



**GÜMÜŞKÖY (KÜTAHYA) Ag YATAĞI ÇEVRESİNDEKİ
SULARDA ARSENİK KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yıldı CİHAN

Anabilim Dalı: Maden Yatakları-Jeokimya

Danışman: Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ

Temmuz-2018

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

**GÜMÜŞKÖY (KÜTAHYA) Ag YATAĞI
ÇEVRESİNDEKİ SULARDA ARSENİK
KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yıldı CİHAN**

Anabilim Dalı: Maden Yatakları-Jeokimya

Danışman: Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ

Tezin Enstitüyü Veriliş Tarihi: 20 Haziran 2018

TEMMUZ 2018

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

**GÜMÜŞKÖY (KÜTAHYA) Ag YATAĞI
ÇEVRESİNDEKİ SULARDA ARSENİK
KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yıldı CİHAN**

Anabilim Dalı: Maden Yatakları -Jeokimya

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Haziran 2018
Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Temmuz 2018**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Y. Doç. Dr. Özlem ERDEM (Tunceli Üniv.)

Y. Doç. Dr. Ayşe Didem KILIÇ (F.Ü.)

TEMMUZ 2018

ÖNSÖZ

“Gümüşköy (Kütahya) Ag yatağı çevresindeki sularda arsenik kirliliğinin incelenmesi” konulu bu çalışma Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde 2014-2016 tarihleri arasında yüksek lisans çalışması olarak hazırlanmıştır. Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından MF.16.75 nolu proje kapsamında çalışılmıştır. Desteklerinden dolayı Fırat Üniversitesi BAP Birimine teşekkür ederim.

Tezin hazırlanması sırasında desteklerini gördüğüm danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ’a ve sulardaki iyon analizlerimin yapımını gerçekleştiren Kimya Mühendisi Zeynep TUNÇ ‘a teşekkür ederim. Ayrıca, Yüksek lisans yapmam için beni teşvik eden, maddi ve manevi olarak beni destekleyen sevgili aileme de teşekkür ederim.

ÖZET

Gümüşköy (Kütahya) Ag yatağı çevresindeki sulara arsenik kirliliğinin incelenmesi

Bu çalışmada, Kütahya İli Gümüşköy Ag madeni çevresindeki sulara arsenik kirliliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda bölgede gözlenen 21 adet su kaynağından haziran ve ekim (2017) aylarında su örnekleri alınmıştır. Bu örneklerde hem katyon hem de anyon analizleri yaptırılmıştır. Alınan su örneklerinin anyon analizleri Elazığ İl Özel İdaresi Analiz laboratuvarındaki iyon analizöründe, katyon analizleri ise Acme (Kanada) Analiz Laboratuvarı'ndaki ICP-MS'de yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre yöredeki suların sınıflaması yapılmış ve buna göre bölgedeki suların Ca^{+2} ve HCO_3^- 'ca zengin sular olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada yöredeki suların arsenik kirlilik potansiyeli ortaya çıkarılmış ve bölgenin çok yoğun bir şekilde arsenik kirliliğine maruz kaldığı gözlenmiştir. Bölgedeki kuyuların ortalama 301 ppb, en yüksek ise 1735 ppb arsenik içerdiği saptanmıştır. Bölgedeki 21 suyun 11'inde WHO standartlarının (10 ppb) üzerinde arsenik değerleri saptanmıştır. Yöredeki arsenik kirliliği, Tavşanlı Volkanitleri içerisinde gözlenen sülfürlü cevherleşmelerle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yöredeki yeraltı suları Piper diyagramı ile sınıflandırılmış ve bu sular Ca ve HCO_3^- 'ca zengin sular olarak tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kütahya, Gümüşköy, arsenik kirliliği, yeraltı suları,

SUMMARY

Arsenic pollution in the waters around Gümüşköy (Kütahya) mining area

The main objective of this study is to investigate arsenic contaminations in the waters of Gümüşköy, Kütahya Turkey. For that, twenty-one samples were collected in the study area at Jun and October months of 2017 and measured the temperature, pH, and electric conductivity. These waters were analyzed by ICP-MS for As and other cations and by Ion analyzer in Elazığ İl Özel İdaresi Laboratory for anions. According the results, water types in the aquifer were identified by using Piper's (1944) trilinear plotting technique and described as Ca bicarbonate water. These results showed that the waters of Gümüşköy and its surrounding intensely polluted by the arsenic and some metals. The average and highest concentration of As were found 301 and 1735 ppb, respectively, in the study area. Arsenic levels in 11 ground waters of 21 were observed to have higher levels than in permissible levels (10 ppb) of WHO. It is possible that As pollution in this region was related with a result of alteration of sulfate deposits in the deep.

Key Words: Kütahya, Gümüşköy, arsenic pollution, water,

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
ÖZET	II
SUMMARY	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VI
1. GİRİŞ	1
1.1 Coğrafi Konum	5
1.2 Önceki Çalışmalar	6
1.3 Bölgenin Jeolojisi	11
1.4 Cevherleşmeler	21
2. MATERYAL VE METHOD	27
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
4. SONUÇLAR	44
5. KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1	İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	11
Şekil 1.2	Çalışma alanı jeoloji haritası.....	13
Şekil 1.3	Çalışma alanı stratigrafik kesiti	14
Şekil 1.4	Şahin Formasyonu'na ait şistlerin arazideki görünümü.....	15
Şekil 1.5	Emet Formasyonu'nun arazideki görünümü.....	19
Şekil 1.6	Gümüşköy Ag işletmesi ve havuzların uzaktan görünüşü.....	24
Şekil 1.7	Açık işletme sahasının yakından görünüşü.....	25
Şekil 1.8	Aktepe açık işletme sahasında silisli ve bol baritli sülfürlü cevherleşmeler... .	25
Şekil 1.9	Gözeçukuru bölgesi işletme sahasının uzaktan görünüşü.. ..	26
Şekil 2.1	Şahin köyü ve Şahin köyü güneybatısından gelen derelerin görünümü.....	28
Şekil 2.2	Şahin köyü güneybatısında gözlenen GK-17 nolu kaynağın görüntüsü.....	28
Şekil 2.3.	Şahin köyü güneybatısında gözlenen GK-20 nolu kaynağın görüntüsü.....	28
Şekil 2.4	Şahin köyü içerisinde gözlenen GK-14 nolu köy çeşmesinin görüntüsü.. ..	28
Şekil 3.1	Örnek noktalarını gösteren uydu görüntüsü.....	31
Şekil 3.2	Gümüşköy çevresindeki suların Schoeller diyagramı.....	18
Şekil 3.3	Piper diyagramı.	18

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1.	Toplam sertlik derecelerine göre suların sınıflandırılması	33
Tablo 3.2.	Bölgedeki suların kimyasal analiz sonuçları	41
Tablo 3.3.	Bölgedeki suların korelasyon ilişkileri	42
Tablo 3.4.	TSE, EU ve WHO tarafından belirlenen içme suyu standart değerleri	43



1. GİRİŞ

“Gümüşköy (Kütahya) Ag yatağı çevresindeki sularda arsenik kirliliğinin incelenmesi” konulu bu çalışma Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde 2015–2018 yılları arasında gerçekleştirilmiştir.

Çevre; dünya üzerinde yaşamını sürdüren canlılarının hayatları boyunca ilişkilerini sürdürdüğü dış ortam olarak tanımlanmaktadır ve kısaca “**Ekosistem**” olarak da adlandırılmaktadır. Hava, su ve toprak bu çevrenin fiziksel unsurlarını, insan, hayvan, bitki ve diğer mikroorganizmalar ise biyolojik unsurları oluşturmaktadır. Doğanın temel fiziksel unsurları olan, hava, su ve toprak üzerinde olumsuz etkilerin oluşması ile ortaya çıkan ve canlı öğelerin hayati aktivitelerini olumsuz yönde etkileyen, cansız çevre öğeleri üzerinde yapısal zararlar meydana getiren ve niteliklerini bozan yabancı maddelerin hava, su ve toprağa yoğun bir şekilde karışması olayına "Çevre Kirliliği" adı verilmektedir. Gelişen teknolojinin yaşamımıza getirdiği rahatlık yanında, bu gelişmenin tabiata ve çevreye verdiği kirliliğin boyutu her geçen gün yükselen bir hızla artmaktadır. Yaşamı daha mükemmel hale getirmek, daha sağlıklı ve uzun bir ömür sağlayabilmek amacına dönük bu gelişmelerin, gerek kırsal, gerek kentsel alanlarda olsun, doğal kaynakları bozduğu su, hava, toprak kirlenmesine yol açtığı, bitki ve hayvan varlığına zarar verdiği son yıllarda inkâr edilemez bir gerçek haline dönüşmüştür. Çevre sorunlarının nedenleri:

- 1- Göçler ve düzensiz şehirleşme,
- 2- Kişi başına kullanılan enerji, su, kâğıt, kömür vb. artışı,
- 3- Ormanların tahribi, yangınlar ve erozyon,
- 4- Aşırı otlatma ve doğal bitki örtüsünün tahribi,
- 5- Konutlardaki ve işyerlerindeki ısınmadan kaynaklanan hava kirliliği,

- 6- Motorlu araçlar ve deniz araçları,
- 7- **Maden, kireç, taş ve kum ocakları,**
- 8- Gübre ve zirai mücadele ilaçları,
- 9- Atmosferik olaylar ve doğal afetler,
- 10-Kanalizasyon sularının arıtılmaksızın alıcı ortamlara verilmesi ve sulamada kullanılması,
- 11-Katı atıklar ve çöp,
- 12-Sulak alanların ve göllerin kurutulması,
- 13-Arazilerin yanlış kullanımı,
- 14-Kaçak avlanma,
- 15-TV, bilgisayar ve röntgen gibi tıbbi cihazlarından ortaya çıkan radyasyon,
- 16-Endüstriyel ve kentsel kaynaklı gürültü.

Ülkemizde su kirliliğine etki eden başlıca unsurlar; sanayileşme, şehirleşme, nüfus artışı, madencilik faaliyetleri, zirai mücadele ilaçları (pestisid) ve kimyasal gübrelerdir. Ülkemizde özellikle sanayi kuruluşlarının sıvı atıkları ile su kirliliğine, dolayısıyla da toprak ve bitki örtüsü üzerinde kirlenmelere neden olduğu ve hızlı bir şekilde çevrenin tahribine yol açtığı bilinmektedir. Ayrıca sanayileşme hareketleri ile kente göç olayı da başlamış ve bu durum yine hızlı ve düzensiz yapılaşmaya sebep olmaktadır. Zirai mücadele için kullanılan ilaçlamalarda havadaki ilaç zerreciklerinin rüzgarla sulara taşınması veya pestisit üretimi yapan fabrika atıklarının durgun veya akarsulara boşaltılması sonucunda su kaynaklarımız pestisitlerle kirlenmektedir.

Ağır metaller, yukarıda belirtilen çevre sorunlarına bağlı olarak doğal çevreyi kirlitebilirler. Bu kirlilik kaynaklarının en önemlilerinden birisi de madencilik

alışmaları ve buna bağlı endüstrilerdir. Bu kirlenme doğal yollarla olabildiği gibi insan ve diğer canlıların aktivitesi, rüzgâr ve yağış gibi meteorolojik olayların etkisi ile de meydana gelebilmektedir. Bu süreçler sonunda toprakta biriken bu zararlı maddeler, toprak içinde bazı fiziksel ve kimyasal reaksiyonlara girerek, toprağın niteliğini bozar, yapısını değiştirir, verim gücünü azaltır. Ayrıca toprak canlılarının ölümüne de neden olabilir. Bu ağır metaller toprakta toplanarak bitki kökleri, toprak canlıları ve toprağın besin maddeleri, dolayısıyla bitki beslenmesi üzerinde zararlı etkiler meydana getirir. Özellikle, ağır metaller bakımından önemli derecede kirlenmiş topraklar, bitkiler tarafından bunların aşırı derecede alınmasını sağlar. Bu şekildeki bir beslenme, zehir etkisi yapar. Bitkisel maddelere aşırı dozda geçmiş olan bu zararlı maddeler, besin zinciri ile diğer canlılara geçerek, onlar için de zararlı olur. Ayrıca yağış suları ile taban sularına da karışarak, suların da niteliğini bozmaktadır. Toprağı kirleten ağır metaller (Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn, As, Cd, Ag, Tl gibi), toprakta çeşitli ekolojik etkilere enden olurlar (epel, 1997). Bunlar aşağıda özetlenmiştir;

Atmosferik hareketlerle kutuplara, tundralara ve göllere de taşındıklarından emisyon kaynağından çok uzak olan insan eli değmemiş yaşam ortamlarında da zararlı olurlar. Bu tez kapsamında, Gümüşköy (Kütahya) As, Ag ve Pb yatağı çevresi hem doğal hem de bölgedeki madencilik faaliyetleri sonucunda bölgedeki hem toprak hem bitkiler hem de su kaynakları önemli oranda kirlenmiştir. Toprakta ve bitkilerde yoğun olarak gözlenen bu metallerin üst kabuktaki ortalama değerleri As (2 ppm), Ag (0.055 ppm), Pb (17 ppm) şeklinde verilmiştir (Wedepohl, 1995). Türkiye’deki işletilen tek gümüş yatağı olan, Kütahya-Gümüşköy gümüş yatağı 178 gr/t Ag tenörlü, 21.5 milyon ton rezerve sahiptir. Bu da 3827 ton metal gümüş rezervine eşdeğerdir (DPT, 2001). Gümüşköy yatağında gümüşe, yoğun olarak toksik özellik taşıyan As, Pb, Zn, Sb, Tl ve

Cd gibi metaller eşlik etmektedir. Bu durum da bölgedeki bu kadar çeşitli ve o derece toksik özelliğe sahip ağır metallerin bir araya gelmesi bölgedeki kirlenmenin risk faktörünü daha da artırmaktadır.

Yöredeki yoğun madencilik çalışmaları, 3500 yıldan beri yapılmakla birlikte (Yiğitgüden ve Friedrich, 1981; Kartalkanat, 2008), modern madencilik çalışmaları Eti Holding vasıtasıyla 1987 yılı sonlarında Eti Holding Gümüş A.Ş.'nin Kütahya/Gümüşköy mevkiinde kurulan tesislerinin fiilen faaliyete geçmesiyle başlamıştır. Bu tesis, ülkemizin cevherden doğrudan gümüş üreten ilk ve tek tesistir. Eti Holding Kütahya–Gümüşköy işletmesinde uygulanan üretim teknolojisi, yöntem olarak, arama faaliyetleri sonucu Türkiye’de bugüne kadar bulunan işletilebilir altın sahaları için öngörülen teknoloji ile temelde benzerlik göstermekte olup, her ikisi de siyanürleme yöntemine dayanmaktadır (DPT, 2001). Siyanürleme yöntemi, cevherlerden altın – gümüş üretiminde yaklaşık 100 yıldan beri kullanılmaktadır. Son yıllarda işlevi daha ekonomik ve verimli kılan yeni proseslerin de geliştirilmesi sonucu bu yöntem, günümüz madenciliğinde özellikle, küçük tane boyutlu altın içeren düşük tenörlü yatakların değerlendirilmesinde tek seçenek olmuştur. Üretim akım şeması, genel olarak, cevherdeki altın ve gümüşün anyonik siyanür kompleksleri halinde çözündürülerek sulu faza özütlenmesi (liç) ve sulu fazdan kazanılması proseslerini kapsamaktadır. Çözünen altın ve gümüşün sulu faza özütlenmesi için uygulanacak proseslerin belirlenmesinde, cevherin rezerv ve tenörü ile mineralojik, geçirgenlik ve difüzyon gibi yapısal özellikleri dikkate alınmaktadır (DPT, 2001).

Bu çalışmanın amacı; yaklaşık 3500 yıldan beri ilkel ve modern madenciliğin yapıldığı Gümüşköy yatağı çevresinde, hem doğal hem de yöredeki madencilik çalışmaları sonucunda, bölgedeki yüzey suyu ve kaynaklarda ortaya çıkan arsenik

kirlilik boyutlarının saptanmasıdır. Bu amaçla yataklar çevresindeki akarsu ve kaynaklardan su örnekleri alınarak, kimyasal olarak başta arsenik olmak üzere pek çok ağır metal analizleri yapılmıştır. Daha sonra ise, elde edilen tüm bulgular, çevre ve halk sağlığı açısından değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

1.1. Coğrafik Durum

Çalışma sahası, Kütahya'nın'nın yaklaşık 25 km batısında, Kütahya – Tavşanlı karayolunun Köprüören köyünün hemen güneyinde (Şekil 1.1), 1/25.000 ölçekli Kütahya J 23 a2 ve J 23 b1 paftaları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.2). Yöre oldukça engebeli bir topografya ya sahiptir ve 1050 ile 1584 metre arasında rakımlara sahip pek çok yükseltiler bulunmaktadır. Başlıca yükseltiler Koca Tepe (1203 m), Sarıkız Tepe (1281 m), Aktepe (1389 m), Kayapınar (1534 m) ve Kızıl Tepedir (1413 m). Bölgenin en önemli akarsuyu Değirmen Dere'dir. Bu derenin ana kolları ise Şahin Dere ve Koca Dere'dir. Ayrıca Gümüşköy'ün içerisinde geçen Düden Dere de bölgenin önemli akarsu kaynağıdır.

Kütahya, İç Anadolu'nun soğuk iklimi ile Marmara ve Ege'nin ılık iklimi arasında bir geçiş özelliği gösterir. Üç bölgenin özelliklerini taşır. Son 30 yılda yapılan günlük rasatlara göre çok şiddetli rüzgar esmemektedir. Kışın hâkim rüzgar güneyden, yazın hâkim olan rüzgar kuzeyden esmektedir. Yıllık yağış miktarı ortalama 600-1100 mm'dir. Kar kalınlığı 50 cm'yi geçmez. En soğuk aylar ocak ve şubat, en sıcak aylar temmuz ve ağustostur. Genel olarak yazın sıcaklık + 20°C'yi geçmez. Sıcaklık -27,4°C ile +36,8°C arasında seyrederek. Ovalar ılık, yayla ve dağlar soğuktur. Fakat İç Anadolu'da hâkim olan step ikliminin dışında kalır. +30°C'nin üstünde sıcak günler bir ayı geçmez. Sıfırın altında gün sayısı 100 güne yakındır. Bitki örtüsü bakımından

Kütahya ve çevresi İç Anadolu, Ege ve Marmara bölgelerinin özelliğini taşır. Bölgenin hâkim bitki topluluğu kara ikliminin bitkileri olmasına rağmen, vâdi içlerinde, Karadeniz'in nemli tesirlerine açık kesimlerinde, bilhassa dağlık bölgelerinin kuzey meyillerinde deniz bitki topluluğu, Ege ve Marmara yoluyla Akdeniz tesirinin görüldüğü kesimlerde Akdeniz bitki örtüsü yer alır. İl topraklarının yarısı orman ve fundalıklarla, % 12'si çayır ve mer'alarla, % 35'i ekili alanlarla kaplıdır. Ormanlar çok yüksek platolardadır. Ormanlarda karaçam, ardıç ve meşe ağaçları çoğunluktadır. Bölgenin başlıca gelir kaynaklarını arpa ve buğday gibi tarım ürünleri ile hayvancılık oluşturmaktadır. Arazinin dağlık oluşu nedeniyle özellikle koyun ve keçi gibi küçükbaş hayvanlar yaygın olarak yetiştirilmektedir.

1. 2. Önceki Çalışmalar

Gümüşköy (Kütahya) yatağı ve bölgenin jeolojisini incelemek amacıyla pek çok çalışma yapılmıştır. Yöredeki yatakların eski çağlardan beri işletildiği bilinmektedir ve bunlarla ilgili pek çok buluntuya (galeri, tünel, ağaç kömürleri, seramik potalar, değirmen taşları) rastlanmıştır (Vıcıl, 1982; Yigitgüden, 1984; Arık 2002).

Aktepe - Gümüşköy arasında ortalama 3-4 m kalınlığında ve yaklaşık 12 km²'lik bir alanda eski devirlerde yapılmış işletmelerden kalan pasa bulunmakta ve bugün yüksek tenörlü cevher kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Gümüşköy döküntülerinden alınan bir odun kömürü örneğinde ¹⁴C izotopu yaşına göre 3900 ± 85 yıl bulunması yöredeki madencilik çalışmalarının Frigler döneminden başlayıp Asurlar ve Truva VI dönemine kadar uzandığını göstermektedir (Yigitgüden, 1984). Kartalkanat (2008), Kütahya-Gümüşköy'deki Eti Gümüş tarafından işletilen gümüş işletmesinin pasaları arasından alınan odun kömürünün C⁻¹⁴ izotop analizinde yaşı

3534±24 yıl olarak belirlenmiştir. Bu veri Kütahya-Gümüşköy'de ortalama olarak M.Ö. 1500 yıllarından beri madencilik yapıldığını gösteren önemli bir bulgudur. Bu bulgu, M.Ö. 12. Yüzyıldan itibaren bölgede egemen olan Frigyalılardan daha önce hüküm süren Hititlerin döneminde yatağın işletilmekte olduğunu göstermektedir.

Yörede, Ildız (1967) ve Erdoğan (1971) başlıca kil, marn ve kireçtaşlarının bulunduğunu belirtmektedirler. Akyol (1975), Vıcıl (1982), Yigitgüden (1984) Tersiyer'de gelişen karasal volkanizmaya ait Miyosen yaşlı tuf, tüfit, riolitik tuf, riyodasitik tuf, kireçtası silis sinter (kabuk) Pliyosen yaşlı dolomitli kireçtaşları ve dolomitler, Pliyosen yaşlı bazaltlar ve Kuvaterner'de oluşan alüvyonların bulunduğunu belirtmektedirler.

Yörenin tektonik evrimi ile ilgili olarak, Ünsal ve Koçak (1982), Vıcıl (1982) ve Karabaş (1997) tarafından yapılan çalışmalarda, bu yapıların hem cevherleşme öncesi, hem de cevherleşme sonrasında geliştiğini belirtmişlerdir. Yazarlar, Tersiyer yaşlı tüfleri de etkileyen tektonik aktivite sonucunda Aktepe madeni civarında kuzey – güney eksen doğrultulu kıvrımlarla doğu - batı yönlü fayların ortaya çıktığını ve bu ana fay sistemi ile bağlantılı birçok tali fayın varlığından söz etmiştir. Yiğitgüden (1984) kayaçların düşey atımlı bir fay ile atıldığını ve cevherleşmenin bu faya bağlı olarak geliştiğini, Alpergun (1996) yörede tektonizma izlerinin oldukça fazla olduğunu, özellikle Paleozoyik yaşlı şistlerin aşırı miktarda kıvrımlı ve kırıklı bir yapı sergilediğini, Neojen yaşlı tuf, tüfit ve karbonatlı kayaçların Alpin orojenezi ile kıvrımlanmış ve kırılmış olduğunu ve cevherleşmenin bu kırık hatlarını izlediğini belirtmiştir.

Özker (1970), yörenin 1/25000'lik jeolojik haritasını yaparak, Aktepe çevresindeki cevherleşmenin önemini vurgulamıştır. Bölgede 1970'ten sonra MTA ve

ETİBANK tarafından araştırma yapılmış ve jeolojik veriler rezistivite ölçümleri ile desteklenmiştir. Başlangıçta sahanın antimuan ve kurşun için araştırması yapılmış, daha sonra gümüşün önemli olduğu anlaşılarak proje gümüş prospeksiyonu sekline dönüştürülmüştür. ETİBANK bölgede 1973'ten sonra ağırlıklı olarak çalışmış, 1975'ten sonra da sondajlı arama ve rezerv belirleme çalışmalarına başlamış ve bu sondajlar 1992 yılına kadar aralıklarla devam etmiştir (Erler vd., 1983; Kafkas, 1994; Etibank, 1995; Alpergun, 1996; Karabaş, 1997).

Vıcıl (1982), yörede başta Aktepe olmak üzere Gözeçukuru ve Sığiregreği şeklinde üç sahada cevherleşmenin oluştuğunu ve cevherleşmelerin polimetalik karakterde olduğunu belirtmiştir. Vıcıl (1982)'a göre Aktepe cevherleşmesi başlıca 2 evrede oluşmuş ve gümüş zenginleşmesi daha çok birincil cevherleşme evresinin ilk iki döneminde gerçekleşmiştir. Bölgedeki volkanik kayaların tüm Batı Anadolu'daki volkanitler gibi bir volkanik kuşak ve bu kuşakta gerçekleşen dalma - batma olayları sonucu oluştuğunu ve bu esnada And tipi polimetalik cevherleşmelerin gerçekleştiğini savunmaktadır. Yapmış olduğu araştırmalar sonucunda sahadaki parajenez, süksesyon ve mineral ilişkilerine göre Aktepe yatağının epi mezotermal bir yatak olduğunu belirtmiştir.

Yigitgüden (1984) tespit edilen mineralizasyonların silis sinter içinde barit - sfalerit - gümüşlü galenit - antimonit, tüfler içinde gümüşlü galenit - sfalerit mineralizasyonu, gümüşlü galenit - sfalerit gang mineralleri, dolomit içinde barit oluşumları, barit gangı ve ince antimonit damarları şeklinde olduğunu belirtmiştir.

Kafkas (1994) en yoğun cevherleşmenin riyodasitik tüflerde oluştuğunu ve cevherleşme esnasında tüflerde kaolenleşme, kloritleşme, silisleşme ve serisitleşme gibi alterasyonların geliştiğini belirtmiştir.

Karabaş (1997) yörede cevherleşmenin iki evreli olarak geliştiğini belirtmiştir. Birinci evrede yüksek sıcaklıklı hidrotermal çözeltiler, ana fay sistemi boyunca yükselerek tüflerin silisleşmesini ve boyları bir kaç metre olan ince damarların oluşumunu sağlamışlardır. Bu silisleşme esnasında önemli metal zenginleşmeleri ile birlikte gümüş de zenginleşmiştir. İkinci evre olarak tanımlanan epitermal zenginleşme dönemi ise çok daha genç olup, yöredeki aktivitesi halâ devam etmektedir. Ayrıca tarihi devirlerde bölgede yapılan madencilik faaliyetlerinden ardakalan eski imalat pasaları da yüksek tenörlü gümüş cevheri olarak değerlendirilmektedir.

Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Müessesesi 100. Yıl Gümüş Madeni İşletmesi Müdürlüğü (1995) bölgede yapılan madencilik faaliyeti ile ilgili hazırlamış olduğu raporda, maden sahası ve çevresinin jeolojisi, maden üretim yöntemleri, çevre kontrolü, dünyada ve Türkiye'deki gümüş üretimi, tesisin genel üretim şeması, istihdam ile ilgili bilgi vermiştir.

Arık (2002), Gümüşköy yatakları çevresinde iki farklı dönemde gelişmiş iki volkanizmaya ait kayaçlar bulunduğunu ve asidik ve nötr özellikteki birinci volkanizmanın Miyosen yaşlı olduğunu belirtmiştir. Bu volkanizmanın ürünü olan riyolit ve riyodasitik özellikte tüfit ve tüfler yer yer aşırı derecede silisleştiğini ve bu kayaçların içerisinde bulunan damar tipi ve saçınımlı cevherleşmeden önce yerleştiklerini ifade etmektedir. Pliyosen sonlarında gerçekleşen ikincil volkanizmanın ise bazaltik ve nadiren andezitik bileşimli lavlarla temsil edildiğini ve bazik volkanizmanın cevherleşme ile doğrudan ilişkisi olmadığını düşünmüştür. Gümüşköy yatakları yüzeyden itibaren derine doğru belirgin bir zonlanma bulunduğunu ve yatakların en üst kesimlerinde genellikle silis kabuğun yer aldığını belirten Arık (2002), yatakların en üst kesimlerinde As ve Sb'ca zengin damarlar bulunduğunu, bunu aşağıya

dogru sirasiyla As-Sb-Ag ve Ag-Pb-Zn zonlarinin takip ettiğini açıklamıştır. Aktepe yatağındaki mevcut işletme merkez kabul edilirse yanal yönde de bir zonlanmanın varlığından ve bu zonlanmaya uygun olarak Ag, As, Sb cevherleşmelerin bulunduğunu ve merkeze biraz daha uzak olan Gözeçukuru yatağında ise As, Sb ve Tl zenginleşmelerinin olduğundan söz etmiştir.

Arık ve Nalbantçılar (2004, 2005a, 2005b, 2006a ve 2006b) ise Gözeçukuru cevherleşmesine ait pasa ve döküntülerin toprağa ve yüzey sularına karışarak halk sağlığı açısından risklere neden olduğunu ifade etmiştir.

Yaldız (2007) bölgede yaptığı çalışmalarda; Maden yataklarının çok yakınında bulunan Dulkadir köyünde gözlenen yaygın cilt ve akciğer kanserlerinin tehlikeli miktarda arsenik dağılımına bağlı olduğunu öne sürmüştür. Dulkadir, Sahin ve maden yataklarının ve özellikle Gözeçukuru yatağının çevresinde yaşayan insanlar cilt kanseri, akciğer kanseri, kalp ritimlerinde bozukluklar gibi birçok risk altındadır. Maden yataklarının ve özellikle Gözeçukuru yatağının çevresindeki diğer köylerde yaşayan geçmiş yıllarda bu yataklarda çalışan, tarım ve hayvancılık faaliyetlerine bağlı olarak oluşan tozlardan etkilenen, yöredeki sulardan ve bu kirli sularla sulanan bitkilerden faydalanan insanlar diğerlerine göre daha fazla etkilenmişlerdir. Bu faaliyetleri gerçekleştirenler daha fazla erkekler olduğu için erkeklerin etkilenmeleri daha fazla olmuştur. As, Cd, Tl, Pb, Zn, Cu, Sb ve Ba ile diğer iz element dağılımlarına göre kuzeyde Aliköy- Köprüören ve güneyde Vakıf-Köreken-Sahin köyleri çizgileri arasında kalan bölge daha fazla risk altında olduğu belirtilmiştir.

Arık ve Yaldız (2010), aynı bölgede toprak ve ağaçsı bitkiler üzerinde yapmış oldukları çalışmalarda ise bölgedeki toprakların ve söğüt, çam, meşe, ceviz ve armut gibi pek çok bitkilerin önemli oranda ağır metal tarafından kirletildiği belirtilmiştir.



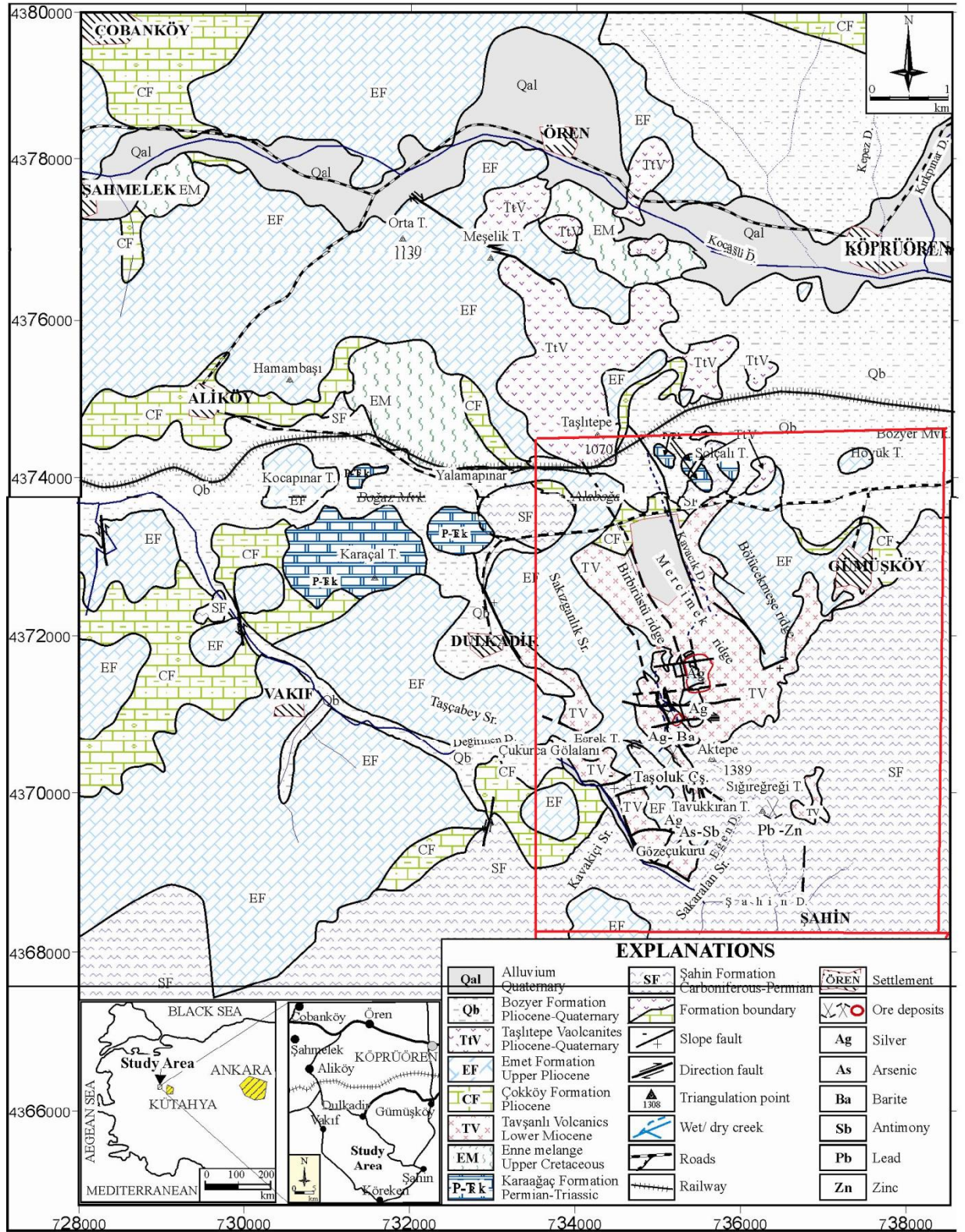
Şekil 1.1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

1.3. Bölgenin Jeolojisi

Bölgede temeli, Karbonifer - Permien yaşlı düşük dereceli metamorfizma geçirmiş metakırıntılılardan oluşan Şahin formasyonu oluşturmaktadır. Permien - Triyas yaşlı mermerlerle temsil edilen Karaağaç formasyonu, Şahin formasyonu ile uyumlu olarak gelmektedir. Enne melanji diğer birimlerin üzerinde tektonik sınırla durmaktadır ve yerleşim yaşı Üst Kretase'dir. Miyosen yaşlı ve alt kesiminde çok az taban konglomerası ile başlayıp, riolitik ve riyodasitik bileşimli tüf, tüfit ve aglomeralarla temsil edilen Tavşanlı volkanitleri Senozoyik öncesi temel üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Alt Pliyosen yaşlı tüf, karbonat ve kil bileşimli

kayaçlardan, kumtası, konglomera ve tüflerin ardalanmalarından oluşan Çokköy Formasyonu açık yeşil rengiyle diğer birimlerden kolaylıkla ayırt edilebilmekte olup diğer birimlerin üzerinde uyumsuz olarak durmaktadır. Çokköy formasyonu üzerine uyumlu olarak Üst Pliyosen yaşlı killi kireçtası, kireçtası ve dolomitik kireçtaslarından oluşan Emet formasyonu gelmektedir. Emet formasyonu içerisinde yörede sadece Aktepe civarında gözlenen dolomit ve dolomitik kireçtasları bulunmaktadır. Geç Pliyosen - Kuvaterner döneminde gelisen bazik volkanizmanın ürünü olan Taşlıtepe volkanitleri bütün birimleri keserek yüzeylemektedir. Kuvaterner döneminde gelişen az tutturulmuş kırıntılı kayaçlardan oluşan Bozyer formasyonu ve oluşumu devam eden alüvyonlar bütün birimleri uyumsuz olarak örtmektedirler (Arık, 2002)(Şekil 1.2 ve 1.3).

Şahin Formasyonu, çalışma alanında başlıca yeşil, pembe ve bej renkli düşük dereceli metamorfik; fillit, killi-sist, serisit-şist ve klorit-muskovit şistler ile metakumtası, metakonglomera, kalkşist, mermer, talkşist, muskovitşist, mikaşist, grafitli mikaşist ve kuvarsitlerden oluşmaktadır (Şekil 1.4). Birim, Arık (2002) tarafından tanımlanmış olup, çalışma alanı doğusunda ve güneyinde özellikle de Şahin köyü çevresinde geniş yüzeylemeler sunmaktadır (Şekil 1.2). Bu birimin üzerine uyumlu olarak Karaağaç Formasyonu'na ait siyah renkli bitümlü mermerler gelmektedir ve bunların yaşı ise Ercan vd. (1990) tarafından Permien olarak kabul edilmiştir. Yine formasyonun alt kesimlerinde bulunan grafitli şistlerin karbon içeriğinin olasılıkla Karbonifer döneminde kazanıldığı düşünülmektedir. Bu verilere göre, Şahin Formasyonu'nun yaşı Permo-Karbonifer olarak kabul edilmistir. Birimin içerisinde metakumtası, metakonglomera, kalkşist, mermer, talkşist, mikaşist, muskovitşist, grafitli mikaşist gibi metamorfik kayaçların bulunması, başlangıçta killi, kumlu kireçtası



Şekil 1.2. Çalışma alanı jeoloji haritası (Arık, 2002'den).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (~m)	SİMGELER	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER		ALÜVYON	25	Qal		Tutturulmamış çakıl, kum, silt, kil.
			BOZYER FORMASYONU	0-80	T-Qb		Az tutturulmuş çakıl, kum, kil.
	TERSIYER NEOJEN	PLİYÖSEN	TAŞLITEPE VOLKANİTLERİ	100	Tt		Siyah, yeşilimsi siyah renkli, masif görünümlü, oldukça sert ve köşeli kırklar veren bazalt - andezit.
							Bej, kahverenkli, ince tabakalı dolomit ve dolomitik kireçtaşı
			EMET FORMASYONU	230	Te		Beyaz, gri, açık yeşil, kahvemsî sarı renkli, yer yer marn, kumtaşı aratabakalı kilitaşı. Birim yer yer oldukça fazla ayrışmaya uğramış ve özellikle marn seviyeleri çörtleşmiştir.
	MİYOSEN	ÜST	ÇOKKÖY FORMASYONU	200	Tç		Beyaz, gri, açık yeşil, kahvemsî sarı renkli, yer yer marn, kumtaşı aratabakalı kilitaşı. Birim yer yer oldukça fazla ayrışmaya uğramış ve özellikle marn seviyeleri çörtleşmiştir.
			TAVŞANLI VOLKANİTLERİ	300	Tta		Grimsî bej, sarı, bej renkli kalın tabakalı, masif, kısmen ayrılmış, çoğunlukla silisleşmiş tüfit, tuf
	MESOZOYİK	KRETASE	ENNE MELANJİ	?	Kem		Sarı, bej, kirli beyaz renkli dasit, riyodasit ve riyolit.
							Altan üste doğru serpantin, serpantinleşmiş peridotit, yeşil, kırmızı renkli çört, bordo renkli radyolarit.
							Değişik yaşta ve boyutta karbonat blokları
PALEOZOYİK	KARBONİFER - PERMIYEN	ÜST PERMIYEN - ÜST TRIYAS	KARAAĞAÇ FORMASYONU	>400	P-Rk		Alt kesimlerinde koyu gri, siyahımsı renkli bitümlü oldukça sık kıvrımlı, ince tabakalı, üstte beyaz renkli, ince - orta tabakalı mermerler.
			ŞAHİN FORMASYONU	>800	K-Pş		Gri, koyu gri renkli kireçtaşı blokları
							Pembe, bordo, gri, yeşilimsi gri renkli oldukça sık kıvrımlanmış metakumtaşı, metakonglomera kalkışit, talkışit, grafitli şist ve mikaşistler

Şekil 1.3. Çalışma alanının stratigrafik kesiti (Yaldız, 2007).

ve marn gibi değişik özellikteki kayalardan oluşan sığ bir çökelme ortamını yansıtmaktadır. Böyle bir oluşum karadan kırıntı geliminin yoğun olduğu, zamana bağlı olarak alçalıp yükselen sığ ve yer yer karbonat çökelimine elverişli bir kıyı ortamında gerçekleşebileceğini yansıtmaktadır. Arık (2002) tarafından metamorfitlerin mineral parajenezine dayanılarak, formasyonun olasılıkla düşük dereceli bölgesel metamorfizmaya uğramış olabileceği belirtilmiştir. Çalışma alanı ve yakın çevresindeki metamorfitlere ait şistlerin Menderes masifini kaplayan örtü şistleri olduğunu (Ercan vd., 1984; Oygür ve Erler, 1999) ve Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Hersiniyen orojenezi döneminde metamorfizmaya uğradığı öne sürülmüştür.



Şekil 1.4. Şahin Formasyonu'na ait şistlerin arazideki görünümü. Şahin köyü batısı.

Karaağaç Formasyonu, ilk defa Vıcl (1982) tarafından Mesozoyik Mermerleri olarak tanımlanmış ve daha sonra ise Arık (2002) tarafından Karaağaç bölgesinde yaygın olarak görülmeleri nedeniyle Karaağaç Formasyonu olarak adlandırmıştır. Bölgede Şahin Formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelmekte ve Enne melanji ve diğer genç birimler tarafından örtülmektedir (Şekil 1.3). Birim çalışma alanı batısında gözlenmekte olup (Şekil 1.2), başlıca gri ve bej renkli, bitümlü, kriptokristalin dokulu mermerlerle temsil edilmektedir. Alt kesimleri daha kalın üste doğru ise daha ince tabakalı bir yapı sunan birim, arazide oldukça çatlaklı ve kırıklı bir yapı sunmaktadır. Birim Arık (2002)' a göre yaklaşık 400 m. kalınlıktadır. Araştırmacılar bu formasyon içerisinde fosil bulamamışlardır. Birim Permien-Karbonifer yaşlı Şahin formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Buna göre birim Permien'de çökelmeye başlamış ve Triyas döneminde çökme devam etmiştir ve dolayısıyla da birime Permien-Triyas yaşını vermişlerdir (Arık, 2002). Yazar, benzer şekilde Karaağaç formasyonunu meydana getiren karbonatlı kayalar sığ denizel karbonat çökeldiği, daha sonraki dönemlerde ise düşük dereceli yeşilist fasiyesinde metamorfizmaya uğradığı, kıvrımlandığı ve oldukça kırıklı bir yapı kazandığı belirtilmiştir.

Enne melanji, bölgede bazik ve ultrabazik kayalar ile karbonatlı kayalar yanal geçişlere sahiptir ve başlıca spillit, serpantin, radyolarit ve değişik boyuttaki karbonat blokları ile temsil edilmektedir. Birim, çalışma alanındaki Gümüş tesisleri ile Aliköy arasındaki mevkide yüzeyleme vermektedir (Şekil 1.2). Formasyon içerisinde gabro, piroksenit, diyabaz, dolerit, bazalt ve piroklastik kayalarla temsil edilen magmatik kayalar, serpantinit, talk ve talkşistlerden oluşan metamorfik kayalar ile radyolarit, radyolaryalı çört, kırmızı ve yeşil şeyl, grovak ve kireçtaşları ile temsil edilen pelajik sedimanlar bulunmaktadır. Birime ait tüm parçalar düşünüldüğünde ofiyolitik bir

karmaşık niteliği sunmaktadır: Çalışma alanında Karaağaç Formosyonu üzerine tektonik olarak duran Enne Melanjı, Kretase sonunda kapanan okyanusal ortamın magmatik ve pelajik çökelleri ile daha eski birimlere ait değişik yaşta ve boyutta karbonat bloklarından oluşmaktadır (Arık, 2002). Bölgede çalışmalar yapan Arık (2002) ve Yıldız (2007), birimin Üst Kretase yaşında olduğunu belirtmişlerdir.

Tavşanlı volkanitleri, ilk defa Ercan vd. (1982) tarafından bu isimle adlandırılmıştır. Birim, çalışma alanında Gümüşköy, Dulkadir ve Şahin köyleri arasındaki özellikle de Aktepe bölgesinde geniş yüzeylemeler vermektedir (Şekil 1.2). Birim, gri ile kahverengi tonlar arasında değişen renklerde ve yoğun olarak alterasyona uğramış dasit, riyodasit ve riyolit bileşimli tüfitlerden oluşmaktadır. Yer yer piroklastik kayaç parçaları ile ince kristalli kuvars, opal, kalsedon, iri kristalli barit, ince kristalli galenit, sfalerit ve antimonit bulunmaktadır. Bu birimin üzerine Üst Pliyosen yaşlı Emet formasyonu uyumsuz olarak gelmekte olup, sondajlardan elde edilen verilere göre riyolitik ve riyodasitik tüflerin kalınlığı yaklaşık 40 m olarak saptanmıştır (Arık, 2002). İnceleme alanının taban kesimlerindeki tüf ve tüfitler içerisinde bulunan yaprak fosillerine (*Fagus Feromae Ung.*) dayanarak, birime Miyosen yaşını verilmiştir (Vııl, 1982). Kütahya ve Emet çevresinde aynı volkanizmanın devamı niteliğindeki volkanizmanın kalkalkali kuvarslatit karakterindedir ve bunların radyometrik analizlere göre 19.6 ile 17.2 milyon yılı gösterdiği belirtilmiştir (Sunder, 1979). Bu verilere göre birimin yaşı Orta - Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir.

Çokköy formasyonu, ilk defa Baş (1983) tarafından Domaniç tarafında tanımlanmıştır. Birim başlıca yeşil ve gri renkli marn, bej renkli kıltaşı, kumtaşı, konglomera, tüf ve yer yer kireçtaşı tabakalarından oluşmaktadır. Çokköy Formasyonu inceleme alanı batı ve kuzeybatısında mostralara vermektedir (Şekil 1.2). Birim,

inceleme alanı içerisinde farklı yerlerde farklı renk tonlarına sahip olmasına rağmen genellikle açık yeşil, kahve, beyaz, gri ve bej renkli olarak gözlenmektedir. Birimin en alt seviyelerinde tüfler egemen durumda iken, orta kesimlerinde marnlar, üste doğru ise kireçtaşları baskın durumda bulunmaktadır ve tüm bu birimler bölgede yatay veya yataya yakın konumda yer almaktadırlar (Arık, 2002). Çalışma alanındaki Çökköy formasyonu üzerinde de çalışan Baş (1983) ve Gün vd. (1979), birim içerisinde buldukları Ostrakod ve Gastropod fosillerine dayanarak, Çökköy Formasyonu'na Alt Pliyosen yaşını vermişlerdir. Arık (2002) Çökköy Formasyonu'nun Üst Pliyosen yaşlı Emet formasyonu ile aynı yaşlı, yanal ve düşey yönde bu birimle geçişli olup, birimin en fazla 200 m kalınlığa sahip olduğunu ölçmüştür ve Pliyosen başından itibaren bölgede gelişen gölsel havza ürünü olduklarını belirtmiştir.

Emet formasyonu, çalışma alanında en geniş yayılıma sahip birimlerden bir tanesidir (Şekil 1.2) ve Gümüşköy ve Aktepe batısı olmak üzere pek çok yerde mostra vermektedir. Birim başlıca ince tabakalı, açık renkli yer yer killi ve silisli kireçtaşı, kireçtaşı ve dolomitlerden meydana gelmektedir. Birim, ilk defa Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Emet civarında tanımlanmış ve adlandırmışlardır. Birim ince ve orta tabakalı, beyaz ve gri renklerde ve bol gözeneklidir. Yer yer birimin alt kesimlerinde tabaka kalınlıkları 1 metreyi aşmaktadır ve genelde yatay veya yataya yakın konumda durmaktadır (Şekil 1.5). Arık (2002) ve Yıldız (2007) birim üzerinde yaptıkları çalışmalarda, özellikle Aktepe civarında silisleşmeler ile çatlak ve boşluklarda barit, galenit ve kuvars oluşumları yaygın olarak gözlediklerini ve dolomitlerin kireçtaşlarına göre daha az boşluk içerdiklerini belirtmişlerdir. Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Taşlıtepe volkanikleri tarafından da kesilmekte olan formasyonun kalınlığı yaklaşık 200 m olarak belirtilmiştir (Arık, 2002). Bundan dolayı da Arık (2002) tarafından birime Üst

Pliyosen yaşı verilmiştir ve içerisinde rastlanan tatlı su fosillerine göre Pliyosen’de bölgede meydana gelen grabenleşme sonucu oluşan göl ortamında çökeldiğini göstermektedir.



Şekil 1.5. Emet Formasyonu’nun arazideki görünümü. Yer Gümüşköy batısı.

Taşlıtepe volkanitleri, ilk defa Bas (1983) tarafından Karaköy volkanikleri olarak adlanmış, daha sonra ise Arık (2002) tarafından ise Taşlıtepe civarında tipik olarak görülmesi nedeniyle Taşlıtepe volkanikleri olarak isimlendirilmiştir. Birim çalışma alanın hemen güneyinde gözlenmektedir (Şekil 1.2) ve başlıca koyu renkli ve bol gaz boşluklu bazalt ve andezitlerden oluşmaktadır. Bu kayalar petrografik olarak incelendiğinde genellikle porfirik dokuya sahip olduğu, iri kristaller halinde plajiyoklaz ve piroksenlerden oluştuğu saptanmıştır. Örneklerde yer yer olivin ve amfibole de rastlanmaktadır. Taşlıtepe volkanitleri, Arık (2002) tarafından alt ve üst birimlerin yaşlarına dayanarak Üst Pliyosen - Kuvaterner yaşını vermiştir. Birimin kalınlığının ise 80 m. kadar çıktığını belirtmiştir. Arık (2002) inceleme alanında bulunan volkanik kayalar levha içi grabenleşmeye bağlı olarak konveksiyon akımları ile ısınan üst kabuk, alt kabuk ve üst mantonun kısmi ergimesi ile oluştuğunu belirtmiştir. Taşlıtepe volkanitleri yaş ve litolojik özelliklerine dayanarak, Ercan vd. (1984)' a göre Kula volkanitlerine, Ercan vd. (1984)' e göre Denizli volkanitlerine, Baş (1983)' a göre Karaköy volkanitlerine, Ercan vd. (1990)'a göre ise Manyas volkanitlerine benzediğini söylemişlerdir.

Bozyer formasyonu, ilk defa Baş (1983) tarafından Kocayataktepe formasyonu, daha sonra ise Arık (2002) tarafından Bozyer formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim başlıca genelde kırmızı ve kahve renklerde, az tutturulmuş kaba ve ince taneli çakıl, kum ve kil gibi kırıntılı kayalardan oluşmaktadır. Birim çalışma alanı kuzeyinde gözlenmektedir ve oldukça geniş alanlar kaplamaktadır (Şekil 1.2) ve içindeki çakıllara dayanarak, Arık (2002) tarafından bu birimin Kuvaterner yaşında olduğunu belirtmiştir.

1.4. Cevherleşmeler

Gümüşköy Ag, Pb, Sb, As yatakları çok eski yıllardan beri bilinen üzerinde değişik amaçlı pek çok çalışmanın yapıldığı Türkiye'nin tek gümüş yatağıdır. Bölgede ilk bilimsel çalışmalar 1970'li yıllarda başlamış ve artan ivme ile birlikte son yıllarda bölgenin maden jeolojisi ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda 1970'li yılların başında jeolojik haritalama, 1975 den sonra ise sondajlı çalışmalarla arama ve rezerv belirleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir ve bu çalışmalar 1997 yılına kadar sürmüştür (Özker, 1970; Vıcıl, 1982; Erler vd., 1983; Yiğitgüden, 1984; Kafkas, 1994; Etibank, 1995; Alpergun, 1996; Karabaş, 1997). Son yıllarda ise hem maden jeolojisi, hem de bölgedeki yatakların çevreye vermiş olduğu zararları inceleyen çalışmalar yayınlanmaya başlanmıştır (Arık, 2002; Arık ve Nalbantçılar, 2004, 2005a, 2005b, 2006a ve 2006b; Yıldız, 2007). Vıcıl (1982), bölgede Aktepe, Gözeçukuru ve Sığireğreği olmak üzere üç bölgede cevherleşmelerin görüldüğünü ve bu cevherleşmelerin polimetallik ve epi-mezotermal karakterde geliştiğini ortaya koymuştur. Yiğitgüden (1984) ise bölgedeki cevherleşmelerin oluşum tiplerini ortaya koymuştur ve silis sinter, tüfler, dolomit içindeki cevherleşmeler, barit gangi ve ince antimonit damarları olmak üzere farklı gruplara ayırmıştır. Kafkas (1994), bölgedeki cevherleşmelere kaolenleşme, kloritleşme, silisleşme ve serisitleşme gibi yoğun hidrotermal alterasyonların eşlik ettiğini söylemiştir. Karabaş (1997) yörede cevherleşmenin iki evreli olarak geliştiğini belirtmiştir. Birinci evrede yüksek sıcaklıklı hidrotermal çözeltiler, ana fay sistemi boyunca yükselerek tüflerin silisleşmesini ve boyları bir kaç metre olan ince damarların oluşumunu sağlamışlardır. Bu silisleşme esnasında önemli metal zenginleşmeleri ile birlikte gümüş de zenginleşmiştir. İkinci evre olarak tanımlanan epitermal zenginleşme dönemi ise çok daha genç olup, yöredeki

aktivitesi halâ devam etmektedir. Ayrıca tarihi devirlerde bölgede yapılan madencilik faaliyetlerinden arda kalan eski imalat pasaları da yüksek tenörlü gümüş cevheri olarak değerlendirilmektedir. Arık (2002) ise bölgede yaptığı jeolojik ve jeokimyasal incelemelerde, bölgede polimetallik karakterli epitermel tipte yaklaşık 35 km²'lik bir alana dağıldığını saptamıştır. Gümüşköy yatakları çevresinde iki farklı dönemde gelişmiş volkanizma ürünü asidik ve nötr bileşimli volkanitler bulunmaktadır ve bunların yaşının ise Miyosen olarak belirtmiştir. Bu volkanizmanın ürünü olan asidik tüf ve tüfitlerin yer yer aşırı derecede silisleştiğini ortaya koymuş ve içinde gelişen damar tipi ve saçınımlı cevherleşmelerden önce bölgeye yerleştiğini söylemiştir. Pliyosen sonlarında gerçekleşen ikincil volkanizmanın ise kısmen bazik karakter taşıdığını ve bu volkanizmanın cevherleşme ile doğrudan bir ilişkisinin olmadığını iddia etmiştir. Yazar ayrıca bölgedeki cevherleşmelerde hem yatay hem de düşey yönde zonlanmaların görüldüğünden söz etmektedir. Bölgede çevre jeolojisi ve çevre kirliliği açısından da çalışmalar yapılmaya başlanmıştır ve bu kapsamda ilk çalışmalar Arık ve Nalbantçılar tarafından gerçekleştirilmiştir ve söz konusu yazarlar 2004-2006 yılları (2004, 2005a, 2005b, 2006a ve 2006b) arasında bu yatakları çevreye vermiş olduğu tahribatla ilgili pek çok çalışma yapmışlardır. Benzer şekilde, Yıldız (2007) ise bölgedeki gümüş yatakları ve bundan kaynaklanan toksik metallerin özellikle de bu bölgede yaşayan insanlarda çeşitli kanser vakaları ve kalp ritimlerinde bozuklukların artması gibi sağlık problemlerinin artışına neden olduğunu savunmuştur.

Türkiye'deki işletilen tek gümüş yatağı olan, Kütahya-Gümüşköy gümüş yatağı 178 gr/t Ag tenörlü, 21.5 milyon ton rezerve sahiptir. Yatak kuzeyde Gümüş işletmesinin bulunduğu alan ve Kavacık Dere, batıda Taşoluk çeşmesi, güneyde Değirmen dereye kadar uzanan Gözeçukuru mevki ve doğuda ise Şahin köyü ve

Sığıreğreği Tepe ile sınırlandırılmaktadır (Şekil 1.2). Bu kadar geniş alanda cevherleşmeleri görülmekle birlikte, en yoğun cevherleşmeler Aktepe çevresinde görülmektedir ve cevher işletmesinin önemli bir kısmı da bu alandan yapılmaktadır (Şekil 1.6). Bölgede cevher üretimi açık işletme yöntemi ile yapılmaktadır ve oldukça büyük tonajlı iş makineleri bölgede faaliyetlerine devam etmektedir. Çoğu kez bu alanda gözlenen cevherleşmeler yoğun altere olmuş koyu kahverengi ile gri arasında değişen farklı renklerde toprak örtüsü ile temsil edilmektedir (Şekil 1.7). Özellikle silisli ve baritli kesimler bu alterasyondan fazla etkilenmemiştir ve arazide sağlam bir şekilde korunabilmişlerdir (Şekil 1.8). Gözeçukuru bölgesi ise cevherli sahanın güney kesimlerinde bulunmaktadır (Şekil 1.9) ve önemli sahalardan birisidir. Bu bölgeden alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları, bu bölgenin özellikle Sb ve As açısından önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bölgedeki cevherli fazlar daha çok sülfür mineralleri (antimuanit, realgar, orpiment) şeklindedir ve yoğun olarak altere olmuş ve oksitlenmiştir. Bu nedenle de yüzey ve yüzeye yakın kesimlerde sarı renklerde orpiment kalıntılarını gözle görmek mümkündür (Şekil 1.9). Bölgedeki gümüş oluşumları Arık (2002)' a göre Şahin formasyonuna ait şistler ve bunların üzerinde uyumsuz olarak bulunan Tavşanlı volkanitlerine ait tüfit, riyoit, dasit ve riyodasitik tüfler ile Emet formasyonuna ait kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşları içerisinde bulunmaktadır. Cevherleşmelerin batı kesimi ise Vııl (1982)' a göre ise K-G doğrultulu düşey faylarla kesilmiştir ve Aktepe yatağının geometrisini ise batı kenarı kesilmiş bir merceğe benzetmiştir. Bölgede ayrıntılı çalışmalar yapan Arık (2002) ise damar, saçınımlı ve boşluk dolgusu olmak üzere 3 tip cevher oluşumdan söz etmiştir. Yapılan parlak kesitlerde ise yatakta yaygın cevher mineralleri olarak pirit, realgar, orpiment, antimuanit, galenit, barit, sfalerit, Fe ve Mn oksitler, gang mineralleri olarak ise

genellikle kuvarsın yer aldığını saptamıştır. Özellikle Aktepe çevresinde yoğun olarak gözlenen ince taneli galenitler içerisinde yoğun Ag'lü fazlar yer almaktadır. Bu fazların parlak kesit incelenmesi sonucu arjantit, frayberjit ve pirarjirit gibi Ag minerallerini saptamıştır (Vıcıl, 1982). Arık (2002), gümüş zenginleşmesi açısından en önemli cevherleşme tipinin saçınımlı tip olduğunu belirterek, bu cevherin daha çok silisleşmiş riyodasitik ve riyolitik tüfleri tercih ettiğini söylemiştir. Tüflerin gözenekli olması cevherli çözeltilerin tüfler içerisinde daha uzun süre dolaşmasına ve daha fazla cevher çökmesine neden olmuştur. Sığıreğreği yatağı Aktepe yatağının güneybatısında yer almaktadır. Yatak Sığıreğreği Tepe zirvesi ile Egen Dere'nin doğusunda yer almaktadır. Cevherleşme tümüyle şistlerin içinde bulunmaktadır. Damarlardaki yaygın birincil mineraller galenit, sfalerit, antimuanit, kuvars ve kalsittir.



Şekil 1.6. Gümüşköy Ag işletmesi ve havuzların uzaktan görünüşü.



Şekil 1.7. Açık işletme sahasının yakından görünüşü. Kuzeyden Aktepe'ye bakış.



Şekil 1.8. Aktepe açık işletme sahasında silisli ve bol baritli sülfürlü cevherleşmeler.



Şekil 1.9. Gözeçukuru bölgesi işletme sahasının uzaktan görünüşü ve üstte cevherleşmenin yakından görünüşü. Altere olmuş orpiment ve realgar döküntülerinin arazideki görünüşü.

2. MATERYAL VE METHOD

Bu çalışma, Gümüşköy (Kütahya) Ag yatağı çevresindeki sulara arsenik kirliliğinin araştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışmalar arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Arazi çalışmalarında ise çalışma alanında bulunan dere ve kaynak sularından 500 ml.' lik iki ayrı plastik kaplar kullanılarak örnekler alınmıştır (Şekil 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4). Alınan örnekler yerinde pH, sıcaklık ve elektrik kondüktivite ölçümleri yapılmış, daha sonra ise alınan bir plastik kaptaki su içerisine %10'lük nitrik asit eklenerek, çeşitli ağır metallerin kimyasal analizleri yapılmak üzere Kanada Acme laboratuvarına gönderilmiştir.

Diğer su örneği ise yöredeki suların çeşitli fiziko-kimyasal karakteristikleri ile anyon ve katyon analizleri için Elazığ İl Özel İdaresi Analiz laboratuvarına gönderilmiştir.

Büro çalışmalarında ise; hem arazi bulguları hem de laboratuvardan elde edilen veriler birlikte değerlendirilerek, çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı sularının arsenik içeriği ve olası kirlenme alanları belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.1. Şahin köyü ve Şahin köyü güneybatısından gelen derelerin görünümü



Şekil 2.2. Şahin köyü güneybatısında gözlenen GK-17 nolu kaynağın görüntüsü.



Şekil 2.3. Şahin köyü güneybatısında gözlenen GK-20 nolu kaynağın görüntüsü.



Şekil 2.4. Şahin köyü içerisinde gözlenen GK-14 nolu köy çeşmesinin görüntüsü.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanını oluşturan Gümüşköy Ag yatağı çevresinde gözlenen akarsular, çeşmeler, köylere ait şebeke suları, çeşitli su kaynakları olmak üzere Gümüşköy çevresindeki olası kirlilik oluşturabilecek tüm su kaynaklarından örnekler alınmıştır. Bu örneklerle ait noktalar uydu görüntüsü olarak Şekil 3.1’de yer alan harita üzerinde gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında bölgedeki su kuyularından iki dönem (Haziran ve Ekim 2017 tarihlerinde) halinde su örnekleri alınmış ve içerisindeki anyon ve katyon değişimi incelemek amacıyla da analizler yapılmıştır. Bu örneklerden sadece iki tanesi Gümüşköy (GK-02) ve Şahinköy (GK-14) şebeke sularına ait analiz sonuçlarıdır. Analizler 21 farklı noktadan alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Özellikle Ekim ayında alınan örneklerin katyon içeriğinin Haziran döneminde olan örneklerin katyon içeriğine göre % 5-15 arasında daha fazla olduğu gözlenmiştir. Alınan örneklerdeki çeşitli katyon ve anyon analizleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Katyon analizleri Kanada Acme laboratuvarında ICP-MS ile gerçekleştirilirken, pH, EC ve anyon analizleri ise Elazığ İl Özel idaresi Su kimyası laboratuvarındaki iyon analizöründe gerçekleştirilmiştir.

pH = $-\log (H^+)$: Saf su için pH = 7’dir. pH = 7 olması (H^+) = (H^-) olması demektir ki, böyle bir su için nötr su ifadesi kullanılır. pH < 7 ise (H^+) > (H^-) ve su asidik, pH > 7 ise (H^+) < (H^-) ve su bazik demektir. Bu kapsamda, çalışma alanında ölçülen 40 adet kuyu numunesindeki ortalama pH değeri **7.76** olup, en yüksek 8.37, en küçük ise 6.68 pH değerleri tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre bölgedeki suların nötr bir su olmakla birlikte düşük bir bazik karakter taşıdığını da söylemek mümkündür.

Elektriksel İletkenlik (EC25 $\mu S/cm$): Elektriksel iletkenlik, özdirencin tersidir. Buna göre elektriksel iletkenlik, birim uzunlukta ve birim kesitteki bir cismin, belirli bir sıcaklıktaki iletkenliğidir. Özdirencin birimi ohm’ dur. Elektriksel iletkenliğin birimi ise mho (1/ohm) ile verilir. İletkenin uzunluğu cm, kesiti cm^2 ile verirse elektriksel iletkenliğin birimi mho/cm olarak ifade edilir (Aykar, 2009). Çalışma alanında ölçülen EC değerleri ortalama olarak 727 $\mu S/cm$ iken en düşük 214, en yüksek ise 4510 $\mu S/cm$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Örnek noktalarını gösteren uydu görüntüsü

Bünyesinde iyon bulunan su iletken su olarak tanımlanır ve çözeltiler elektrik akımını iyonlar aracılığıyla iletirler. Buna göre suyun elektriksel iletkenliği ile sudaki iyon miktarı arasında doğru bir orantı vardır. Bu ilişki dolayısıyla suyun elektriksel iletkenliği ölçülerek, sudaki iyon miktarı yaklaşık olarak tayin edilebilir. Böylece hiçbir analiz yapmadan suyun toplam tuzluluğu hakkında fikir edinmek mümkündür. İyonların çözelti içindeki hareket yetenekleri aynı değildir. Bazı iyonlar (H^+ gibi) çok hızlı hareket ettikleri gibi, bazıları daha yavaş hareket ederler. Bu hareketlilik (sabit sıcaklıkta) daha çok iyon çapı ile ilgilidir. Ayrıca sıcaklık da hareketliliği artırır. Elektriksel iletkenlik ile iyon konsantrasyonu arasında doğru orantılı olmakla birlikte, her iyon için bu oran aynı değildir. Sıcaklık ile elektriksel iletkenliğin ilişkisi, iyon cinsine ve konsantrasyon aralığına bağlı olarak değişir. Genel olarak düşük konsantrasyonlarda sıcaklık $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ değişince elektriksel iletkenlik % 2 oranında değişir. Elektriksel iletkenlik sıcaklıkla değiştiği için farklı sıcaklıklarda ölçülmüş EC değerleri ile suları karşılaştırmak doğru olmaz. Bütün suların elektriksel iletkenliğini aynı sıcaklıkta ölçmek mümkün olmadığından, ölçülen EC değerlerinin standart bir sıcaklıktaki eşdeğerini vermek ve bu değerler üzerinden suları karşılaştırmak gerekir. Genellikle EC değerleri $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki değerler olarak verilmektedir (Doğan, 1981).

Sularda Sertlik

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

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

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

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

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

Sertlik derecelerini birbirine çevirmek mümkündür. 1 FS⁰ = 0,7 IS⁰ = 0,56 AS⁰ dir.

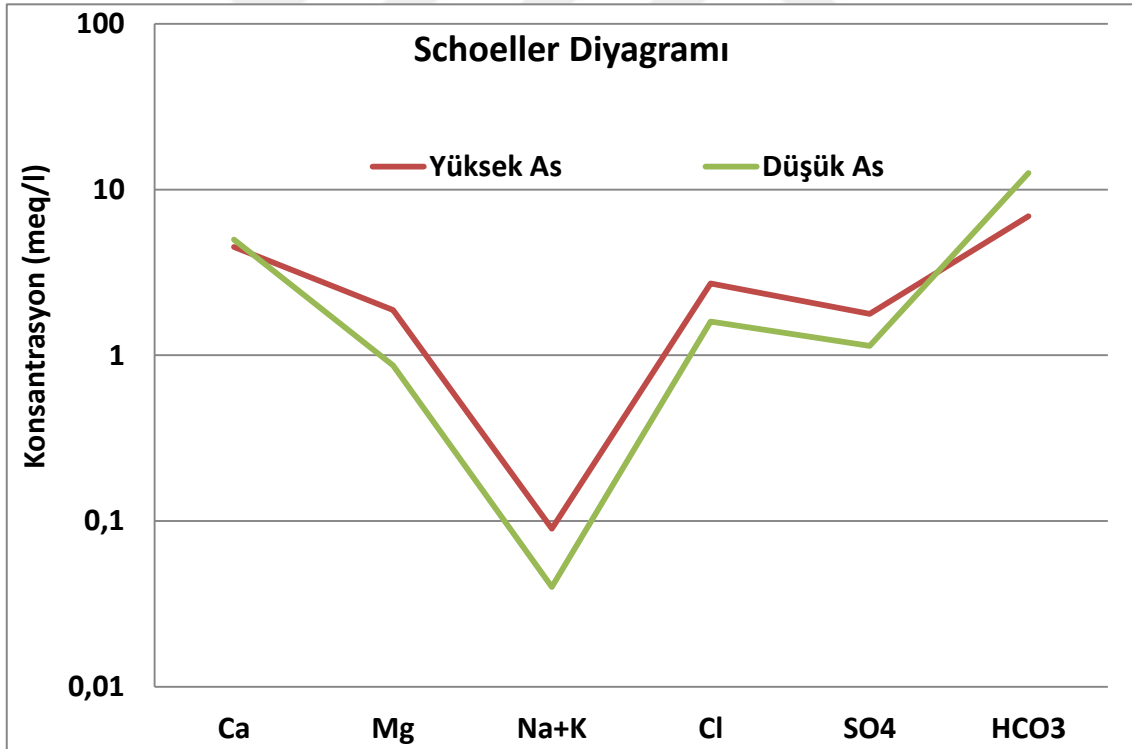
Tablo 3.1. Toplam sertlik derecelerine göre suların sınıflandırılması

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

Çalışma alanındaki suların Ca⁺² içeriğine bağlı olarak sertlik derecesi belirlenmeye çalışılmıştır. Bölgedeki sulardaki ortalama Ca⁺² içeriği 62.3 ppm bulunurken, en yüksek 255, en düşük ise 15.8 ppm bulunmuştur. Tablo 3.2'deki değerler de dikkate alınarak yöredeki sularda birkaç kuyu hariç genellikle **çok yumuşak su** grubuna dahil olduğu saptanmıştır.

Hidrojeolojide, suların kökensel açıdan değerlendirilmesi, toplu halde bir arada görülebilmesi, sınıflandırılması, birbirleriyle ilişkilerinin araştırılması ve karşılaştırılması gibi amaçlar için farklı diyagramlar geliştirilmiştir. Piper üçgen diyagramı, Schoeller yarı logaritmik diyagramı ve Cluster diyagramı gibi diyagramlar, gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından, hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardır. Örnekleme noktalarına ait majör katyon ve anyon değerleri kullanılarak yarı logaritmik (Schoeller) grafiği çizilmiştir. Schoeller yarı logaritmik diyagramda benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer pikler oluşturmuşlardır.

Çalışma alanındaki suların kökeni ortaya koymak ve söz konusu suları sınıflandırmak için Shoeller diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 3.2). Bu diyagram, örnekleme yapılan 21 adet su örneğinin analiz edilmesi sonucunda ortaya çıkan katyon ve anyon değerleri kullanılarak çizilmiştir (Şekil 3.2). Bu diyagrama bakıldığında yöredeki suların katyon açısından Ca^{+2} baskın iken, daha sonra ise Mg ve Na+K şeklinde sıralanmaktadır. Anyon açısından ise Cl ve SO_4 bakımından oldukça fakir sular olmakla birlikte HCO_3^- açısından ise oldukça zengin sular sınıfına girdiği görülmektedir. Dolayısıyla bölgedeki suları Ca^{+2} ve HCO_3^- 'ca zengin sular olarak sınıflandırmak mümkündür. Ayrıca bölgeden alınan su örneklerinde As'ce yüksek suların diğer sulara göre Mg ve Na+K, Cl ve SO_4 bakımından daha yüksek olarak gözlemlendiği görülmüştür. Benzer olarak ise yüksek oranda arsenik içeren suların HCO_3 bakımından ise diğer sulara göre daha az konsantrasyona sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2.2).

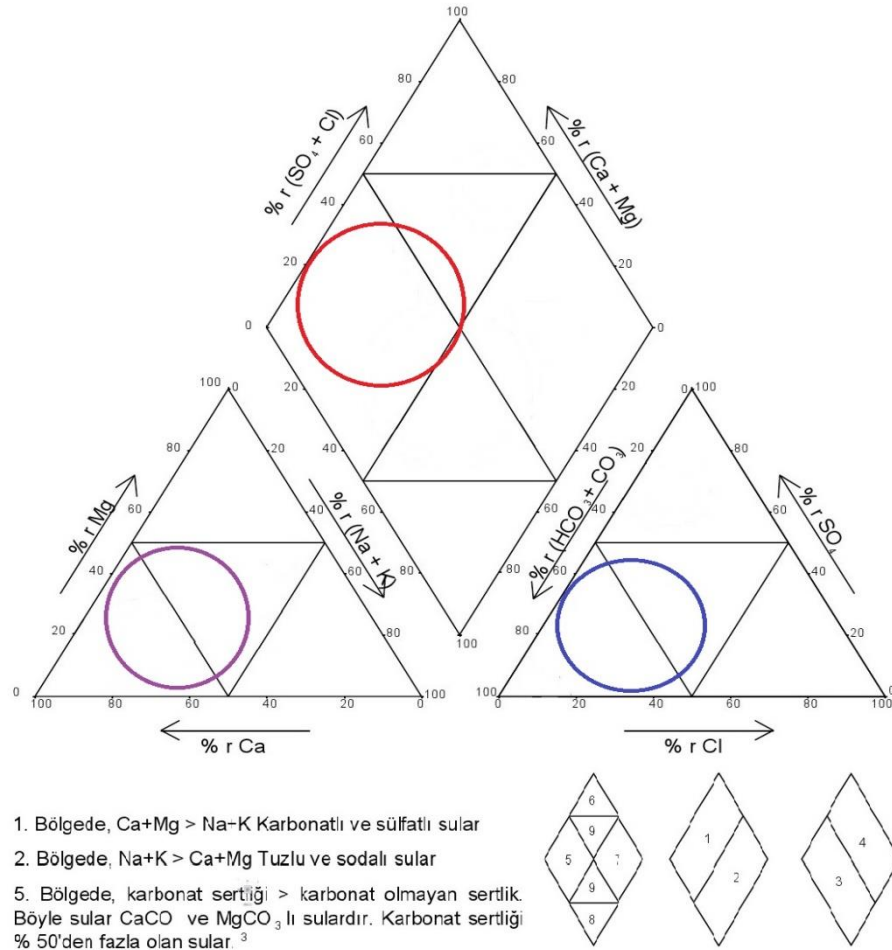


Şekil 3.2. Gümüşköy çevresindeki suların Schoeller diyagramı (ortalama değerler alınarak çizilmiştir).

Örnekleme noktalarından alınan su numunelerinin kimyası analiz sonuçları kullanılarak kökenlerinin/tiplerinin belirlenmesi amacıyla Üçgen (Piper) diyagramı da çizilmiştir (Şekil 3.3).

İyonların tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardan biri Piper diyagramıdır. Piper diyagramı anyon ve katyonların (% meq/L cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin görülmesinde eşkenar dörtgen ise suların sınıflanmasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.

Bu sonuçlara göre bölgedeki suların $\text{Ca}+\text{Mg}$ ve HCO_3 'lı sular olarak sınıflandırılması mümkündür (Şekil 2.3). Bu gruptaki suların karbonat sertliği % 50'den fazladır.



Şekil 3.3. Piper diyagramı (Piper, 1944).

Arsenik (As); Arsenik, yerkabuğunda farklı mineral formları halinde doğal olarak oluşurlar. Sık sık toprak ve mineral ayrışması ve erozyonu sonucunda yeraltı suları içerisinde yoğunlaşırlar. Yeraltı sularındaki arsenik varlığı, lokal olarak insan aktivitesi, iklim değişikliği gibi faktörlerin yanında, lokal jeolojiye bağlı olarak akifer tabakanın hidrojeolojik ve jeokimyasal özelliklerine göre değişiklik gösterebilir. Doğal çevredeki arseniğin en yaygın kaynakları volkanik kayalar, derin deniz sedimanter kayaları, hidrotermal maden yatakları ve fosil yakıtlardır. Arseniğin yerkabuğundaki ortalama bileşimi 2 ppm'dir, ancak arsenopirit (FeAsS), realgar (AsS) ve orpiment (As_2S_3) gibi minerallerde daha fazla yoğunlaşmışlardır (Wang & Mulligan, 2006). Yeraltı sularında genellikle oksidasyon şartlarında As (III) veya As (V) formunda gözlenir. Arsenik su ile bağlanarak arsenit (H_3AsO_3) veya arsenat (H_2AsO_4) şeklinde bulunur (Wang & Wai, 2004). Arsenit iyonları oksijensiz şartlarda, arsenat ise en yaygın olarak toksik ortamlarda bulunur. Arsenit ve arsenat iyonları daha çok farklı bakterilerin etkisi ile sülfürlü maden yataklarının oksidasyonu sonucunda yüzey ve yeraltı suları içerisine girerler (Wang & Mulligan, 2006). Arsenik kirliliği, yer altı suyu kullanan yoğun nüfusun bulunduğu düzlük bölgelerdeki en önemli sağlık problemlerinden birisidir ve bu yüzden böyle alanlarda insan sağlığını etkileyen en önemli kanserejenik kaynak olarak belirtilmiştir (Wang & Wai, 2004; Stone et al., 2007; Thakur et al., 2011).

Çalışma alanındaki suların fizikokimyasal parametreler ve çeşitli metaller arasındaki korelasyon ilişkileri Tablo 3.3' de verilmiştir. pH ile hem anyonlar hem de arsenik arasında genelde negatif güçlü korelasyonlar görülmektedir. Sudaki arsenik ile EC, F, Cl, Si, Sr, Sb, B arasında kuvvetli pozitif korelasyonlar gözlenmektedir. Bu da bölgedeki arsenik kirliliğinin bölgeye diğer metalik elementler ile beraber taşındığını veya bu kirliliğin aynı kaynaktan beslenmiş olabileceğini göstermektedir. Bölgedeki su kaynaklarında gözlenen suların yüksek elektrik iletkenliğine sahip olduğu ve beraberinde F ve Cl taşınımının da gerçekleşmiş olduğu fikrini ortaya koymaktadır (Tablo 3.3).

İçme sularındaki arseniğin hem kısa hem de uzun dönemde sağlık üzerinde etkileri gözlenmektedir. Arsenik kirliliğinin kısa dönem etkileri 30 dakika gibi kısa dönemde etkisini gösterir ve karın ağrısı, ardından kusma, ishal, kas zayıflığı ve deri yanması ile artarak devam eder. Bu etkiler tipik olarak sudaki 1.2 mg/L ve üzeri arsenik

konsantrasyonlarında görülür ancak 0.2 mg/L arsenik konsantrasyonları da özellikle çocuklarda farklı semptomlara neden olabilir. 60 mg/L ' yi aşan arsenik düzeyli su tüketimleri insanlar için ölümcül olabilir (Wang & Mulligan, 2006). Arseniğin düşük konsantrasyonlarına uzun süre maruz kalındığında ise, periferik vasküler hastalık, hipertansiyon, kalın deri, siğil benzeri lezyonlar ve deri kanseri gibi olumsuz sağlık etkileri ortaya çıkabilir (Nichols et al., 1998). WHO (2011), 100 µg/l'den daha fazla arsenik içeren içme sularının insanlarda deri, mesane ve akciğer kanserleri ile farklı deri lezyonlarına (hiperkeratoz, hiperpigmentasyon ve hipopigmentasyon) sebep olabileceği öne sürülmüştür.

İçme sularında yüksek konsantrasyonlar ≥ 300 µg/L kabul edilirken, düşük konsantrasyonlar ise <100 µg/L olarak kabul edilmiştir. Hem WHO (2006), hem de EU (Avrupa Birliği) içme suları kalite standartları açısından maksimum kabul edilebilir sınır olarak 0.010 mg/L ve daha düşüğü kabul edilmiştir (Tablo 2.4). Ancak 0.010 mg/L gibi düşük oranlardaki arsenikli su tüketiminin kanser riskini artıracak ileri sürülmüştür (Wilson et al., 2008). Çalışma alanından alınan örneklerde ortalama 287 ppb, en yüksek 1735 ppb arsenik tespit edilmiştir ve örnekleme yapılan 21 su kaynağının 11'inde arsenik değerlerinin içilebilir sınırların üzerinde olduğu gözlenmiştir (Tablo 3.4).

Dünyadaki farklı ülkelerde özellikle de Güneydoğu Asya ülkelerinde (Bangladeş, Vietnam, Bengal, Hindistan, Nepal, Kamboçya, Mogolistan, Çin, Tayland, Pakistan, Tayvan), Orta ve Güney Amerika (Arjantin, Şili, Meksika) ve Kuzey Amerika (ABD ve Kanada)'da yüzey ve yeraltı sularında yüksek arsenik konsantrasyonları tespit edilmiştir (Berg vd., 2001; Guo & Tran, 2005; Nickson vd., 2005; Agusa vd., 2006; Hossain, 2006; Harvey vd., 2006),). Ülkemizdeki doğal yollarla meydana gelen arsenik kirlenmeleri ise özellikle son yılda çalışılmaya başlanmıştır (Colak vd. 2003, Simsek, 2005; Atabay, 2005; Simsek ve Gunduz, 2007; Aksoy vd. 2009; Gündüz vd., 2010; Uslu, 2017).

Kalsiyum (Ca^{+2}); Yüzey ve yeraltı sularının başlıca katyonu kalsiyumdur. Kalsiyum, kayalarda ve toprakların temel bileşenlerinden birisidir. Tüm canlılarda olduğu gibi insanların kemik yapısının gelişmesinde ve bitkilerin büyüme ve gelişme süreçlerinde önemli rol oynar. Sudaki kalsiyumun başlıca kaynakları, Ca içeren

silikatlar, kireçtaşı, mermer, dolomit, jips ve aragonit gibi sedimanter kayalar ile tüm Ca içeren diğer mineral ve kayalardır. Çalışma alanındaki sularda en yaygın olarak gözlenen katyonlardandır ve ortalama olarak 86.9 ppm Ca içerirken, en yüksek 121, en düşük ise 8 ppm Ca içermektedir. Dolayısıyla bölgedeki sular yüksek oranda Ca içeren yeraltı suları grubuna girmektedir (Tablo 3.2).

Magnezyum (Mg^{+2}); Yüzey ve yeraltı sularının temel bileşenlerinden birisidir ve genellikle Ca ve Na'dan sonra gelir. Yüksek oranda Mg içeren sular hafif acı bir tadı bulunmakla beraber, kısmen suya bir miktar sertlik kazandırır. Jeolojik ortamlarda yer alan yüksek oranda magnezyum içeren kayalar başlıca ofiyolitik kayalar, olivin, pyroxene, amphibol ve koyu renkli mikaların önemli bileşenlerinden birisidir. Ayrıca Dolomitik karbonatlar ve çeşitli oksit mineralleri de doğal çevredeki toprak ve kayaların başlıca Mg kaynakları arasında yer alır. Çalışma alanındaki sularda ortalama 17.2 ppm Mg içerirken, en düşük 2.3, en yüksek ise 42 ppm Mg içermektedir (Tablo 3.2).

Sodyum (Na^{+}); Yüzey ve yeraltı sularının temel bileşenlerinden birisidir ve kalsiyumdan sonra en fazla bulunan katyondur. Bütün sodyum bileşikleri suda kolaylıkla çözündüğünden dolayı bütün yeraltı sularında az veya çok oranda mutlaka bulunur. Sodyum sertlik veren bir katyon değildir. Genellikle tek değerli katyonlar çift değerli katyonlara göre, bitkiler üzerinde daha fazla zehirleyici etki gösterdikleri için sulama açısından sodyum son derece önemlidir (Doğan, 1981). Çalışma alanındaki yeraltı suları ortalama 3.6 ppm Na gözlenirken, en düşük 1.52 ppm, en yüksek ise 7.06 ppm Na içermektedir. Bu anlamda sodyumun yöredeki sularda katyon açısından baskın katyonu olarak yer almadığını göstermektedir (Tablo 3.2).

Potasyum (K^{+}); Potasyum doğal suların hepsinde az veya çok oranda bulunur ve alkali metal grubundandır. Ancak sodyuma göre daha az miktarlarda rastlanır. Sulardaki potasyumun başlıca kaynağı potaslı feldispatlar, kumtaşları ve mikalardır. Volkanik kayalarda sodyuma nazaran daha az bulunup sedimanter kayalarda daha fazladır. Denizlerde ve tuzlu göllerde potasyum oranı bir hayli yüksektir (Doğan, 1981). Çalışma alanındaki sularda Ca ve Mg' a göre çok daha az oranlarda gözlenmektedir. Bu sular, ortalama olarak 1.19 ppm K içerirken, en yüksek 8.16 ppm, en düşük ise 0.18

ppm K bulundurmaktadır (Tablo 3.2). Bu sonuçlara bakıldığında bölgedeki yeraltı sularının potasyum açısından oldukça fakir olduğu gözlenmektedir.

Karbonat ve Bikarbonat (HCO_3^-) Suyu alkalilik veren bu iyonlardan özellikle bikarbonat doğal sularda bulunur. Karbonat ise ancak yüksek pH değerlerinde bikarbonat ile görülür. Sudaki bikarbonatın başlıca kaynağı havadaki karbondioksittir. Sudaki karbonat iyonlarının birbirine oranı suyun pH ve CO_2 değerleri ile ilgili olarak değişir. pH'ın 8,2'den küçük olması halinde suda sadece bikarbonat iyonu vardır. İyi bir içme suyunda bikarbonat iyonu hakim anyon olmalıdır (Doğan, 1981). Çalışma alanındaki sularda bikarbonat içeriği oldukça yüksektir. Analizlerde, bikarbonat ortalama olarak 653 ppm gözlenirken, en düşük 285, en yüksek ise 913 ppm tespit edilmiştir (Tablo 3.2). Bu analiz sonuçları da yöredeki suların karbonat içeriği bakımından oldukça zengin olduğunu göstermektedir.

Sülfat (SO_4^{2-}); İki değerli bir anyon olan sülfat bütün doğal sularda az veya çok miktarda bulunur. Yeraltında bulunan sülfatın başlıca kaynağı jips ve anhidritdir. Ayrıca piritin oksidasyonu ile de sülfat teşekkül edebilir. Bir suda bulunan sülfat miktarı diğer iyonlara göre çok az ise, böyle bir suda sülfat indirgenmesi olduğu sonucu çıkarılabilir. Sülfür kokusu varsa ve CO_2 fazla ise sülfat indirgenmesi kuvvetle muhtemeldir (Doğan, 1981). Bölgedeki suların sülfat içeriği bikarbonattan sonraki en fazla gözlenen anyondur ve ortalama 78.9 ppm, en yüksek ise 115 ppm sülfat içeriği tespit edilmiştir. Bu durum da akifer formasyonun bulunduğu alanlarda sülfid oluşumu gerektirecek bir aktivitenin olabileceği vurgusunu güçlendirmektedir. Bu da muhtemeldir ki sülfürlü mineralli alanlardan yıkanan sülfatın bölgedeki su kaynaklarına taşınmış olmasını güçlendirmektedir.

Klorür (Cl^-); Halojen grubu elementlerinden olan klorür bütün doğal sularda bulunur. Denizde çözünmüş tuzlar, buharlaşma sırasında askıda olarak havaya taşınır ve yağışla tekrar yeryüzüne döner. Sulardaki klorürün en önemli kaynağı, sedimanter kütleler içindeki tuz yataklarıdır. Ayrıca volkanik kayalardaki Na içeren plajiyoklaz ve feldispatoid mineralleri sudaki klorürün önemli kaynaklarıdır. Genellikle klorürce zengin olan sular sodyumca zengin sulardır. Çünkü suya klorür veren başlıca klor bileşiği sodyum klorürdür (Doğan, 1981). Çalışma alanındaki suların klorür içeriği

ortalama olarak 60.8 ppm iken, en yüksek 96 ppm en düşük ise 18 ppm olarak gözlenmiştir (Tablo 3.1). Bölgeden alınan örneklerin klorür değerleri WHO (2006) tarafından ortaya konmuş olan sınır değerinden (250ppm) çok altındadır (Tablo 3.2). Dolayısıyla bölgedeki suların klor içeriği açısından herhangi bir olumsuz durum yaratmamaktadır.

Florür (F⁻); İnsan için en önemli florür kaynağı sudur. Suda florür değişik miktarlarda bulunur. Yüzey suları litrede 1 mg.dan daha az florür içerirken, yeraltı sularının florür oranı ise içinden geçtikleri arazinin jeolojik yapısıyla ve temas ettikleri florürlü maddelerin cins ve miktarlarına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin volkanik orijinli bölgelerde, sularda flor konsantrasyonları oldukça yüksektir (Hapçioğlu vd., 1992). Benzer şekilde feldispat ve feldispatoyitçe zengin kayaların bulunduğu alanlardaki yüzey ve yeraltı sularının flor içeriği de oldukça yüksektir. WHO (2006)'ya göre florun sınır değeri 1.5 ppm'dir. Bu sonuçlar ışığında yöredeki sularda ortalama olarak 0.31 ppm, en yüksek ise 0.52 en düşük ise 0.14 ppm flor değerlerine rastlanmıştır. Bu anlamda yöredeki suların flor içeriği WHO (2006) tarafından ortaya konmuş değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Bölgedeki suların kimyasal analiz sonuçları.

	pH	Ec	F	Cl	NO3	HCO3	SO4	Al	Si	Cu	Sr	U	As	Ca	Mg	Na	K	Mn	Ag	B	Ba	Pb	Zn	S	Sb
Birim		µS/cm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb
DL	-	-	-	-	-	-	-	1	0,04	0,1	0,01	0,02	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	5	0,05	0,1	0,5	1	0.05
GK-01	6,68	365	0,28	33	23,4	652	95	3	6,72	0.5	368	0.02	0.5	121	19.69	3.56	0.73	3.4	<0.05	10	10	1.32	3.6	3	0.09
GK-02	7,24	365	0,34	56	32,8	768	56	4	4,46	61.2	235	2.73	<0.5	100	10.44	2.08	0.41	0.6	<0.05	8	1	0.46	67	2	0.11
GK-03	7,13	303	0,23	51	46,8	655	88	3	14,4	2.6	304	2.04	10.3	116	17.20	7.06	8.16	0.6	<0.05	34	267	15.59	255	10	0.92
GK-04	7,55	247	0,21	41	43,4	356	65	7	9,57	1.2	268	3.68	34	106	12.63	5.73	0.56	0.3	0.12	27	585	4.15	4.5	9	1.17
GK-05	6,11	936	0,421	65	12,4	729	115	4	16,5	0.4	104	2.35	702	58	9.13	2.14	0.30	0.3	<0.05	36	404	4.14	28.2	3	33.8
GK-06	6,56	455	0,33	82	16,3	913	109	4	9,94	0.6	104	0.97	100	76	5.96	1.87	0.18	0.2	<0.05	16	638	1.16	8.9	5	7.05
GK-07	6,35	635	0,39	77	15,4	896	114	12	7,04	0.6	66	0.76	292	8	2.34	1.52	1.28	2.2	0.64	12	977	3.22	363	<1	12.0
GK-08	7,86	465	0,18	18	18,4	845	65	5	20,7	1.0	327	0.03	37	122	19.55	6.53	1.39	0.3	<0.05	186	1031	15.82	7.6	4	5.86
GK-09	7,12	715	0,33	78	26,8	568	84	101	5,84	1.8	201	15.4	198	86	19.17	3.86	2.80	180	<0.05	26	41	6.51	26	11	1.97
GK-10	6,45	680	0,42	88	12,4	675	92	35	12,4	0.8	884	1.86	545	80	18.05	3.22	1.37	14.1	<0.05	116	156	6.05	4.9	7	16.7
GK-11	7,25	366	0,18	32	36,4	338	33	6	7,81	1.0	270	2.20	5.2	104	30.88	4.19	2.06	8.5	<0.05	29	9	2.88	3.3	10	0.92
GK-12	7,32	258	0,14	28	58,4	564	28	3	6,09	0.6	233	2.14	0.9	85	27.10	3.84	1.58	0.3	<0.05	23	8	3.44	5.8	10	3.43
GK-13	6,52	963	0,28	96	24,2	285	94	46	5,70	1.4	196	1.47	281	68	14.26	4.26	3.43	60.4	<0.05	26	37	7.78	6.0	8	1.78
GK-14	7,45	368	0,15	36	36,4	345	55	4	4,74	5.1	209	1.72	0.9	94	7.90	2.55	0.91	0.4	<0.05	10	3	0.63	7.0	3	<0.05
GK-15	7,76	287	0,18	38	28	674	49	5	7,21	0.7	313	2.38	2.8	119	41.87	5.27	5.22	6.5	<0.05	44	10	6.38	10	20	0.64
GK-16	7,39	356	0,22	52	28,1	552	36	41	4,96	1.1	177	3.24	1.8	66	14.13	3.25	1.30	37	<0.05	18	17	2.59	3.3	7	1.42
GK-17	6,16	1324	0,52	95	32,4	421	87	2	19,48	0.4	1318	1.54	1735	89	22.59	3.35	2.46	0.5	<0.05	231	181	13.94	5.9	10	47.1
GK-18	6,72	865	0,37	74	26,5	865	83	6	15,4	0.5	1208	3.13	373	89	19.13	3.11	1.61	1.2	<0.05	283	205	7.51	6.6	5	18
GK-19	6,21	936	0,41	68	18,4	960	96	7	16,7	0.4	1515	2.89	827	82	22.99	2.53	1.18	1.0	<0.05	245	181	7.04	2.7	4	19.9
GK-20	6,64	652	0,44	75	19,6	765	105	10	12,6	0.7	714	2.96	377	73	13.29	3.18	1.30	1.4	<0.05	69	107	4.96	3.6	4	11.7
GK-21	6,46	854	0,47	93	22,6	882	108	8	13,4	0.6	732	1.93	499	82	13.51	3.41	1.54	1.1	<0.05	67	132	6.38	4.7	4	13.1
Ortalama	7.12	590	0.31	60.8	28.0	653	78.9	15	<0.05	4.0	464	2.6	301	86.9	17.2	3.6	1.9	15.3	0.4	72.2	238	5.8	39.4	7.0	9.9

Tablo 3.3. Bölgedeki suların korelasyon ilişkileri

	pH	EC	F	Cl	NO3	HCO3	SO4	Al	Si	Cu	Sr	U	As	Ca	Mg	Na	K	Mn	Ag	B	Ba	Pb	Zn	S	Sb
pH	1.00																								
EC	-0.79	1.00																							
F	-0.82	0.80	1.00																						
Cl	-0.79	0.77	0.83	1.00																					
NO3	0.52	-0.47	-0.58	-0.48	1.00																				
HCO3	-0.25	0.12	0.44	0.19	-0.53	1.00																			
SO4	-0.79	0.59	0.76	0.69	-0.68	0.49	1.00																		
Al	-0.02	0.16	0.05	0.34	-0.15	-0.23	0.03	1.00																	
Si	-0.31	0.54	0.47	0.19	-0.30	0.40	0.42	-0.33	1.00																
Cu	0.18	-0.20	0.02	-0.07	0.13	0.09	-0.21	-0.10	-0.30	1.00															
Sr	-0.43	0.62	0.58	0.39	-0.17	0.26	0.23	-0.16	0.61	-0.15	1.00														
U	0.13	0.08	0.05	0.18	0.08	-0.13	-0.05	0.81	-0.22	0.02	-0.06	1.00													
As	-0.69	0.89	0.78	0.62	-0.30	0.07	0.45	-0.06	0.62	-0.18	0.71	-0.04	1.00												
Ca	0.59	-0.39	-0.46	-0.56	0.41	-0.22	-0.44	-0.21	0.12	0.13	0.08	-0.01	-0.27	1.00											
Mg	0.35	-0.12	-0.31	-0.36	0.32	-0.19	-0.52	-0.03	0.06	-0.19	0.26	0.08	0.00	0.57	1.00										
Na	0.57	-0.34	-0.51	-0.45	0.44	-0.30	-0.33	0.00	0.21	-0.23	-0.11	0.02	-0.29	0.67	0.47	1.00									
K	0.18	-0.09	-0.22	-0.02	0.35	-0.18	-0.09	0.11	0.06	-0.16	-0.03	0.11	-0.08	0.31	0.44	0.65	1.00								
Mn	0.04	0.14	-0.01	0.25	-0.05	-0.25	0.00	0.96	-0.33	-0.07	-0.20	0.89	-0.08	-0.09	0.04	0.05	0.16	1.00							
Ag	-0.19	0.00	0.14	0.13	-0.20	0.23	0.28	-0.04	-0.16	-0.06	-0.23	-0.13	-0.01	-0.68	-0.40	-0.29	-0.10	-0.08	1.00						
B	-0.26	0.59	0.41	0.23	-0.22	0.33	0.16	-0.17	0.77	-0.19	0.87	-0.09	0.62	0.12	0.25	0.04	-0.03	-0.18	-0.17	1.00					
Ba	-0.01	0.00	0.06	-0.04	-0.34	0.41	0.35	-0.22	0.42	-0.19	-0.18	-0.26	0.00	-0.27	-0.42	0.09	-0.18	-0.23	0.57	0.14	1.00				
Pb	0.00	0.36	0.12	0.10	0.04	0.05	0.14	0.00	0.72	-0.28	0.37	-0.02	0.38	0.29	0.27	0.65	0.60	0.03	-0.14	0.56	0.28	1.00			
Zn	-0.11	-0.11	0.06	0.08	0.01	0.25	0.28	-0.08	-0.06	0.08	-0.27	-0.10	-0.10	-0.43	-0.36	-0.01	0.37	-0.08	0.79	-0.23	0.45	0.14	1.00		
S	0.39	-0.18	-0.36	-0.15	0.42	-0.41	-0.45	0.21	-0.13	-0.25	-0.04	0.29	-0.06	0.41	0.78	0.55	0.64	0.27	-0.28	-0.06	-0.33	0.27	-0.18	1.00	
Sb	-0.67	0.82	0.76	0.53	-0.35	0.20	0.47	-0.19	0.70	-0.20	0.61	-0.12	0.94	-0.32	-0.07	-0.34	-0.18	-0.21	0.03	0.61	0.15	0.33	-0.06	-0.16	1.00

Tablo 3.4. TSE, EU ve WHO tarafından belirlenen içme suyu standart değerleri (ppm)
(<http://www.lenntech.com/who-eu-water-standards.htm>)

STANDARTLAR	TSE 266	AB	WHO
Kimyasal mg/L			
pH	6.5-9.5	6.5-9.5	6.5-8.5
İletkenlik 20' (uS/cm)	2500	2500	2500
Nitrat (NO ₃)	50	50	50
Nitrit (NO ₂)	0.50	0.50	0.50
Bor (B)	1	2	2
Nikel (Ni)	0.02	0.02	0.02
Arsenik (As)	0.01	0.01	0.01
Kadmiyum (Cd)	0.005	0.005	0.003
Krom Toplam (Cr)	0.05	0.05	0.05
Florür (F)	1.50	1.50	1.50
Kurşun (Pb)	0.01	0.01	0.01
Siyanür (CN)	0.05	0.05	0.07
Bromat (Br)	0.010	0.010	0.025
Benzen (C ₆ H ₆)	0.001	0.001	0.010
Selenyum (Se)	0.010	0.010	0.010
Antimon (Sb)	0.005	0.005	0.005
Bakır (Cu)	2,0	2,0	2,0
Çinko (Zn)	5.0	5.0	5.0
Demir (Fe)	0.2	0.2	0.3
Mangan (Mn)	0.05	0.05	0.10
Alüminyum (Al)	0.20	0.20	0.20
Amonyum (NH ₄)	0.50	0.50	1.50
Sodyum (Na)	200	200	200
Klorür (Cl)	250	250	250
Sülfat (SO ₄)	250	250	250
Sertlik(CaCO ₃)			500
+Fiziksel ve Organoleptik			
Renk(Co-Pt birimi)	20	20	15
Bulanıklık(NTU birimi)	5,0	4,0	5,0
Koku	Duyusal	Duyusal	Duyusal
Tat	Duyusal	Duyusal	Duyusal

4. SONUÇLAR

Bölgede, Paleozoyik döneminden günümüze kadar oluşmuş çeşitli özelliklere sahip, metamorfik, volkanik ve sedimanter kayalar bölgede yüzeyleme vermektedir. Bölgede en yaygın olarak gözlenen birimler Paleozoyik yaşlı Şahin Formasyonu ve Üst Miyosen yaşlı Tavşanlı Volkanitleri'dir. Bölgedeki su kaynaklarının önemli kesimi bu birimler içerisinde gelmektedir.

Bölgedeki su örnekleme Haziran ve Ekim 2017 dönemlerinde yapılmıştır. Özellikle Ekim ayında alınan örneklerin katyon içeriğinin Haziran döneminde alınan örneklerin katyon içeriğine göre % 5-10 arasında daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Yöredeki suların anyon ve katyon değerlerine göre sınıflama yapılmış ve bu suların Ca^{+2} ve HCO_3^- 'ca zengin sular sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Yapılan katyon analizlerinde arseniğin WHO'nun izin verilen değerlerinin (10 ppb) yüzlerce katı yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Bölgedeki arsenik değerleri ortalama 301 ppb, en yüksek ise 1735 ppb'dir ve bölgedeki 21 su kaynağından 11'inde arsenik değerlerinin içilebilir sınırların üzerinde değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu da hem halk (deri, mesane ve akciğer kanser ile farklı deri lezyonları), hem de çevre sağlığı açısından oldukça önemlidir. Dolayısıyla yüksek oranda arsenik içeren kaynakların ivedilikle kapatılması, bu suların hiçbir şekilde içme ve sulama amaçlı olarak kullanılmaması gerekmektedir. Yöredeki arsenik kirliliğinin, Üst Miyosen yaşlı Tavşanlı Volkanitleri içerisinde gözlenen ve içerisinde sıkça yöredeki Ag-Pb-Zn-As zenginleşme kalıntıları içeren sülfürlü çevherleşmelerle ilişkili olabileceği göstermektedir. Özellikle Gümüşköy Ag yatağı çevresindeki su kaynaklarının analiz sonuçları bu düşüncüyü destekler durumdadır. Benzer şekilde As içeren suların içerisinde Cl ve SO_4^{+2} ün de yüksek oranda gözlenmiş olması ve bunlarla As' nin pozitif korelasyonları, yöredeki arseniğin bölgeye klor ve sülfat ile beraber taşınmış olabileceğini desteklemektedir.

5. YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Agusa, T., Kunito, T. J., Fujihara, R., Kubota, T.B., Minh, P.T.K., Trang, H., Iwata, A., Subramanian, P.H., S. Tanabe., 2006, Contamination by arsenic and other trace elements in tube-well water and its risk assessment to humans in Hanoi, Vietnam, *Environ. Pollut.* 139; 95–106.
- Akdeniz, N. ve Konak, N., 1979, Simav - Emet - Tavsanlı - Dursunbey – Demirci yörelerinin jeolojisi; Maden Tetkik ve Arama Enst. Derl. Rap., 6547, 168 s.
- Aksoy, N., Simsek, C., Gunduz, O. 2009. Groundwater contamination mechanisms in a geothermal field: A case study of Balçova, Turkey. *Journal of Contaminant Hydrology*, 103(1–2), 13–28.
- Akyol, Z., 1975, Tavsanlı – Dudaş civarının barit zuhurları hakkında düşünceler, Maden Tetkik ve Arama Enst. Derg., 85, 161 – 172.
- Alpergun, G. T., 1996, Etibank 100. Yıl Gümüş Madeni işletmeleri’nde açık işletme üretim kontrolü ve cevher hazırlama tesislerine uygun stoklanması; Dumlupınar Üniv., Fen Bil. Enst., Yük. Lis. Tezi, 63 s.
- Arik, F., 2002. Gümüşköy (Kütahya, Turkey) gümüş yatağının jeokimyasal modellemesi, Selçuk Üniv. Fen. Bilimleri Enst. Doktora Tezi, p 318.
- Arik, F. ve Nalbantçılar, M. T., 2004, Köprüören (Kütahya) havzasındaki metalik maden yataklarının sulara etkisi, TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası, 57. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı, 08-12 Mart 2004, 261-262.
- Arik, F. ve Nalbantçılar, M. T., 2005a, Kütahya Batısındaki Maden Yataklarının Yüzey ve Yeraltı Sularına Olumsuz Etkisi, TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası, 58. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı, 11-17 2005, 259-260.
- Arik, F. ve Nalbantçılar, M. T., 2005b, Maden İşletmeciliğinin Çevre ve Halk Sağlığına Etkisi, Gümüşköy-Kütahya,, 1. Tıbbi Jeoloji Sempozyumu, 1-3 Aralık 2005, MTA Gen. Müd. Kültür Sitesi, Ankara, Bildiri Özleri, 63-64.
- Arik, F. ve Nalbantçılar, M. T., 2006a-b, Kütahya Batısındaki Maden Yataklarının Yüzey ve Yeraltı Sularına Olumsuz Etkisi TMMOB, Jeoloji Mühendisleri Odası, 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı, 08- 12 Mart 2006, 261-262.
- Arik, F., Yıldız, T., 2010. Heavy Metal Determination and Pollution of the Soil and Plants of Southeast Tavs,anlı (Kütahya, Turkey). *Clean – Soil, Air, Water* 38 (11), 1017–1030.
- Atabay, E. 2005. Medical Geology. TMMOB Chamber of Geological Engineers, Publication No: 88. (in Turkish)

- Bas, H., 1983, Domaniç-Tavsanlı-Kütahya – Gediz Yöresinin Tersiyer jeolojisi ve volkanitlerin petrolojisi; Maden Tetkik ve Arama Enst. Derl. Rap., 7293, 72 s.
- Berg, M., Tran, H.C., Nguyen, T.C., Pham H.V., Schertenleib, R., Giger, W., 2001, Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: a human health threat, Environ. Sci. Technol. 35/2621– 2626.
- Çepel, N., 1997. “Toprak Kirliliği, Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar”. TEMA Vakfı Yayınları, Yayın No.14, İstanbul.
- Çolak, M., Gemici, Ü., Tarcan, G., 2003, The effects of colemanite deposits on the arsenic concentrations of soil and groundwater in Igdeköy-Emet, Kütahya, Turkey. 149, 127-143.
- Doğan, L. 1981. Hidrojeolojide Su Kimyası, DSİ Jeoteknik ve Yeraltısuları Daire Başkanlığı, ss. 178 Ankara.
- DPT, 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu: Metal madenler alt komisyonu değerli metaller Çalışma grubu raporu. Ankara 34 s.
- Ercan, T. ve Türkecan, A., 1984, Batı Anadolu - Ege Adaları - Yunanistan ve Bulgaristan'daki plütonların gözden geçirilmesi; TMMOB. Jeol. Müh. Odası, İhsan Ketin Semp., Türkiye Jeol. Kurl. Bült., 189 - 208.
- Ercan, T., Ergül, E., Akçören, F., Çetin, A., Granit, S. ve Asutay, J., 1990. Balıkesir-Bandırma arasının jeolojisi, Tersiyer volkanizmasının petrolojisi ve bölgesel yayılımı; Maden Tetkik ve Arama Enst. Derg., 110, 113 - 130.
- Erdogan, E., 1971, Yoncalı (Kütahya) Kaplıcası Etüdü, MTA. Rap. No. 2244, 29 s.
- Erler, A., Unan, C., Lünel, T., Geven, A. ve Akgün, H., 1983, Kütahya-Gümüşköy maden yatağı gümüş tenörü sonuçlarının değerlendirilmesi; ODTÜ Jeol. Jeof. Ars. Merk., Pr., 37 s.
- Etibank, 1995, Aktepe Maden sahasının jeolojisi ve üretim yöntemi; Etibank Emet Kolemanit İşl. Mues. 100 Yıl Gümüş Madeni İşl. Müd., 14 s.
- Gün, H., Akdeniz, N., Günay, E., 1979, Gediz ve Emet güneyi Neojen havzalarının jeolojisi ve yaş sorunları. Jeoloji Mühendisliği 2, 17-28.
- Gunduz, O., C. Simsek, and A. Hasozbek., 2010, “Arsenic Pollution in the Groundwater of Simav Plain, Turkey: Its Impact on Water Quality and Human Health.” Water, Air & Soil Poll. 205, 43-62.
- Guo, H., Wang, Y., 2005, Geochemical characteristics of shallow groundwater in Datong basin, northwestern China, J. Geochem. Explor. 87, 109–120.

- Hapçıoğlu, B., Dişçi, R., Demir, L., Başak, E., Güray, Ö., Özer, N., 1992, Türkiye İçme Sularında Florürün Bölgesel Dağılımı (I), İ. Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, Cilt: 26, Sayı: 4.
- Harvey, C.F., Ashfaq, K.N., Yu, W., Badruzzaman, A.B.M., Ali, M.A., Oates, P.M., Michael, H.A., Neumann, R.B., Beckie, R., Islam, S., Ahmed, M.F., 2006, Groundwater dynamics and arsenic contamination in Bangladesh, Chem. Geol. 112–136.
- Hossain, M.F., 2006, Arsenic contamination in Bangladesh—an overview, Agr. Ecosyst. Environ. 1–16.
- Ildız, T., 1967, Kütahya – Gümüşköy 568 and 137 ruhsat No’lu kursun sahalarının ön raporu. Maden Tetkik ve Arama Enst. Gen. Müd.. Derl., 435 (270), 5 s.
- Kafkas, M. A., 1994, Aktepe Gümüş yatağının jeolojisi ve mineralojisi, Etibank 100. Yıl Gümüş Mad. İşl. Mues. Müd., Kütahya, Özet Rap. 12 s.
- Karabas, A., 1997, Gümüşköy (Kütahya) gümüş yatağının jeolojisi ve kökeni, Selçuk. Üniv. Müh. Mim. - Fak. Jeoloji Böl. 20. Yıl Jeolo. Semp. Bildiriler 299 - 304.
- Kartalkanat, A., 2008. Anadolu’da madenciliklerinin tarihçesi; Kütahya-Gümüşköy’de 3500 Yıldır süren madencilik çalışmaları. MTA Dergisi 137, 91-97.
- Nickson, R.T., McArthur, J.M., Shrestha, B., Kyaw-Myint, T.O. D. 2005, Arsenic drinking water quality issues, Muzaffargarh District, Pakistan, Appl. Geochem. 20/55–68.
- Nichols T, Morris J, Mason M, Spate V, Baskett C, Cheng T, Tharp C, Scott J, Horsman T, Colbert J. 1998. The study of human nails as an intake monitor for arsenic using neutron activation analysis. J. Radioanal. Nucl. 236:51–57.
- Özker, E., 1970, Aktepe 1/25000 ölçekli jeolojik etüdü, Etibank, Rap. No. 300. 12 s.
- Oygür, V. ve Erler, A., 1999. Simav Grabeni boyunca görülen epitermal ve baz metal cevherleşme-lerinin karşılaştırılması, TMMOB Jeoloji Müh. Odası; 52.Tür. Jeol. Kur. Semp., Bildiriler, Ankara, 129 - 136.
- Simsek, C. 2005. Boron and arsenic contamination in Balçova Geothermal Field. Geothermal Energy. TMMOB Chamber of Mechanical Engineers Publication, 393-2, 361-368
- Simsek, C., Gunduz, O. 2007. IWQ index: A GIS-integrated technique to assess irrigation water quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 128, 277–300.
- Stone, D., Sherman, J., Hofeld, E., 2007. Arsenic in Oregon community water systems: demography matters. Sci. Total Environ. 382 (1), 52–58

- Sunder, M., 1979, Kırka (Eskişehir) ve çevresinin jeolojisi, petrolojisi ve Sarıkaya borat yataklarının jeokimyasal incelenmesi: Doktora tezi, İstanbul Üniv. Fen Fakültesi, İstanbul
- Thakur, J.K., Thakur, R.K., Ramanathan, A.L., Kumar, M., Singh, S.K., 2011, Arsenic contamination of groundwater in Nepal – an overview. *Water* 3, 1-20.
- Ünsal, A. ve Koçak, N., 1982, Kütahya – Gümüşköy Ag-Pb-Zn-Sb-BaSO₄ kompleks maden yatağının rezerv ve tenörü konusunda yeni değerlendirmeler; Etibank Gen. Müd. Mad. Aram. Dai. Başkanlığı. 213 s.
- Uslu, G. 2017. Yurtbaşı (Elazığ) çevresindeki yeraltı sularında arsenik kirliliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 36 s. Elazığ
- Vıcıl, M., 1982, Gümüşköy (Kütahya) Aktepe Pb – Zn – Sb – Ag cevherleşmesi; Ege Üniv. Yerb. Fak. Dok. Tezi, 258 s.
- Wang, J. S., Wai, C. M., 2004, Arsenic in drinking water-A global environmental problem. *J. Chem. Educ.* 81 (2), 207-13.
- Wang, S. Mulligan, C.N., 2006, Occurrence of arsenic contamination in Canada: sources, behavior and distribution, *Sci. Total Environ.* 366,701–721.
- Wedepohl, K.H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59/7, 1217-123
- Wilson, J., Schreier, H., and Brown., S. 2008, Arsenic in groundwater in the Surrey-Langley area. Institute for Resources & Environment, University of British Columbia. Available
- World Health Organization (WHO), 2006, Guidelines for Drinking-water Quality. 53 pp. Geneva, Switzerland.
- World Health Organization (WHO), 2011, Safety evaluation of certain contaminants in food. Rome
- Yaldız, T. 2007. Aliköy, Vakıf, Köreken (Tavşanlı-Kütahya) köyleri arasında bulunan mineral zenginleşmeleri ve halk sağlığına etkileri. Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi. 124 s. Konya.
- Yiğitgüden, H.Y., Friedrich, G. 1981. Gümüşköy Madeninin Tarihçesi, Etibank Bülteni, No. 31.
- Yiğitgüden, H. Y., 1984, Batı Anadolu – Türkiye Kütahya civarındaki gümüş maden yatağı; Rainland Westfalen Tek. Yük. Ok. Maden. ve Met. Fak. (Aachen) Dok. Tezi, 192 s.

ÖZGEÇMİŞ

29.01.1993 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Mehmet Akif Ersoy Lisesi'nde (Elazığ) tamamladı. 2010-2014 yılları arasında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde eğitim gördüm ve 2015 yılında Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Maden Yatakları-Jeokimya Anabilim Dalında Yüksek lisansa başladı. 2014'den beri İstanbul 3. Havaalanı Projesinde Kalite Kontrol Mühendisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.