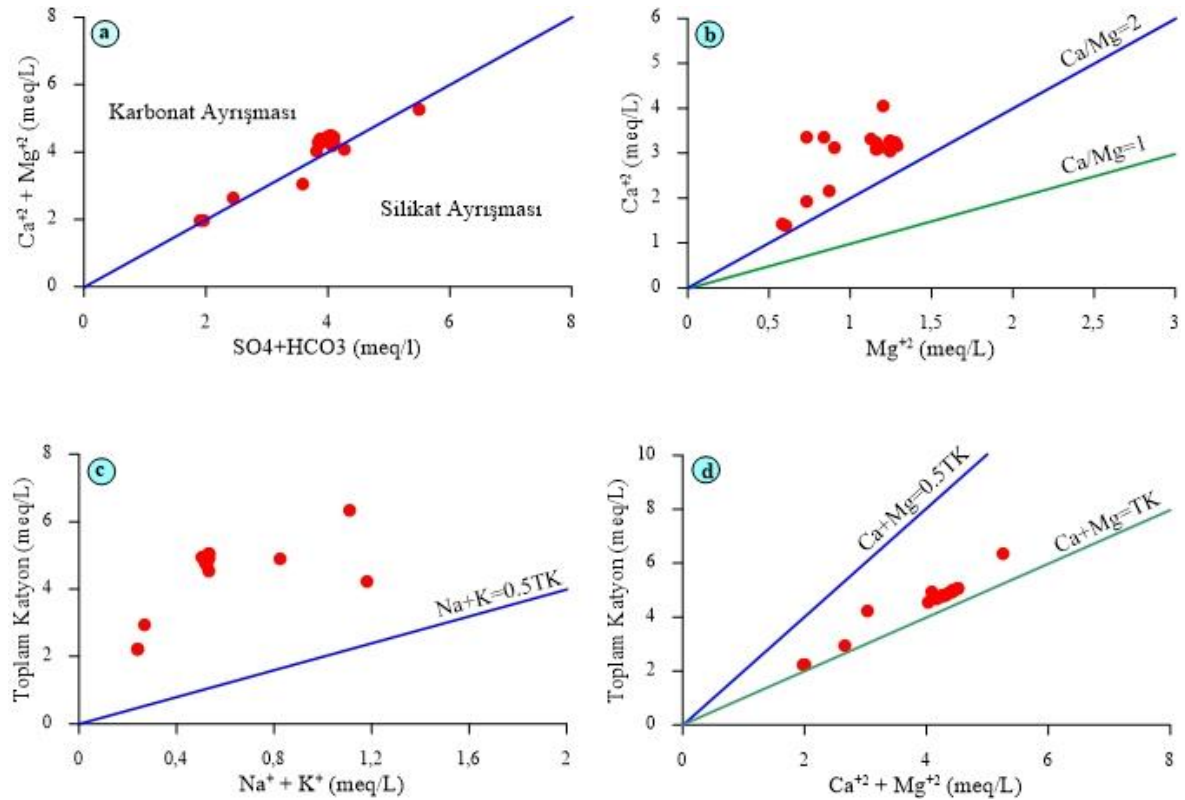


Şekil 3. 6. Örneklerin kloroalkalin indekslerine (CAI-I ve CAI-II) göre dağılımı

Elde edilen sonuçlara göre T1, T2, T4, T11, T14, K11, OK2 ve OK5 nolu örnekler hariç diğer örneklerde hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri pozitif olarak belirlenmiştir. Bu durum; CAI-I ve CAI-II değerlerinin pozitif olarak hesaplandığı örneklerde doğrudan

değiş tokuşun meydana geldiğini ve buna bağlı olarak sulara yer alan Na^+ ve K^+ iyonlarının kayalarda yer alan Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonları ile yer değiştirdiği şeklinde açıklanmaktadır. T1, T2, T4, T11, T14, K11, OK2 ve OK5 nolu örneklerin CAI-I ve CAI-II değerlerinin negatif olması ise sulara yer alan Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonları ile kayalarda yer alan Na^+ ve K^+ iyonlarının yer değiştirdiği şeklinde açıklanmaktadır.

Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre Ca^{+2} konsantrasyonları, 27.56-80.91 mg/L (ortalama=51.79) arasında, Mg^{+2} konsantrasyonları ise 6.72-15.65 mg/L (ortalama=11.46 mg/L) arasında değişmektedir. Diğer taraftan sülfat ve bikarbonat anyonlarının konsantrasyonları ise sırasıyla 4.10-90.83 mg/L (ortalama=22.73 mg/L) ve 79.97-347.94 mg/L (ortalama=177.64 mg/L) arasında değişmektedir. $\text{Ca}+\text{Mg}$ 'a karşı SO_4+HCO_3 grafiğinde (Şekil 3.7a), örneklerin çoğunluğunun izokon çizgisinin üstünde yer alması, sulara karbonat ayrışmasının, silikat ayrışmasından daha etkili olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Şekil 3.7b'de Ca^{+2} 'ye karşı Mg^{+2} grafiği incelendiğinde, örneklerin $\text{Ca}/\text{Mg} = 2$ çizgisinin üzerinde yer aldığı görülmektedir.



Şekil 3. 7. Çalışma alanındaki suların ayrışma diyagramları. a) $\text{Ca}+\text{Mg}$ 'a karşı SO_4+HCO_3 diyagramı. b) $\text{Ca}-\text{Mg}$ diyagramı. c) Toplam katyona karşı $\text{Na}+\text{K}$ diyagramı. d) Toplam katyona karşı $\text{Ca}+\text{Mg}$ diyagramı.

Katz vd. (1998) bu durumu kayalarındaki silikat minerallerinin çözünmesi sonucu açığa çıkan Ca^{+2} ve Mg^{+2} 'nin sulara karışması ile açıklamaktadır. Mevcut çalışmalar incelendiğinde silikat ayrışmasının etkisinin Na^+ ve K^+ katyonlarının analiz sonuçlarından yararlanılarak belirlendiğini göstermektedir. Şekil 3.7c incelendiğinde tüm örneklerin $\text{Na}+\text{K}=0.5\times\text{TK}$ çizgisinin üzerinde dağılım gösterdiği açıkça görülmektedir. Stallard ve Edmond (1983), bu şekilde gözlenen dağılımı, hidrojeokimyasal işlemlerde silikat ayrışmasının katkısından ziyade, Na ve K iyonlarının yeraltı suyuna katkıda bulunduğu şeklinde açıklamaktadır. Diğer taraftan, $\text{Ca}+\text{Mg}$ 'a karşı TK diyagramında (Şekil 3.7d) tüm örneklerin $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}=\text{TK}$ ile $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}=0.5\times\text{TK}$ doğruları arasında lineer bir dağılım trendi göstermesi, silikat minerallerinin ayrışması ile ilişkilidir (Aksever, 2019). Daha önceki bölümlerde ifade edildiği üzere, bu çalışmada kullanılan su örneklerinin Ca-Mg- HCO_3 tipi sular sınıfında olması bu görüşü desteklemektedir.

3.5. Potansiyel Toksik Element İçeriklerinin Değerlendirilmesi

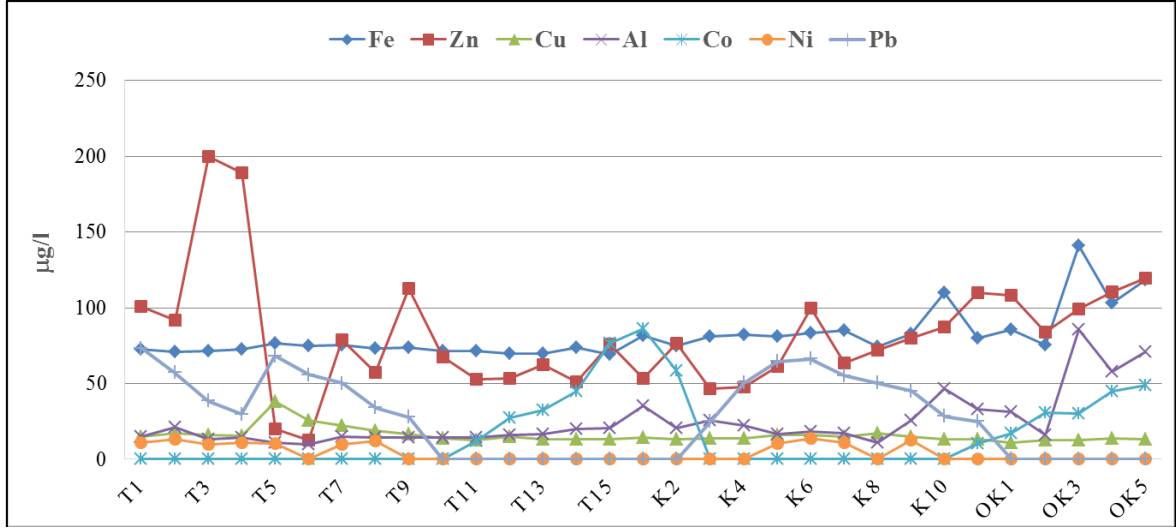
Gümüşhane ili Torul-Kürtün merkezlerinden alınan su örneklerinden iz element analizleri de yapılmıştır. Analizi edilen iz elementler Fe, Zn, Cu, Al, Co, Ni ve Pb olup, bu elementler sulara çözünmüş halde bulunan potansiyel toksik elementlerdir. Su örneklerinin iz element analiz sonuçları Tablo 3.5'te grafiksel dağılımları ise Şekil 3.8'te verilmiştir. Bu bölümde iz element sonuçları TS-266 standartı ve Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlemiş olduğu kabul edilebilir değerlere göre değerlendirilmiştir. Söz konusu bu iz elementlerin sulara genel olarak evsel, endüstriyel atık suları ve madencilik faaliyetleri atıklarının aracılığı ile karışabilmektedir. Bunu yanı sıra özellikle suyun dolaşımı esnasında geçtiği litolojik birimlerdeki kayalarda yer alan minerallerin kimyasal bilişimi de sulardaki metal içeriğinin kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Çalışma sahasından derlenen su örneklerine ait Fe değerleri 69.0-141.1 $\mu\text{g/l}$ aralığında olup Fe konsantrasyonlarının ortalaması 81.5 $\mu\text{g/L}$ 'dir. TSE standardı (TS-266, 2005)'nda içme sularının Fe değerinin 200 $\mu\text{g/L}$ 'den Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartına göre ise 300 $\mu\text{g/L}$ 'den az olması gerektiği belirtilmiştir. Buna göre su numunelerinin Fe değerleri, her iki standarta göre kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır. Doğada pek çok mineralde bulunan Zn elementinin konsantrasyonu içme sularında TS-266 standartına göre 5.000 $\mu\text{g/L}$ 'nin altında Dünya sağlık Örgütü'nün belirlediği standarta göre ise 15.000 $\mu\text{g/L}$ 'nin altında olması gerekmektedir. Buna göre bu çalışmadaki suların Zn

konsantrasyonların 12.7-749.3 µg/L arasında değiştiği (ortalama=99.78 µg/L) dikkate alındığında, söz konusu suların Zn değerlerinin ilgili standartlara göre kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı görülmektedir.

Tablo 3. 5. İz element analiz (µg/L) sonuçları (*t_{sa}*: *tayin sınırı altında*)

Örnek no	Fe	Zn	Cu	Al	Co	Ni	Pb
T1	72.5	100.6	15.2	15.1	t _{sa}	10.8	73.4
T2	71.0	92.0	17.0	21.2	t _{sa}	13.1	57.2
T3	71.7	749.3	16.3	13.5	t _{sa}	10.1	38.6
T4	72.8	189.1	15.7	14.4	t _{sa}	10.9	29.8
T5	76.7	20.0	38.2	10.8	t _{sa}	10.5	68.2
T6	74.9	12.7	25.7	10.0	t _{sa}	t _{sa}	55.8
T7	75.3	79.1	22.4	15.2	t _{sa}	10.0	50.2
T8	73.4	57.1	18.8	14.4	t _{sa}	12.0	34.0
T9	73.5	112.8	16.4	14.3	t _{sa}	t _{sa}	27.9
T10	71.4	67.5	13.6	14.6	t _{sa}	t _{sa}	t _{sa}
T11	71.5	52.8	12.9	14.4	12.1	t _{sa}	t _{sa}
T12	69.6	53.3	14.8	16.3	27.2	t _{sa}	t _{sa}
T13	69.7	62.5	13.5	16.7	32.7	t _{sa}	t _{sa}
T14	73.7	51.4	13.0	20.2	44.9	t _{sa}	t _{sa}
T15	69.0	75.8	13.0	20.4	76.8	t _{sa}	t _{sa}
K1	81.6	53.6	14.4	35.2	86.4	t _{sa}	
K2	74.6	76.7	13.5	20.9	58.6	t _{sa}	
K3	80.9	46.4	13.8	25.7	t _{sa}	t _{sa}	24.9
K4	82.4	47.7	14.0	22.1	t _{sa}		50.5
K5	81.1	61.5	15.9	16.4	t _{sa}	10.2	64.4
K6	83.2	99.5	15.9	18.1	t _{sa}	13.8	66.2
K7	84.8	63.8	15.1	17.1	t _{sa}	10.9	55.4
K8	74.5	71.8	16.9	11.0	t _{sa}		50.3
K9	82.7	80.2	15.0	25.8	t _{sa}	12.6	45.2
K10	109.9	87.1	13.1	46.8	t _{sa}	t _{sa}	28.4
K11	79.8	109.7	13.3	32.9	10.5	t _{sa}	24.9
OK1	85.7	108.4	10.9	31.3	17.5	t _{sa}	t _{sa}
OK2	75.3	83.7	12.5	16.2	30.6	t _{sa}	t _{sa}
OK3	141.1	99.3	12.7	85.5	30.3	t _{sa}	t _{sa}
OK4	103.4	110.2	14.0	57.6	44.8	t _{sa}	t _{sa}
OK5	118.5	119.8	13.3	70.8	48.8	t _{sa}	t _{sa}
TS-266	<200	<5000	<2000	<200	≤10	<20	<10
WHO	<300	<15000	<2000	<200	-	<20	<10
Minimum	69.0	12.7	10.9	10.0	10.5	10.0	24.9
Maksimum	141.1	749.3	38.2	85.5	86.4	13.8	73.4
Ortalama	81.5	99.8	15.8	24.7	40.1	11.4	46.9

İçme sularında bulunması istenmeyen bir diğer toksik element olan Cu, canlı yaşamı için önem arz etmekle birlikte belli oranların üzerinde Cu değeri ise canlılar için risk oluşturmaktadır. Tablo 3.5 incelendiğinde Cu konsantrasyon değerlerinin 10.9 µg/L ile 38.2 µg/L (ortalama=15.8 µg/L) arasında değiştiği görülmektedir. Buna bağlı olarak Cu konsantrasyon değerlerinin, gerek TS-266 gerekse Dünya Sağlık Örgütü standartlarına göre kabul edilen sınırlar içinde kaldığı yine Tablo 3.5'te açıkça görülmektedir.



Şekil 3. 8. Su örneklerinin potansiyel toksik element içeriklerinin dağılımı

Alüminyum elementi çözünme derecesinin düşük olması nedeniyle sularda önemsiz miktarda bulunur. Suların bileşiminde daha yüksek konsantrasyonda alüminyuma rastlanması o bölgede var olan cevherleşmelerle ilişkili olabilmektedir (Şahinci, 1986). Çalışma kapsamında değerlendirme yapılan her iki standartta göre Al değerinin 200 µg/L'nin altında olması gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen Al değerleri 10.0 µg/L ve 86.4 µg/L aralığında (ortalama= 40.1 µg/L) değişmektedir. Elde edilen bu Al değerleri TSE içme ve kullanma suyu standardına (TS-266, 2005) uygundur.

Genellikle volkanik kayalarda bulunan Co elementi, insan vücudunda fazla birikmesi sonucu çeşitli sağlık problemleri (ör. kanser, akciğer ve kalp hasarı) doğurabilmektedir (Atabey, 2005). İnceleme alanından alınan T1 ve T9 arası, K3-K10 arası örneklerinin Co değeri tayin sınırının altında çıkmıştır (Tablo 3.5). Sulardaki kobalt değerlerinin düşüklüğü, sahada yaygın olan felsik magmatik ürünler ile ilişkilendirebilir. Diğer örneklerdeki Co değerlerinin ise TS 266'da izin verilebilir sınır olan 10 µg/L'nin üstünde çıkması, çalışma alanı ve yakın çevresinde yaygın olarak gözlenen mafik volkanik kayalarla ilişkili olabileceği görüşünü ortaya çıkarmaktadır.

Sulardaki olağan nikel miktarının çok düşük konsantrasyonlarda olmasının sebebi, nikel bileşiklerinin suda çözünmemesi ile ilişkilidir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Her iki standart için kabul edilen en yüksek Ni değeri $<20 \mu\text{g/L}$ olup, inceleme alanlarından alınan suların ölçülebilen Ni değerlerinin tamamı $10 \mu\text{g/L}$ 'nin altındadır.

Çalışma sahasından alınan su örneklerinden T10-T15 arası, K1, K2, OK1-OK5 arası örneklerde Pb değeri tayin sınırının altında kalmıştır. Diğer örneklerde ölçülen kurşun değerleri $24.9-73.4 \mu\text{g/L}$ arasında (ortalama= $46.9 \mu\text{g/L}$, $n=18$) değişmektedir. TSE standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü standartına göre içme sularının Pb değerinin $10 \mu\text{g/L}$ 'den az olması gerektiği dikkate alındığında; ölçülen tüm kurşun değerlerinin kabul edilen sınır değerlerin üzerinde yer aldığı Tablo 3.5'te açıkça görülmektedir. Pb içeriğinin kabul edilen sınır değerlerin üzerinde çıkmasının, su numunelerinin alındığı alanda gözlenen granitik kayalar ve Pb-Zn cevherleşmeleri ile dolaylı olarak ilişkili olduğu düşünülmektedir.

3.6. Suların İçilebilirliği ve Kalitesi

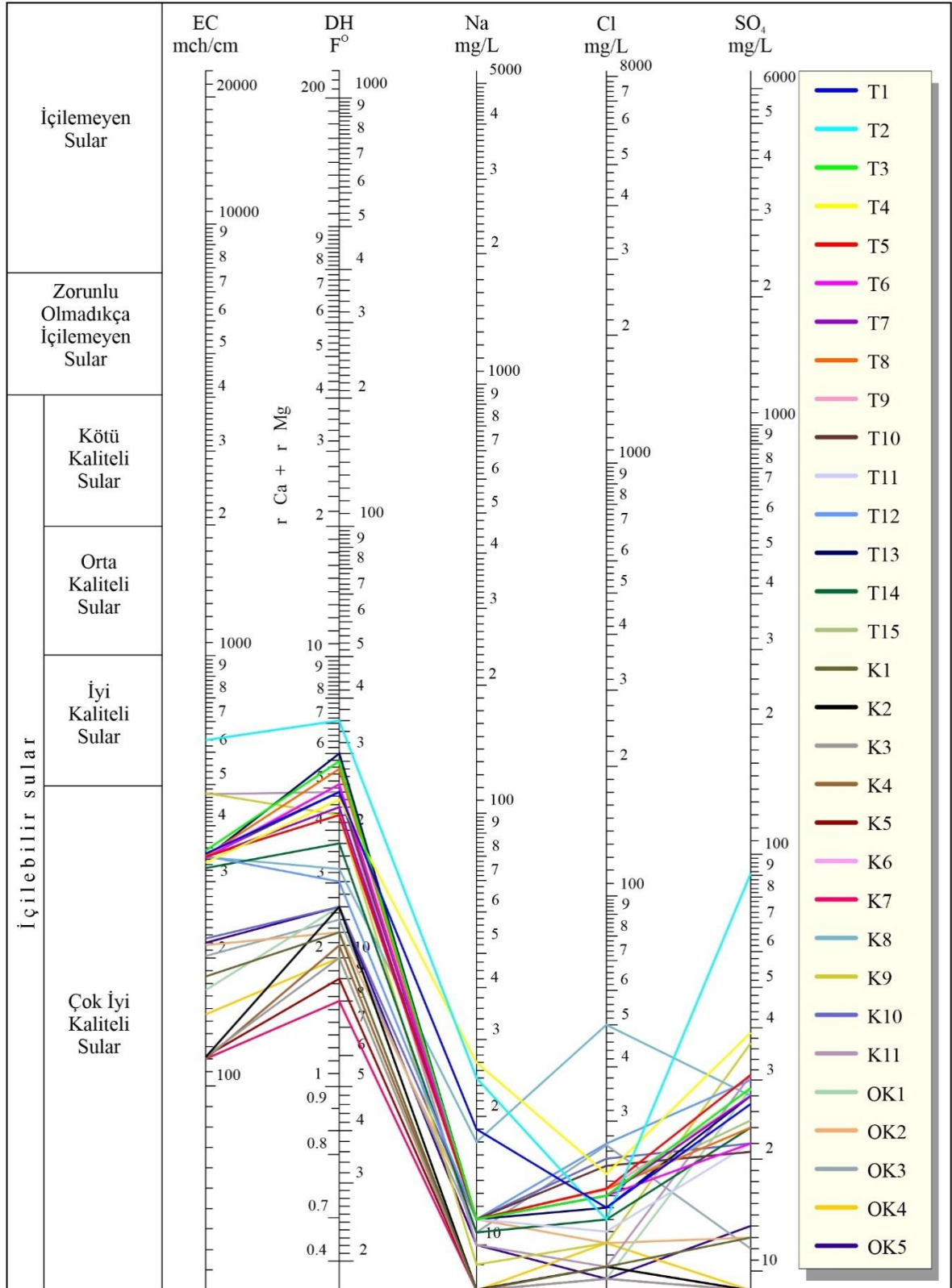
Çalışma kapsamında incelenen suların su kalitesi TSE 266 ve Dünya Sağlık Örgütü standartlarına göre değerlendirilmiş ve bunun yanı sıra, suların içilebilirliğini belirlemek için Schoeller içilebilirlik diyagramı kullanılmıştır (Şekil 3.9).

Suların içilebilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerin başında özgül elektriksel iletkenlik, sertlik, Na^+ katyonu ile Cl^- ve SO_4^{2-} anyonları gelmektedir. T2 ($640 \mu\text{S/cm}$) nolu örnek hariç tüm örnekler özgül elektriksel iletkenlik değerleri açısından çok iyi kaliteli sular sınıfında yer almaktadır. Benzer şekilde, sertlik değerleri açısından da örneklerin büyük bir çoğunluğu çok iyi kaliteli sular kategorisine düşmektedir. Bazı örneklerin ise (T2, T3, T6, T8, T9 ve T13) sertlikleri $25.6-35.6$ aralığında olup, iyi kaliteli sular sınıfına girmektedir. Na^+ , Cl^- ve SO_4^{2-} katyon ve anyonları bakımından ise tüm suların çok iyi kaliteli sular özelliğinde olduğu görülmektedir. Na doğal suların bileşiminde oldukça yaygın bulunan alkali bir metal olup, genellikle suların bünyesine kayaç-su etkileşimi sonucu plajiyoklas ayrışması ve killeşme gibi süreçlerle karışmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen suların Na değerleri ise $5.30-26.59 \text{ mg/L}$ ($n= 31$) arasında değişmektedir. Bu değerler Na^+ iyonu için, TS 266 ve WHO'ya göre, izin verilebilir sınırın ($<200 \text{ mg/L}$) oldukça altında olmakla birlikte, suların Schoeller içilebilirlik diyagramına göre de çok iyi kaliteli sular sınıfında olduğuna işaret etmektedir. Suların içilebilirliğinin

değerlendirilmesindeki bir diğer önemli parametre ise Cl^- iyonu olup, içme ve kullanma suları için izin verilebilir değerler TS 266 ve WHO'ya göre $<250 \text{ mg/L}$ 'dir. İncelenen suların Cl değerleri ise izin verilen azami sınırın oldukça altındadır ($12.32\text{-}49.82 \text{ mg/L}$; $n=31$). Bu durum, Cl içerikleri bakımından suların çok iyi kaliteli sular özelliği taşıdığını göstermektedir. Genellikle pirit, anhidrit ve jips gibi sülfürlü minerallerin oksidasyonu sonucu oluşan ve içme sularına doğal yollarla karışan önemli anyonlardan biri de SO_4^{2-} anyonudur. Gerek TS 266 gerekse WHO'ya göre izin verilebilir maksimum SO_4 miktarı $<250 \text{ mg/L}$ 'dir. Örneklerde bu değerler $4.10\text{-}90.83 \text{ mg/L}$ ($n=31$) arasında değişmekte ve izin verilebilir en yüksek değer altında kalmaktadır. Schoeller içilebilirlik parametrelerine göre ise çok iyi kaliteli sular konumunda yer alırlar.

Bununla birlikte, su kalitesi ve kirlilik oranını ortaya koymak amacıyla, elde edilen tüm sonuçlar, bazı hidrojeokimyasal parametreler (pH, iletkenlik) ve iz elementler (Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Pb, Cr) açısından, kıta içi su kalite standartları (Resmi Gazete, 2012) ile karşılaştırılmıştır (Tablo 3.6). Örneklerin tamamı birçok parametre bakımından I. sınıf kaliteyi yansıtırken, birkaç parametre (Pb, Zn, Cu ve Co) açısından kirlilik belirtisi (II., III. ve IV. sınıf kalite) göstermektedir.

İz elementlerden özellikle Pb, Zn, Cu'nun sularındaki konsantrasyonlarının artması genel olarak, kayaçlardaki kırık ve çatlak sistemleri veya kaynak sularının yakın çevresinde bulunan cevherleşme alanlarında meydana gelen su-kayaç etkileşimi ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu yüzden çalışma alanından alınan su örneklerindeki Pb değerlerinin kabul edilen sınırlar üzerinde çıkmasının, Torul bölgesindeki Altınpınar Pb-Zn cevherleşmesi (Akaryalı, 2016), Kürtün-Özkürtün bölgesindeki Belen Tepe, Melek ve Düzköy cevherleşmeleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Akpınar vd., 2006). Benzer durumu, Gümüşhane ili Kelkit ilçesinde içme suları üzerine yaptığı çalışmada Yazıcı (2019), inceleme sahası civarında gözlenen Ünlüpınar Pb-Zn±Au (Akbulut vd., 2015) cevherleşmesi ile ilişkilendirmiştir. Bunun yanı sıra Pb konsantrasyonundaki yüksek değerlerin, içme sularının içinden geçtiği kurşun içeren boruların korozyonu da etkili olabilmektedir.



Şekil 3. 9. Su örneklerinin Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumları

Tablo 3. 6. Çalışma alanı örneklerinin bazı fizikokimyasal parametreler ve iz elementler (metaller) açısından su kalite sınıfları

Örnek	Alındığı Yer	Su Kalite Parametreleri	Su Sınıfı	Kalite
T1	Merkez Mah. Çeşmesi	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Pb	I IV	
T2	Hayrat Çeşmesi-1	pH, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr İletkenlik, (Pb)	I II, (IV)	
T3	Merkez Tuğrul Bey Mah. Çeşmesi	pH, İletkenlik, Fe, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Zn, Pb	I III	
T4	Kamu Su Deposu-1	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Pb	I III	
T5	Şadırvan-1	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Cu, (Pb)	I II, (III)	
T6	Özel işletme-1	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Cu, (Pb)	I II, (III)	
T7	Çay Evi	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Cu, (Pb)	I II, (III)	
T8	Kamu Çeşmesi-1	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Pb	I III	
T9	Şadırvan-2	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Pb	I III	
T10	Yukarı Tufaniye Çeşmesi	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Pb, Cr	I	
T11	Kamu Su Deposu-2	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I II	
T12	Hayrat Çeşmesi-2	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I III	
T13	Altınpınar Çeşme	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I III	
T14	Kamu Su Deposu-3	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I III	
T15	Kamu Su Deposu-4	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I III	
K1	Kamu Su Deposu-5	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I III	
K2	Sekü Çeşmesi	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I III	
K3	İlyasoğlu Mustafa Çeşmesi	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Pb	I III	
K4	Kamu Çeşmesi-2	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Pb	I IV	
K5	Şadırvan-3	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Pb	I IV	
K6	Değirmen Yanı Gözesi	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Pb	I IV	

Tablo 3.6. devamı

Örnek	Alındığı Yer	Su Kalite Parametreleri	Su Sınıfı	Kalite
K7	Ortaköy Çeşmesi	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Pb	I IV	
K8	Özel işletme-2	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Pb	I IV	
K9	Kamu Su Deposu-6	pH, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr İletkenlik, (Pb)	I II, (III)	
K10	Özel işletme-3	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Co, Ni, Cr Pb	I III	
K11	Hanyanı Mah. Çeşmesi	pH, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Cr İletkenlik, Co, (Pb)	I II, (III)	
OK1	Kale Deresi Süme Köyü	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I II	
OK2	Kamu Çeşmesi-3	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I III	
OK3	Şadırvan-4	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I III	
OK4	Dereli Mah. Göze Suyu	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I III	
OK5	Topkaralı Mah. Göze Suyu	pH, İletkenlik, Fe, Zn, Cu, Al, Mn, Cd, Ni, Pb, Cr Co	I III	

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Torul-Kürtün (Gümüşhane) ilçe merkezlerinden derlenen 31 su numunesi üzerinde katyon ve anyon ölçümleri, pH, Elektriksel İletkenlik (Eİ) ve sertlik (Fr°) gibi fizikokimyasal parametreler belirlenmiştir. Bu amaç kapsamında çalışmasının sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

1. Çalışma amacına yönelik olarak su örneklerinin alındığı; Torul bölgesinde Çatak Formasyonu, Kızılkaya Formasyonu ve Köprübaşı Granitoyidi, Kürtün bölgelerinde ise Çatak Formasyonu ve Sarıosman Monzograniti yüzeyleme vermektedir.

2. Bu çalışmada incelenen suların Ca konsantrasyonları, 27.56-80.91 mg/L (ortalama=51.79) değişmektedir. Ca katyonu yanı sıra sularda analiz edilen Mg, Na ve K katyonlarına ait konsantrasyonlar ise sırasıyla 6.72-15.65 mg/L (ortalama=11.46 mg/L), 5.30-26.59 mg/L (ortalama 11.06 mg/L) ve 0.15-1.55 mg/L (ortalama=0.55mg/L) arasında değişmektedir.

3. SO₄ konsantrasyonu 4.10-90.83 mg/L (ortalama=20.86 mg/L) aralığında değişmektedir. Bunun yanı sıra sedimanter kayalarda özellikle evaporitlerde bulunan Cl elementinin su örneklerindeki konsantrasyonu 12.32-49.82 mg/L (ortalama=19.06 mg/L) arasında ve HCO₃ konsantrasyonu ise 79.97-347.94 mg/L (ortalama=177.64 mg/L) arasında değişmektedir.

4. TS-266 standart değerleri ile su örneklerinin analizlerinden elde edilen anyon ve katyon değerleri karşılaştırıldığında T2 nolu örneğin Ca değeri (80.91 mg/L) hariç diğer tüm anyon katyonların standart kabul edilir değerler arasında kaldığı belirlenmiştir.

5. Su numunelerinin pH değerleri 7.54 ile 8.10 (n= 31; ortalama= 7.86) arasında değişmekte (Tablo3.1) ve örnekler, TS 266 (pH; 6-9) ve WHO (6.5-9.2) içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında örneklerin verilen limitler içerisinde kaldığı açıkça görülmektedir.

6. Çalışma sahasından derlenen su numunelerinin Eİ değerlerinin mikrosiemens/cm cinsinden 119.5-640.0 µS/cm (n=31; ortalama= 285.01 µS/cm) aralığında değiştiği, TS 266 standartına göre T2 (640 µS/cm), K9 (479 µS/cm) ve K11 (477 µS/cm) nolu örnekler Eİ değerleri hariç diğer tüm örneklerin Eİ değerleri I. sınıf su kalitesine işaret ettiği tespit edilmiştir.

7. Suların sertlik değerleri ise 9.93 ile 26.22 F° (n= 31, ortalama=17.64 F°) arasında değişmekte olup, suların çoğunlukla çok sert su (n=15) özellikte olduğu, daha az oranda ise orta sert (n=9) su ve sert su (n=7) özellikte olduğu görülmüştür

8. Klorür, sülfat ve karbonat içeriklerine göre suların sınıflandırılmasına göre suların; klorür içeriğine göre, normal klorürlü ve oligoklorürlü sular, sülfat içeriğine göre, normal sülfatlı, oligosülfatlı ve sülfatlı sular sınıfına girdiği belirlenmiştir. Piper diyagramına göre ise suların, bikarbonatlı (HCO_3^-) ve kalsiyumlu (Ca), düşük $\text{SO}_4^{+2}+\text{Cl}^-$ içeren kalsiyum + magnezyumlu (Ca+Mg) karışık bileşimli olduğu tespit edilmiştir.

9. Çalışılan su örneklerinin ilgili formüllerle hesaplanan CAI-I değerlerinin 0.24 ile 1.18 (ortalama=0.71) arasında, CAI-II değerlerinin ise 0.04 ile 0.30 (ortalama=0.17) aralığında değişim gösterdiği, elde edilen sonuçlara göre T1, T2, T4, T11, T14, K11, OK2 ve OK5 nolu örnekler hariç diğer örneklerde hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerlerinin pozitif olarak belirlendiği, buna bağlı olarak da sulara yer alan Na^+ ve K^+ iyonlarının kayalarda yer alan Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonları ile yer değiştirdiği belirlenmiştir.

10. T1, T2, T4, T11, T14, K11, OK2 ve OK5 nolu örneklerin CAI-I ve CAI-II değerlerinin negatif olması ise sulara yer alan Mg^{+2} ve Ca^{+2} iyonları ile kayalarda yer alan Na^+ ve K^+ iyonlarının yer değiştirdiği şeklinde açıklanmıştır.

11. Kalsiyum+magnezyuma (Ca+Mg) karşı SO_4+HCO_3 grafiğine göre örneklerin çoğunluğunun izokon çizgisinin üstünde yer almasına bağlı olarak, sulara karbonat ayrışmasının, silikat ayrışmasından daha etkili olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

12. Çalışma sahasından derlenen su örneklerine ait iz element analiz sonuçları incelendiğinde; Fe, Zn, Cu ve Al değerlerinin sırasıyla 69.0-141.1 µg/l, 12.7-749.3 µg/L, 10.9-38.2 µg/L, 10.0-86.4 µg/L aralığında değiştiği ve kabul edilebilir sınır değerler içinde kaldığı belirlenmiştir. Co ve Pb elementlerine ait konsantrasyon değerleri ise kabul edilen sınır değerler üzerinde ölçülmüştür.

13. Çalışılan bölgelerde içme sularında gerçekleştirilen ve sağlık açısından önemli olduğu kabul gören majör iyonların ve iz elementlerin analiz edildiği ve hidrojeokimyasal süreçler bakımından yorumlandığı ilk çalışma olma özelliğindedir. Özellikle iz element analizlerinde Co ve Pb gibi ağır metallerle ait ölçülen değerlerin sınır değerlerin üzerinde çıkması ve Gümüşhane ilinin genel olarak birçok ve farklı türde cevherleşmeler bakımından zengin olduğu dikkate alındığında; bölgedeki tüm içme sularının düzenli ve sistematik olarak anyon, katyon ve ağır metal analizlerinin yapılması şiddetle önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Agilent Technology, 2011. Agilent 4100 Microwave Plasma Atomic Emission Spectrometer. Agilent Technologies, Inc. <https://www.agilent.com/en/products/mp-aes/mp-aes-systems/4100-mp-aes>. 08 Nisan 2019.
- Akaryalı, E., 2016. Geochemical, fluid inclusion and isotopic (O, H and S) constraints on the origin of Pb–Zn ± Au vein-type mineralizations in the Eastern Pontides Orogenic Belt (NE Turkey), Ore Geology Reviews, 74, 1-14.
- 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., 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.
- Akpınar, İ., Akaryalı, E. ve Demir, Y., 2006. Gümüşhane İli Maden Potansiyeli, Gümüşhane Valiliği, İl Özel İdaresi Müdürlüğü, Eylül, Gümüşhane.
- Aksever, F., 2019. Hydrogeochemical characterization and water quality assessment of springs in the Emirdağ (Afyonkarahisar) basin, Turkey. Arabian Journal of Geosciences, 12, 780.
- APHA, AWWA, WEF, 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition, Washington DC.
- Appelo, C.A.J. ve Postma, D., 2005. Geochemistry, Groundwater and Pollution (second edition). A.A. Balkema Publishers, Leiden, the Netherlands, 598 p.
- Atabey, E., 2005. Tıbbi Jeoloji. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 124-134.
- Balaram, V., Vummiti, D., Roy, P., Taylor, C., Kar, P., Raju, A.K. ve Abburi, K., 2013. Determination of Precious Metals in Rocks and Ores by Microwave Plasma-Atomic Emission Spectrometry for Geochemical Prospecting Studies, Current Science, 104 (9), 1207-1215.
- Bektaş, O., Yılmaz, C. ve Taşlı, K., 1995. Doğu Pontid Yay Gerisi Havzasında Derin Yayılma Çukurlarının Oluşumu (KD Türkiye): Neotetisin Pasif Kıta Kenarı Evrimi, KTÜ Jeoloji Müh. Böl. 30. Yıl Sempozyumu, Eylül, Trabzon, Bildiriler Kitabı I: 263-274.

- 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.
- Çalık, E., Menteş, Y., Karadağ, F ve Dayıoğlu, H., 2004. İçme Suyunun Sağlık Açısından Değerlendirilmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6, 17-24.
- Doğan, L., 1981. Hidrojeolojide Su Kimyası, DSİ yayınları, Ankara, 178s.
- Eyüboğlu, Y., Bektaş, O., Seren, A., Nafiz, M., Jacoby, W.R. ve Özer, R., 2006. Three-directional Extensional Deformation and Formation of the Liassic Rift Basins in the Eastern Pontides (NE Turkey), *Geologica Carpathica*, 57 (5), 337-346.
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanism Controlling World Water Chemistry, *Science*, 170(3962), 1088-1090.
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1997. Su Kalitesi, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 43, Birinci baskı, Ankara.
- 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 İzotopik Özellikleri. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 188 s.
- 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.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu. MTA, Ankara.
- Jankowski, K., Yao, J., Kasiura, K., Jackowska, A. ve Sieradzka, A., 2005. Multielement Determination of Heavy Metals in Water Samples by Continuous Powder Introduction Microwave-Induced Plasma Atomic Emission Spectrometry After Preconcentration on Activated Carbon, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 60, 369-375.
- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve Yakın Yörelerindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 293 s.

- Katz, B.G., Coplen, T.B., Bullen, T.D. ve Davis, J.H., 1998. Use of Chemical and Isotopic Tracers to Characterize the Interaction between Groundwater and Surface Water in Mantled Karst, Groundwater, 35, 1014-1028.
- Kaygusuz, A., Chen, B., Aslan, Z., Siebel, W., ve Şen., C, 2009. U Pb SHRIMP zircon ages geochemical and Sr Nd isotopic compositions of the Late Cretaceous I type Sariosman pluton Eastern Pontides, NE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 18 549-581.
- Kaygusuz, A. ve Şen, C., 2011. Calc-alkaline I-Type plutons in the Eastern Pontides, NE Turkey: U-Pb zircon ages, geochemical and Sr-Nd isotopic compositions, Chemie der Erde, 71, 59-75.
- Lenntech, 2014. <http://www.lenntech.com/ro/water-hardness.htm>
- Özdoğan, M., Önder Üstündağ, A. ve Demirel, H., 2016. Aydın İli Yeraltı Sularının Hayvancılık İçin İçme Suyu Kalitesi Bakımından Değerlendirmesi, Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 13(2), 113–121.
- 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.
- Resmî Gazete, 15/04/2015. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetim Yönetmeliği. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Sayı: 29327, Ankara.
- Schoeller, H., 1955. Géochimie des eaux souterraines. Rev. Inst. Franç. Pétrole, Paris, 10. No. 3-4.
- Schoeller, H., 1965. Hydrodynamique Lans Lekarst (Ecoulemented Emmagasinement). Actes Colloques Doubronik, I, AIHS et UNESCO, pp. 3-20.
- Semiz, Ü., 2019. Şiran (Gümüşhane) İlçe Merkezi İçme Sularının Fiziksel ve Jeokimyasal Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 74 s.
- 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.
- Stallard, R.F. ve Edmond, J.M., 1983. Geochemistry of the Amazon: 2. The Influence of Geology and Weathering Environment on the Dissolved Load, Journal of Geophysical Research: Oceans, 88 (C14), 9671-9688.

- Stumm, W. ve Morgan, J.J., 1970. Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters. New York: Wiley-Interscience, 583 p.
- Şahinci, A. 1986. Yeraltı suları Jeokimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi yayını, 394 s. İzmir.
- Tahmasebzadeh Bastam, E. ve Gültekin, F., 2017. Değirmendere (Trabzon) Havzası Kaynak Sularında Su-Kayaç Etkileşimi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 41, 59-77.
- Tokel, S., 1972. Stratigraphical and Volcanic History of the Gümüşhane Region (NE Turkey), Doktora Tezi, University of College, London,
- TSE, 2005. TS 266, Türk İçme Suyu Standartları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uslu, S., 2014. Gümüşhane İl Merkezi İçme Sularının Fiziksel ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 60 s.
- Varol, S. ve Şekerci, M., 2018. Korkuteli (Antalya) su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve kullanılabilirliğinin belirlenmesi, Yerbilimleri, 39 (1), 1-18.
- Vural, A. ve Gündoğdu, A., 2017. Determination of Excess Fluoride Content in Surface Waters from Gümüşhane (NE Turkey) Mining/Alteration Areas. 3rd International Congress on Environmental Researches and Technology (ICERAT), Belgrade, Serbia.
- Vural, A., Bulut, V.N., Alemdağ, S. ve Soylak, M., 2018a. Geochemical investigation of the potability of surface water in Torul Çit River (Gümüşhane, NE Turkey). 3rd International Health Sciences and Management Conference, p.280-286, Sofia, Bulgaria.
- Vural, A., Gündoğdu, A. ve Saka, F., 2018b. Hydro-chemical evaluation of water quality in Gökdere-Beyçam drainage network (Gümüşhane, NE Turkey). 3rd International Health 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.
- Vysetti, B., Vummiti, D., Roy, P., Taylor, C., Kamala, C.T., Satyanarayanan, M., Kar, P., Subramanyam, K.S.V., Raju, A.K. ve Abburi, K., 2014). Analysis of Geochemical Samples by Microwave Plasma-AES. Atomic Spectroscopy, 35 (2), 65-78.
- WHO (World Health Organization), 2014. <http://www.permoakdeniz.com/icme-suyu-standardi.html>.

- Yazıcı, N., 2019. Kelkit ve Köse (Gümüşhane) İlçe Merkezi İçme Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri İle Yan Kayaçlarla Olan İlişkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 97 s.
- Yousef, A.F., Saleem, A.A., Baraka, A.M. ve Aglan, O.S.H., 2009. The Impact of Geological Setting on the Groundwater Occurrences in some Wadis in Shlatein-Abu Ramad Area, SE Desert, Egypt, European Water, 25 (26), 53-68.