

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

**GÜMÜŞKÖY (KÜTAHYA) Ag YATAĞI ÇEVRESİNDEKİ
TOPRAK VE BİTKİLERDE As, Ag VE Pb DÜZEYLERİ
VE BUNLARIN BİYOLOJİK ÇEVRE ÜZERİNE OLASI
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

Jeo. Müh. Derya YILDIRIM

**Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ
OCAK-2012**

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜMÜŞKÖY (KÜTAHYA) Ag YATAĞI ÇEVRESİNDEKİ TOPRAK VE BİTKİLERDE As,
Ag VE Pb DÜZEYLERİ VE BUNLARIN OLASI BİYOLOJİK ÇEVRE ÜZERİNE OLASI
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeo. Müh. Derya YILDIRIM

(092116106)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Ocak 2012

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

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ALTUNBEY (F.Ü)

Doç. Dr. Mehmet ERDEM (F.Ü)

OCAK-2012

ÖNSÖZ

‘‘Gümüşköy (Kütahya) Ag yatağı çevresindeki toprak ve bitkilerde As, Ag ve Pb düzeyleri ve bunların biyolojik çevre üzerine olası etkilerinin belirlenmesi’’ başlıklı yüksek lisans çalışması kapsamında Gümüşköy Ag, As ve Pb yatağı ve çevresindeki toprak ve bu topraklarda doğal olarak yetişen bitkilerdeki As, Ag ve Pb kirliliği incelenmiştir. Bu çalışma; arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları, analiz çalışmaları, verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Analiz çalışmaları, Acme (Kanada) Analitik Laboratuvarı’nda yapılmıştır. Bu çalışmalar Nisan 2010 tarihinde başlamış ve Ocak 2011 tarihinde sona ermiştir.

Tez çalışmalarım boyunca bilgisindeki cömertliği ile desteğini esirgemeyen sayın hocam **Prof. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ’a** ve bir sonraki adım için beni cesaretlendiren ve destekleyen canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, TUBİTAK tarafından **110Y003** nolu proje ile desteklenmiştir. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasında F.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nün alt yapı olanaklarından da yararlanılmıştır. Desteklerinden dolayı, başta ÇAYDAG olmak üzere, tüm TUBİTAK çalışanları ve F.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığı’na teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım sırasında yardımlarını gördüğüm Jeoloji Yüksek Mühendisi Adnan KARABAŞ’a da teşekkür ederim. Ayrıca Gümüşköy (Kütahya) çevresinde yaptığımız çalışmalar sırasında bizlere her türlü desteği sağlayan başta İbrahim ve Hüseyin Gümüş olmak üzere tüm yöre halkına teşekkür ederiz.

Derya YILDIRIM

ELAZIĞ-2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Coğrafik Durum	6
1.2. Önceki Çalışmalar	7
1.3. Bölgenin Jeolojisi	12
1.4. Cevherleşmeler.....	20
1.5. Biyojeokimya	27
1.5.1. Metallerin bitki tarafından alınması	28
1.5.1.1. Bitki beslenmesi	28
1.5.1.2. Topraktaki elementlerin bitkilere geçişi	28
1.5.1.3. Bitki köklerinde reaksiyonlar ve depolanma.....	29
1.5.2. Jeokimyasal ve biyojeokimyasal anomaliler	30
1.5.3. Biyojeokimyasal ölçüm teknikleri	31
1.5.3.1. Hazırlık ve ön çalışma	31
1.5.3.2. Örneklerin kimyasal analize hazırlanması	31

III

2. METERYAL VE METOD	33
2.1. Toprak örnekleri	33
2.2. Bitki örnekleri	33
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	35
3.1. Toprakta Ag, As, Pb	39
3. 2. Bitkide Ag, As, Pb	50
3.2.1. Gümüş	51
3.2.2. Arsenik	56
3.2.3. Kurşun	60
4. SONUÇLAR	64
5. KAYNAKLAR	70
6. ÖZGEÇMİŞ.....	75

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Çalışma alanı lokasyon haritası	11
Şekil 1.2. Çalışma alanı jeoloji haritası	13
Şekil 1.3. Çalışma alanının genelleştirilmiş 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. Altta Gümüşköy işletmesi ve havuzların, üstte ise işletme sahasının 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 sahası ve üstte cevherleşmenin yakından görünüşü....	26
Şekil 3.1. Tarım Bakanlığı tarafından hazırlanan çalışma alanı toprak haritası	47
Şekil 3.2. Aktepe cevherleşme sahasındaki toprak kesitinin düşey görünümü.....	45
Şekil 3.3. Topraktaki çeşitli metaller arasındaki ikili değişim diyagramları	48
Şekil 3.4. Topraktaki Ag, As, Pb'nin kök ve gövdedeki korelasyonu ilişkileri	49
Şekil 3.5. Çalışma alanındaki bitkilere ait toprak, bitki kökü ve gövdesine ait gümüş analiz sonuçlarının histogram olarak gösterilmesi	55
Şekil 3.6. Çalışma alanındaki bitki kök (ECR) ve gövdesinde (ECS) Ag için zenginleşme katsayıları ile translokasyon faktörleri (TLF).....	55
Şekil 3.7. Çalışma alanındaki bitkilere ait toprak, bitki kökü ve gövdesine ait As analiz sonuçlarının histogram olarak gösterilmesi	59
Şekil 3.8. Çalışma alanındaki bitki kök (ECR) ve gövdesinde (ECS) As için zenginleşme	

katsayıları ile translokasyon faktörleri (TLF).....	59
Şekil 3.9. Çalışma alanındaki bitkilere ait toprak, bitki kökü ve gövdesine ait Pb analiz sonuçlarının histogram olarak gösterilmesi	63
Şekil 3.10. Çalışma alanındaki bitki kök (ECR) ve gövdesinde (ECS) Pb için zenginleşme katsayıları ile translokasyon faktörleri	65

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Çalışma alanı toprak ve bitki örneklerine ait lokasyonlar.....	43
Tablo 3.2. Çalışma alanındaki topraklarda Ag, As, Pb analiz sonuçları.....	46
Tablo 3.3. Çalışma alanı toprak örneklerindeki ağır metallere ait korelasyon ilişkileri.....	47
Tablo 3.4. Çalışma alanındaki toprak ve bitkilere ait kök ve gövdedeki Ag değerleri ile bitkilere ait kök (ECR) ve gövde (ECS) için zenginleşme katsayıları ile transfer katsayıları (TLF).....	53
Tablo 3.5. Çalışma alanındaki toprak ve bitkilere ait kök ve gövdedeki As eğerleri ile bitkilere ait ECR, ECS ve TLF değerleri.....	57
Tablo 3.6. Çalışma alanındaki toprak ve bitkilere ait kök ve gövdedeki Pb değerleri ile bitkilere ait ECR, ECS ve TLF değerleri.....	61

ÖZET

Gümüşköy (Kütahya) Ag, As ve Pb yatağı, Kütahya'nın yaklaşık 25 km batısında yer almaktadır. Yörede Permo-Karbonifer'den Kuvaterner'e kadar zaman aralığında oluşan metamorfik, volkanik ve sedimanter birimler yüzeylemektedir. Türkiye'nin en önemli gümüş ataklarından birisi olan bu cevherleşmeler, Miyosen yaşlı Tavşanlı volkanitlerinin içerisinde ve Şahin Formasyonu ile kontaklarında yer alırlar. Gümüşköy yatakları Gümüşköy, Şahin, Gözeçukuru, Sığıreğreği ve Dulkadir köyleri arasında bulunmaktadır. Yatakta yaygın cevher mineralleri pirit, galenit, barit, sfalerit, realgar, orpiment, antimuanit, Fe ve Mn oksitler, arjantit, frayberjit ve pirarjirit, gang mineralleri ise kuvars, kalsedon, çört, dolomit ve kalsittir.

Bu çalışma 12 farklı bitki türünün [*Alyssum saxatile* (AL), *Anchusa arvensis* (AN), *Centaurea cyanus* (CE), *Carduus nutans* (CR), *Cynoglossum officinale* (CY), *Glaucium flavum* (GL), *Isatis* sp. (IS), *Onosma* sp. (ON), *Phlomis* sp. (PH), *Silene compacta* (SL), *Tripleurospermum maritimum* (TR), and *Verbascum Thapsus* (VR)] kök ve dallarındaki Ag, As ve Pb birikimi ve dağılımı incelenerek, topraktan bitkinin farklı kısımlarına Ag, As ve Pb taşınımı ve alımı irdelenmiştir. Çalışma alanındaki bu bitkiler, ılıman karasal iklime sahip, Gümüşköy (Kütahya) Ag-Pb maden sahasının yüzey topraklarında doğal olarak büyümüşlerdir. Bitki örnekleri ve ilişkili topraklar araziden toplanmış ve ICP-MS'de Ag, As ve Pb içeriklerini belirlemek için analiz edilmiştir. Bitki örneklerinin dal, kök ve topraklarındaki ortalama gümüş değerleri sırasıyla 11240, 10577 ve 37780 ppb; arsenik 1340.4, 2319.9 ve 4771.2 ppm; kurşun 1023, 1378 ve 4320 ppm şeklindedir. Çalışma alanındaki bitkilerin kökleri (ECR) ve dalları (ECS) için ortalama zenginleşme katsayıları gümüş için 0.54 ve 0.85; arsenik için 0.48 ve 0.46; kurşun için 0.45, 0.30 şeklinde sıralanmıştır. Bu bitkiler ECR ve ECS temelinde gruplara

VIII

ayrılmıştır. Gümüş için VR, SL ve GL bitkileri; arsenik için ise AN, PH, VR ve GL bitkileri; kurşun için CR, AN, AL ve PH bitkileri; antimuan için PH, GL, CR ve AL bitkileri; talyum için CY, IS, VR, PH, SL ve CR bitkileri 1'den büyük veya 1' e yakın ECR ve ECS değerlerine sahip olmasından dolayı çok iyi birer biyoakümülatör/hiperakümülatör bitkiler olarak gruplandırılmıştır. Bu yüzden, bu bitkiler fitoremedasyon çalışmalarında özellikle yararlı olabilir ve dolayısıyla da gümüş ve arsenikçe kirlenmiş toprak ve alanların rehabilitasyonu ve temizlenmesi çalışmalarında kullanılabilirler. Bu bitkilerin Ag, As ve Pb için translokasyon (TLF) değerleri, bitki kökünden bitki dalına olan Ag, As ve Pb taşınım yeteneğini işaret etmektedir. Çalışma alanındaki bitkilerin TLF değerleri incelendiğinde; bu transfer, gümüş için CR, VR, SL, ON, CE ve PH; arsenik için CR, ON, CE, PH ve VR; kurşun için ON, CE, CY, SL ve TR; antimuan için ON, CE, VR, SL, PH ve AL; talyum için CY, ON, CE, SL ve IS bitkilerinde daha etkili olmuştur.

Anahtar kelimeler: Ag, As ve Pb Alımı, Karasal Bitkiler, Zenginleşme Katsayısı, Translokasyon Faktörü, Fitoremedasyon, Gümüşköy Maden Sahası

ABSTRACT

The determination of As, Ag and Pb levels in soil and plants around Gümüşköy (Kütahya) Ag deposit and their effects on the biological environment

Gümüşköy Ag, As ve Pb ore deposit is located to about 25 km. west of Kütahya. In this region, the units cropping out in the study area are composed of metamorphic, volcanic and sedimentary rocks and their ages range from Upper Paleozoic to Quaternary. Gumusköy Ag deposit is the one of the biggest silver deposits in Turkey, occurred in Tavşanlı volcanic-Miocene in age and their contacts between Tavşanlı volcanic and Şahin Formation- Permo-Carboniferous in age. Gümüşköy deposit was found among Gümüşköy, Şahin, Gözeçukuru, Sığireğreği and Dulkadir villages. Primary ore minerals are in order; pyrite, galena, sphalerite, realgar, antimuanite, orpiment, barite, Fe and Mn oxides, argentite, freibergite and pyrargyrite. The main gangue minerals are quartz, calcedony, chert, dolomite and calcite,

This study investigated silver (Ag), arsenic (As) and lead (Pb) uptake and transport from the soil to different plant parts by documenting the distribution and accumulations of Ag, As and Pb in the roots and shoots of 12 plant species [*Alyssum saxatile* (AL), *Anchusa arvensis* (AN), *Centaurea cyanus* (CE), *Carduus nutans* (CR), *Cynoglossum officinale* (CY), *Glaucium flavum* (GL), *Isatis* sp. (IS), *Onosma* sp. (ON), *Phlomis* sp. (PH), *Silene compacta* (SL), *Tripleurospermum maritimum* (TR), and *Verbascum Thapsus* (VR)]. All of these plants were growing naturally in surface soils of the Gumuskoy Ag-Pb mining area (Kutahya, Turkey), a region with a mild continental climate. Plant samples and their associated soils were collected and analyzed for Ag, As and Pb contents by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Mean values in the soils, roots, and shoots of all plants were 37780, 10577 and

11240 ppb for Ag; 4771.2, 2319.9 and 1340.4 ppm for As; 1023, 1378 and 4320 ppm for Pb; respectively. The mean enrichment factors for root (ECR) and shoot (ECS) of these plants were 0.54 and 0.85 for Ag; 0.48 and 0.46 for As; 0.45 and 0.30 for Pb respectively. The plants in the study area were separated into different groups based on ECR and ECS values. The results showed that VR, SL and GL plants for Ag; AN, PH, VR and GL plants for As; CR, AN, AL and PH for Pb were very good bioaccumulator/ hyperaccumulator because their ECRs and ECSs are higher than 1 or close to 1. Therefore, these plants may be particularly useful in phytoremediation and they can also be used to clean or rehabilitate soils and areas contaminated with Ag, As and Pb. The TLF values indicated that the ability to transfer Ag, As and Pb from the roots to the shoot. According to the results of TLF values; that transfer was more efficient in CR, VR, SL, ON, CE and PH plants for Ag; CR, ON, CE, PH and VR plants for As; ON, CE, CY, SL and TR for Pb.

Key Words Ag, As ve Pb Uptake, Terrestrial Plants, Enrichment Coefficient, Translocation Factor, Phytoremediation, Gümüşköy Mining Area

1. GİRİŞ

“Gümüşköy (Kütahya) Ag yatağı çevresindeki toprak ve bitkilerde As, Ag ve Pb düzeyleri ve bunların biyolojik çevre üzerine olası etkilerinin belirlenmesi” konulu bu çalışma Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde 2010–2011 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, zirai mücadele ilaçları (pestisid) ve kimyasal gübrelerdir. Gerçekte sanayinin çevre üzerindeki olumsuz rolü belki diğer tüm faktörlerden çok daha fazladır. 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 pestisid üretimi yapan fabrika atıklarının durgun veya akarsulara boşaltılması sonucunda su kaynaklarımız pestisidlerle kirlenmektedir.

Toprak kirliliği, toprağın, insan etkinlikleri sonucu oluşan çeşitli bileşiklere bulaştırılmasını izleyen, toprakta yaşayan canlılar ile yetişen ve yetiştirilen bitkilere veya bu bitkilerle beslenen canlılara toksik etkide bulunacak ve zarar verecek düzeyde anormal fonksiyonda bulunmasını, toprağa eklenen kimyasal materyalin toprağın özümleme kapasitesinin üzerine çıkması, toprağın verim kapasitesinin düşmesi şeklinde tanımlanabilir. Toprak sistemi ilişkili olduğu su ve hava sistemlerinin içerdiği kirlenici unsurlar için son depolama noktasıdır. Diğer taraftan toprak, karasal ekosistemin taşıyıcı unsurudur ve toprak kalitesindeki değişim, gerek doğal ve gerekse tarım

ekosisteminin verimliliğini etkilemektedir. Topraklar kirli hava ve suyun taşımış oldukları unsurlar tarafından kirlendiği gibi, tarımsal uygulamalar ve endüstriyel aktivitelerle de yaygın veya yerel ölçeklerde nitelik değiştirmektedir.

Ağır metaller, yukarıda belirtilen çevre sorunlarına bağlı olarak doğal çevreyi kirletebilirler. Bu kirlilik kaynaklarının en önemlilerinden birisi de madencilik çalışmaları ve buna bağlı endüstrilerdir. Bu kirlenme doğal yollarla olabildiği gibi insan ve diğer canlıların aktivitesi, rüzgar 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 toprakda 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 neden olurlar (Çepel, 1997). Bunlar aşağıda özetlenmiştir;

Toprağa karışan ağır metaller, toprağın kimyasal birleşimini bozduğu gibi, topraktaki kimyasal ve biyolojik süreçler üzerinde de karmaşık etkilere sahiptir.

Toprak canlıları ve özellikle bitki beslenmesinde önemli rol oynayan mikoriza (toprak kökenli mantarlarla yüksek bitkilerin kökleri arasında karşılıklı yararlanmaya dayanan bir ilişkidir) üzerinde zararlı etkilere sahiptir. Ayrıca toprağın reaksiyonu (pH- değerleri) üzerinde değişimlere neden olurlar.

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 sonucu yoğun olarak 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. Potansiyel kirlilik kaynağı pek çok ağır metalden oluşmaktadır. Bu da bölgedeki çevresel riski 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. Tesis, yılda ortalama 180 gr/ton tenörlü, 1 milyon ton tüvenan cevher işleyerek % 99,9 saflıkta 122.4 ton gümüş üretecek şekilde planlanmıştır. Bölgede, 2009 yılında yapılan yeni yatırımlarla, gümüş cevherinin 10–15 mikron boyutuna öğütülmesi ve metal kazanma veriminin % 70–75 seviyesine çıkması hedeflenmiş olup, yıllık açık ocak tüvenan cevher üretimini 5.000.000 ton düzeyine çıkaracak alt yapı oluşturulmuştur.

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. Başlıca iki özütleme (liç) yöntemi uygulanmaktadır:

1. Yığın özütleme

2. Karıştırmalı özütleme

Geçirgenlik ve difüzyon yönünden sorun yaratmayan altın cevherlerine doğrudan **yığın özütleme** (Heap Leaching); daha yüksek tenörlerdeki cevherlere ise kırma – öğütme gibi cevher hazırlama ön işlemlerini takiben tank içerisinde **karıştırmalı özütleme** uygulanmaktadır. Yatak oluşum yapısının uygun olması koşuluyla çok düşük tenörlü cevherlerin düşük verimlilikle de olsa değerlendirilmesinde yerinde özütleme (In Situ Leaching) prosesi çözüm sağlamaktadır. Siyanürleme sonucu katı fazdan sıvı faza özütlenen altın ve gümüşün sıvı fazdan geri kazanımı, altın – gümüş derişimlerine ve çözünme kinetiklerine bağlı olarak, CIP (Carbon In Pulp), CIL (Carbon In Leach) ve CIC (Carbon In Column) gibi aktif karbona yüzey soğurma (adsorption) ve geri sıyırma (Desorption) işlemleriyle ön zenginleştirmeden sonra veya doğrudan çinko tozu ile çöktürme veya elektroliz (electrowinning) ve ergitme yoluyla gerçekleşmektedir. Elde edilen külçe ürünler rafinasyon tesislerinde saflaştırılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; yaklaşık 3500 yıldan beri ilkel ve modern madenciliğin yapıldığı Gümüşköy yatağı çevresinde, hem doğal hem de yöredeki madencilik çalışmaları sonucu ortaya çıkan toprak ve bitkilerde gözlenen As, Ag ve Pb gibi ağır metal kirlenmesinin boyutlarının saptanmasıdır. Bu amaçla yataklar çevresinde yetişen çok sayıda bitki toplanmış, bunların toprakları, kök ve gövdelerindeki As, Ag ve Pb miktarları incelenmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında, bazı bitki türlerinin farklı metaller için indikatör bitki olabileceği düşüncesiyle,

yörede yetişen bitkiler ve beslenmiş olduğu topraklardan da örnekler alınmıştır. Bu sayede ağır metallerin topraktaki ve bitkideki oranları kıyaslanarak, bitkilerin farklı elementleri alım kapasite ve toleransları ortaya konmuştur. Ayrıca bu projeden elde edilen tüm bulgular, çevre ve halk sağlığı açısından değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

1.1. Coğrafi 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 seyreder. 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 yaşı tuf, tüfit, riolitik tuf, riyoasitik tuf, kireçtası silis sinter (kabuk) Pliyosen yaşı dolomitli kireçtasları ve dolomitler, Pliyosen yaşı 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 yaşı 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 yaşı şistlerin aşırı miktarda kıvrımlı ve kırıklı bir yapı sergilediğini, Neojen yaşı 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 seklinde üç sahada cevherleşmenin oluştuğunu ve cevherleşmelerin polimetallik 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 kayaçların tüm Batı Anadolu'daki volkanitler gibi bir volkanik kuşak ve bu kuşakta gerçekleşen dalma - batma olayları sonucu oluştuğunu ve bu esnada And tipi polimetallik 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 bilesimli lavlarla temsil edildiğini ve bazik volkanizmanın cevherleşme ile doğrudan ilişkisi olmadığını düşünmüştür. Gümüşköy yataklarında 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 doğru sırasıyla As-Sb-Ag ve Ag-Pb-Zn zonlarının 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-Kreken-Sahin köyleri çizgileri arasında kalan bölge daha fazla risk altında olduğu belirtilmiştir.

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

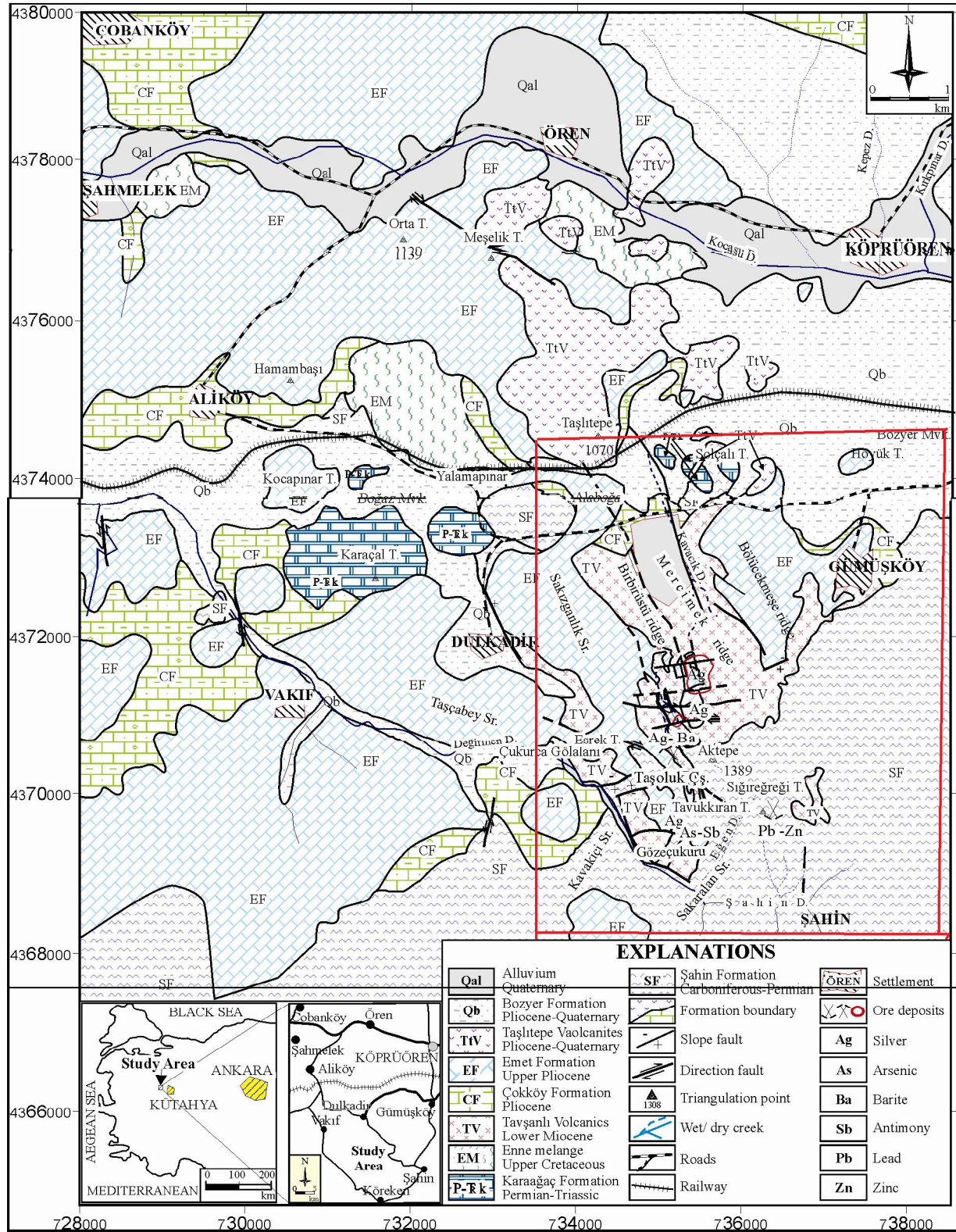


şekil 1.1. Çalışma alanı lokasyon haritası.

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, riolititik ve riyodasitik bileşimli tuf, tüfit ve aglomeralarla temsil edilen Tavşanlı volkanitleri Senozoyik öncesi temel üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Alt Pliyosen yaşlı tuf, karbonat ve kil bileşimli kayalardan, kumtası, konglomera ve tüflerin ardalanmalarından oluşan Çökköy Formasyonu açık yeşil rengiyle diğer birimlerden kolaylıkla ayırt edilebilmekte olup diğer birimlerin üzerinde uyumsuz olarak durmaktadır. Çökköy 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 gelişen bazik volkanizmanın ürünü olan Taşlıtepe volkanitleri bütün birimleri keserek yüzeylemektedir. Kuvaterner döneminde gelişen az tutturulmuş kırıntılı kayalardan 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



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

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (~m)	SİMGELER	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENZOYİK	KUVATERNER		ALÜVYON	25	Qal		Tutturulmamış çakıl, kum, silt, kil.
			BOZYER FORMASYONU	0-80	T-Qb		Az tutturulmuş çakıl, kum, kil.
	TERSİYER	NEOJEN	TAŞLITEPE VOLKANİTLERİ	100	Tt		Bej, kahverenkli, ince tabakalı dolomit ve dolomitik kireçtaşı
							Alt seviyelerinde beyaz renkli ince tabakalı, killi kireçtaşı, üst seviyelerinde silisleşmiş kireçtaşı.
			EMET FORMASYONU	230	Te		Beyaz, gri, açık yeşil, kahvemsı sarı renkli, yer yer marn, kumtaşı aratabakalı kilitaşı. Birim yer yer oldukça fazla ayrışmaya uğramış ve özellikle marn seviyeleri çörtleşmiştir.
	PLİYOSEN	ALT	ÇOKKÖY FORMASYONU	200	Tç		DİSKORDANS
			TAVŞANLI VOLKANİTLERİ	300	Tta		Grimsi bej, sarı, bej renkli kalın tabakalı, masif, kısmen ayrılmış, çoğunlukla silisleşmiş tüfit, tuf
							DİSKORDANS
	MİYOSEN	ÜST					
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST	ENNE MELANJİ	?	Kem		Sarı, bej, kirli beyaz renkli dasit, riyodasit ve riyolit.
							Altta üste doğru serpantin, serpantinleşmiş peridotit, yeşil, kırmızı renkli çört, bordo renkli radyolarit.
	TRİYAS	Üst Permian-Üst Triyas	KARAAĞAÇ FORMASYONU	>400	P-Ŧk		Değişik yaşta ve boyutta karbonat blokları
							BİNDİRME
PALEOZOYİK	KARBONİFER - PERMIYEN	Karbonifer - Üst Permian	ŞAHİN FORMASYONU	>800	K-Pş		Gri, koyu gri renkli kireçtaşı blokları
							Pembe, bordo, gri, yeşilimsi gri renkli oldukça sık kıvrımlanmış metakumtaşı, metakonglomera kalkşist, talkşist, grafitli şist ve mikaşistler

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

Karbonifer döneminde kazanıldığı düşünülmektedir. Bu verilere göre, Şahin Formasyonu'nun yaşı Permo-Karbonifer olarak kabul edilmiştir. Birimin içerisinde metakumtaşı, metakonglomera, kalkışist, mermer, talkışist, mikaşist, muskovitşist, grafitli mikaşist gibi metamorfik kayaçların bulunması, başlangıçta killi, kumlu kireçtaşı ve marn gibi değişik özellikteki kayaçlardan oluşan sığ bir çökelme ortamını yansıtmaktadır. Böyle bir oluşum karadan kıyıntı 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., 1982; 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 Vıcıl (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. Karaağaç formasyonun yaşını aydınatabilecek bir fosil bulunamamıştır. Birim Permien-Karbonifer yaşlı Şahin formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Kalafatçıoğlu'na (1964) göre birimin yaşı Triyas- Alt Kretase olarak belirlenmiştir. 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 çökelediği, 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 yanıl 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 Formasyonu üzerine tektonik olarak duran Enne Melanji, 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 riyalit bileşimli tüfitlerden oluşmaktadır. Yer yer piroklastik kayaç parçaları ile ince kristalli kuvars, opal, kalsedon, iri kristalli barit, ince kristalli galenit, sfalerit ve antimonit bulunmaktadır. Birimin taban kesimlerinde bulunan aglomera sarımsı pembe, gri ve beyaz renklidir. Aktepe zirvesinin hemen kuzeyinde ve Gözeçukuru mevkiinde pomza parçaları oldukça yaygındır. Beyaz ve bej renkli pomzalar ilk bakışta kristal tüflere benzemektedir. Ancak oldukça gözenekli ve hafif olmalarıyla tanınabilmektedir. Genellikle küre ve elips şekillidir. Bu birimin üzerine Üst Pliyosen yaşlı Emet formasyonu uyumsuz olarak gelmekte olup, sondajlardan elde edilen verilere göre riyalitik 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 mostralar 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

gözlendirilmektedir. 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 Çokköy formasyonu üzerinde de çalışan Baş (1983) ve Gün vd. (1979), birim içerisinde buldukları Ostrakod ve Gastropod fosillerine dayanarak, Çokköy Formasyonu'na Alt Pliyosen yaşını vermişlerdir. Arık (2002) Çokköy 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). Üste doğru ise tabaka kalınlıkları incelmektedir. 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. Birim, Alt Pliyosen yaşlı Çokköy formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Taşlıtepe volkanikleri tarafından da kesilmekte olan formasyonun kalınlığı yaklaşık 200 m olarak belirtilmiştir (Arık, 2002). Birim içerisinde bol miktarda gastropod fosiline rastlanmıştır ve yörede Alt Pliyosen yaşlı Çokköy formasyonu ile dereceli geçişlidir. 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 adlandırılmıştır. Birim çalışma alanın hemen güneyinde gözlenmektedir (Şekil 1.2) ve başlıca koyu renkli ve bol gaz boşluklu bazalt ve andezitlerden oluşmaktadır. Bu kayaçlar 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 kayaçlar 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. (1982)' a göre Kula volkanitlerine, Ercan vd. (1984)' e göre Denizli volkanitlerine, Baş (1987)' 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 kayaçlardan 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 Sığıreğreği olmak üzere üç bölgede cevherleşmelerin görüldüğünü ve bu cevherleşmelerin polimetalik ve epi- mezotermal karakterde geliştiğini ortaya koymuştur. Yiğitgüden (1984) ise bölgedeki cevherleşmelerin oluşum tiplerini ortaya koymuştur ve silis sinter, tüfler, dolomit içindeki cevherleşmeler, barit gangı 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 ç özeltiller, 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 polimetalik 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 tuf 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 yatakların 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. Bu da 3827 ton metal gümüş rezervine eşdeğerdir (DPT, 2001). Gümüşköy yatakları için tespit edilen gümüş değerleri düşünüldüğünde ülke ekonomisi açısından ne denli önemli olduğu açıkça görülmektedir. Gümüşköy yatakları Kütahya İli'nin yaklaşık 25 km batısındaki Gümüşköy, Şahin ve Dulkadir köyleri arasında bulunan alanda yayılım sunmaktadır. 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 Sığırgreği 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, riylit, dasit ve riydositik tüfler ile Emet formasyonuna ait kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşları içerisinde bulunmaktadır. Cevherleşmelerin batı kesimi ise Vıcıl (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. Bölgede cevherleşmelerde galenit iri ve ince kristalli olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır. 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 riydositik ve riylitik tüfleri tercih ettiğini söylemiştir. Tüflerin gözenekli olması cevherli çözeltilerin tüfler içerisinde daha uzun süre dolaşmasına ve daha fazla cevher çökmesine neden olmuştur. Sığireğreği yatağı Aktepe yatağının güneybatısında yer almaktadır. Yatak Sığireğreği 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. Altta Gümüşköy işletmesi ve havuzların, üstte ise işletme sahasının 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 sahası ve üstte cevherleşmenin yakından görünüşü. Altere olmuş orpiment ve realgar döküntülerinin arazideki görünüşü.

1.5. Biyojeokimya

Biyojeokimya ilk defa 1926 yılında Varnadsky tarafından dünya üzerindeki bütün jeokimyasal tepkimelerin herhangi bir yolla canlı yaşam tarafından etkilendiğini belirtmek üzere kullanılmıştır (Schiesinger, 1992). Genetik olarak biyojenik anomaliler tüm canlıları içeren bitki, hayvan ve mikro organizmaların jeokimyasal özellikleriyle ilgili bir anomali grubudur. Ancak biyojenik anomaliler denince çoğu zaman yaygın uygulama alanlarının fazla olması nedeniyle daha çok bitkiler kullanılmaktadır (Erdman, 1984). Çünkü hayvan ve mikro organizmalarla ilgili biyojeokimyasal anomalilerin uygulama alanları çok sınırlıdır (Köksoy, 1991). Biyojeokimyasal propeksiyon 1965 yılından sonra tam anlamıyla uygulanmaya başlanmış ve 1973 yılına kadar, toprak, kayaç ve bitki örneklerindeki çeşitli elementlerin analiz edilmesi ile 90 adet mineral yatağı keşfedilmiştir. Ancak; biyojeokimyasal prospeksiyonda geniş bir şekilde bitkilerin kullanılmasından sonra; Kovalevsky “Bariyer Etkisi” kavramından bahsederek, her mineralizasyona bütün bitkilerin rehber olamayacağını ileri sürmüştür. Gerçekten de yapılan birçok araştırmada bitki türlerinin sadece % 5’inin dokularındaki element derişimi ile topraktaki element derişimi arasında bir ilişki olduğu ortaya çıkartılmıştır. Ancak biyojeokimyasal propeksiyonun öncüleri, bitkilerin tamamen topraktaki elementleri yansıtabilmesinin mümkün olamayacağını belirterek “böyle bir ilişki var olabilir ancak bu bir kural değildir” demişlerdir. Bununla birlikte “bariyer etkisi” kavramının tartışılması biyojeokimyasal yolla maden arama yöntemlerinin gelişmesinde büyük rol oynamıştır (Erdman, 1984; Özdemir, 1996). Bitki türlerinin cevherleşmelerle ilgili olarak gösterdikleri dağılım morfolojik değişikliklerin gözlem yoluyla incelenmesiyle yapılan cevher aramasına “Jeobotanik Propeksiyon”, kimyasal analizlerinin yapılmasıyla cevher aranmasına ise “Biyojeokimyasal Prospeksiyon” denilmektedir. Jeobotanik ve jeokimyasal prospeksiyon yöntemlerinin her ikisine birden de “Botanik Prospeksiyon” adı verilmektedir (Rose ve diğ. 1979; Köksoy, 1991). Biyojeokimyasal prospeksiyonun başarılı bir

şekilde uygulanması da, toprakta cevherleşmeye ait element derişimi ile bitkideki elemente derişimi arasında doğrusal bir ilişki olmasına bağlıdır (Özdemir ve Sağıroğlu, 1996).

1.5.1. Metallerin bitki tarafından alınması

Bitkiler tarafından metallerin alınmasını etkileyen faktörler kısaca şöyle özetlenebilir; bitkilerin besin ihtiyacı, alabilecekleri kadar toprakta elementlerin bulunması, bitki köklerindeki reaksiyonlar, hareket ve depolanma gibi faktörler sayılabilir (Rose ve diğ. 1979, Özdemir, 1996).

1.5.1.1. Bitki beslenmesi

Her bitkinin kendine özgün bir beslenme şekli bulunmaktadır ve bitkilerdeki elementlerin miktarı da toprakta bulunan elementlerin miktarı ile ilişkilidir (Rose ve diğ., 1979, Özdemir, 1996). Her ne kadar bitkiler kökleriyle aldıkları elementler arasında seçim yapma özelliğine sahiptirler de, bünyelerinde fazla sayıda element bulunmakta ve çözünebilir durumda çevrede bulunan çok sayıda elementi absorbe etmektedirler. Bitkilerde bulunan elementlerin miktarı; bitkinin türü, yaşı, kök gelişimi, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısı, uygulanan tarımsal yöntemler, iklim koşulları vs. gibi faktörler ile ilgilidir. Bitkilerde makro düzeyde C, H ve O başta olmak üzere daha az miktarda N, K, Ca, Mg, P, S ve F vb, elementler ve elementlerin dışında bitki gelişmesi için mutlak gerekli olan elementlerden; Mo, Cu, Zn, Mn, B, Cl ve Na gibi mikro elementlerde bulunmaktadır (Kacar, 1984; Rose vd., 1979). Ayrıca toprakta bulunan toksik elementler (Pb, Cd, As, Hg vb.) ve bitki beslenmesi açısından gerekli olan elementlerin fazlalığı bitki büyümesini engellemektedir.

1.5.1.2. Topraktaki elementlerin bitkilere geçişi

Bitkiler toprakta ve daha derinlerdeki yer altı sularında çözülmüş elementleri kökleri ile bünyelerine alarak beslenirler. Bu nedenle besin suyu, köklerin kapsamış oldukları geniş bir sahadaki toprak ve yer altı suyunu temsil eder. Besin suyu içerisindeki inorganik tuzları oluşturan elementler fotosentez ve metabolizma sonucunda organik bileşiğe dönüşürler. Bunun için bitkilerin beslendikleri toprak ve yer altı suları ile besin suyu bitki organlarının kimyasal yapıları

ile bağlantılıdır. İşte bu bağıntı sayesinde botanik anomaliler oluşmakta ve anomalilerin saptanması ile de maden prospeksiyonu yapılabilir.

Bitkilerin kökleri ile üzerinde büyüdükleri toprak ve kayalardan çeşitli elementleri bünyelerine alırlar; bitkinin yaprak, dal vb. gibi çeşitli organlarının yapılarına giren bu elementler, bitki organlarının dökülme, kırılma veya ölümü ile toprağın üst kısmında birikirler. Toprak üstünde biriken organik döküntüler bakteri faaliyetleri ile çürümeye başlarlar. Çürüme ürünlerinin bir kısmı toprağın B zonunda Fe, Mn ve Al ile birlikte çökelir ve absorbe olur. Diğer bir kısmı ise bitki kökleri tarafından tekrar emilirler. Böylece bazı elementler için kayaç – toprak – bitki şeklinde biyojeokimyasal çevrim devam eder. Yüzeyde çürüyen veya bozunan organik maddelerin suda çözünmeyen veya çok az çözünen kısmı toprağın A zonunda birikerek humusu oluşturur. Yani derinlerdeki bazı elementler bitkiler yoluyla toprağın üst kısmına taşınabilmekte ve zamanla toprağın bazı zonlarında zenginleşmektedir (Köksoy, 1991).

1.5.1.3. Bitki köklerinde reaksiyonlar ve depolanma

Bir elemente olan gereksinim başka elementlerle giderilemeyeceği için, bitki besin suyunu alırken ihtiyacı olan elementleri seçmeye yarayan ve niteliği henüz iyice anlaşılamayan bir mekanizmaya sahiptir. Böylece bazı elementler bünyeye kolayca kabul edildikleri halde diğer elementler o kadar kolay kabul edilmemektedirler. Bu mekanizmada; difüzyon (yayılma), iyon değiştirme gibi fizikokimyasal olayların yanı sıra bitki metabolizmasının da büyük bir rolü vardır.

Özellikle “besin taşıyıcıları” adı verilen organik moleküller besin suyuna girmiş gerekli iyonları bitki organlarına taşırlarken, bitkiye gerekli olmayan diğer iyonların bitki köklerinde birikmelerine veya toprağa geri salınımlarını sağlamaktadır. Böylece normal yaşam şartları altında bitkiler gereksinim duydukları elementleri kabul edebilirler. Genellikle toksik elementlerin büyük bir kısmı bitki köklerinde tuzlar oluşturarak birikirler. Az bir kısmı da diğer organlara dağılır. Bunun için toksik elementlerin bitki küllerindeki miktarları topraktaki miktarından daha azdır (Köksoy, 1991).

1.5.2. Jeokimyasal ve biyojeokimyasal anomaliler

Jeokimyasal prospeksiyon, indikatör elementlerin cevher yatakları çevresinde göstermiş oldukları ve cevherleşmeyle yakından ilişkili, normalden farklı dağılım özelliklerinin saptanmasına dayanmaktadır. İndikatör elementlerin cevher yatakları civarında ve cevherleşmeyle yakından ilişkili olarak göstermiş oldukları farklılığa “Jeokimyasal Anomali” denilmektedir. Anomali, normalden sapma veya farklılık demektir. Cevherleşmemiş veya bir cevherleşmeden etkilenmemiş bölgelerden alınan örneklerdeki bir elementin miktarına “Temel Değer” (Background değer veya normal değer) denilmektedir. Aynı bölgede, aynı elemente ait temel değer topluluklarının nitelileri örnek türüne göre değiştiği gibi, bir bölgeden başka bir bölgeye göre de değişiklik gösterebilmektedir. Cevher yatakları, doğada az bulundukları için “anormal” kabul edilmektedirler. Bu yatakların civarında bulunan veya bunlardan türeyen ve normalden farklı olan indikatör element dağılımlarına da “anomali dağılımları” denilmektedir. Jeokimyasal prospeksiyonun öncelikli amacı, ekonomik cevher yataklarından kaynaklanan jeokimyasal anomalilerin yerlerini saptamaktır. Cevher yataklarından kaynaklanmayan doğal yüksek değerler (sahte veya yalancı anomali toplulukları) de elde edilebilir. Temel değerler ile anomali değerleri birbirinden ayırt eden değere ise “eşik değer” denilmektedir. Eşik değeri normal değerlerin üst sınırı veya anomali değerlerinin alt sınırı olarak tanımlamakta olasıdır (Köksoy, 1991).

Genel olarak biyojeokimyasal bir anomaliye sahip bölgelerde yetişen bitkiler, diğer bölgelerde yetişen aynı bitki türlerine göre farklı derişimlerde element içermektirler. Bu farklılık pozitif(+) anomali veya negatif(-) anomali şeklinde olabilmektedir. Anomalili topraklarda yetişen bitkilerde çeşitli fizyolojik veya morfolojik değişiklikler meydana gelmektedir. Bitki organlarındaki element derişimi prospeksiyon amacıyla kullanılacaksa, bölgedeki maden yataklarıyla, bitkideki element derişimi arasında doğrusal bir ilişki olmalıdır. Bitkilerdeki element derişimleri; topraktaki element derişimine, toprağın pH'ına, toprak nemine, toprakta diğer

elementlerin bulunmasına, bitki türüne, bitki organları arasındaki farka, bitki kökünün derinliğine, bitkinin yaşına, bitkinin sağlığı ve görünümü (güneş ışığının miktarı ve yönü) gibi yaklaşık 20'ye yakın faktöre bağlıdır. Biyojeokimyasal prospeksiyon yapılırken, her örnek için mümkün olduğu kadar bütün bu faktörleri sabit tutmaya ve örneklerdeki element miktarlarındaki değişimin yalnız cevherleşmeye bağlı kalmasına çalışılmalıdır. Aksi halde elde edilen anomaliler cevherleşmeyle değil, diğer faktörlerle ilgili olacağından yanlış bir yorum yapılabilir (Köksoy, 1991).

1.5.3. Biyojeokimyasal Ölçüm Teknikleri

1.5.3.1. Hazırlık ve Ön Çalışma

Öncelikle çalışma sahasında topoğrafik ve jeolojik haritalar elde edilerek, bölge hakkında yazılmış jeolojik raporlar gözden geçirilmelidir. Bitki türlerinin yayılımı, bitkilerin sistematik tanınması, kök sisteminin derinliği, örnek alınacak organın saptanması (yaprak, dal, kök vb.) örnekleme modeli ve aralığı saptanmalıdır.

Çalışma bölgesinde prospeksiyonda kullanılan bitki türlerinin cevherleşme bölgesini saptayabilecek şekilde belirlenen aralığa göre alınması, aynı tür bitkilerden çalışma bölgesinden uzak yerlerden de örnek toplanması sonuçların karşılaştırılması bakımından önemlidir. Bitki türlerinin alındığı bölgeden toprak, su ve kayaç vb. örneklerin alınmasının yanında, uygun analiz yöntemlerinin seçilmesi de önemlidir.

1.5.3.2. Örneklerin Kimyasal Analize Hazırlanması

Bitki, toprak ve su örneklerindeki element analizlerinde Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometrisi (Alevli AAS) ve ICP – AES ve ICP – MS'de kullanılmaktadır. Organik maddelerin giderilmesi; bitki kökenli örneklerin kompleks matriks içermesinden dolayı ölçüm basamağında birçok problem ortaya çıkmaktadır. Bu problemler; örnek yapısının tam olarak bilinmemesinden ve özellikle bitki kökenli örneklerin yetiştiği bölgelere göre farklı düzeylerde bileşenler içermesinden veya ölçüm basamağında bu bileşenlerin matriks etki göstermelerinden

kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yukarıda belirtilen problemlerin giderilmesinde uygun bir örnek hazırlama basamağı seçilmelidir (Hoening ve Borger, 1983).

Alevli AAS ve ICP’de bitki ve bitki kökenli organik matriks içeren örneklerin element analizlerinde ve organik maddelerin giderilmesinde, genellikle kül etme ve yaş kimyasal parçalama teknikleri kullanılmaktadır.

1. Kül etme tekniği: Bitki kökenli örneklerde kül etme tekniği; örnek uygun kaplarda belirli bir sıcaklıkta ve belirli bir sürede tutularak organik maddelerin uzaklaştırılması ve elde edilen kalıntının inorganik bir asit içerisinde çözülerek analiz edilmesi ilkesine dayanmaktadır. Organik maddelerin tamamen uzaklaştırılmasında; öyle bir kül etme sıcaklığı seçilmelidir ki, kül etme süresince analizi yapılan elementin kayba uğramaması ve elde edilen kalıntının asitte çözünmesi istenmektedir (Hoening ve Borger, 1983).

2. Yaş kimyasal parçalama tekniği: Bu teknikte; örnek asit veya asit karışımları ile muamele edilerek organik maddenin uzaklaştırılması ilkesine dayanır (Hoening ve Borger, 1983).

2. METERYAL VE METOD

Bu çalışma amacı Gümüşköy (Kütahya) As, Ag ve Pb yatağı çevresindeki ağır metal kirliliğinin boyutlarını araştırmaktır. Bu kapsamda Gümüşköy yatağı çevresindeki toprak ve bitki örnekleri toplanmış, laboratuarda gerekli süreçlerden geçtikten sonra kimyasal analizleri yapılarak As, Ag ve Pb içerikleri saptanmıştır.

2.1. Toprak örnekleri

Toprak örnekleri, Gümüşköy yataklarının bulunduğu alanlardan derlenmiştir. Bu topraklar daha çok Tavşanlı volkanitlerine asidik tüfler ile Şahin formasyonuna ait şistlerin ayrışması sonucu oluşmuş topraklardır. Bölgeden derlenen toprak örnekleri, farklı alanlarda mostra veren gümüş yataklarının bulunduğu alanlardan ve yakın çevresinden alınmıştır, toplam 41 adet toprak örneği derlenmiştir. Bu örnekler bitki köklerinin derinliğine göre, yüzeyden yaklaşık 10-30 cm. derinliklerden alınmıştır. Bu örnekler laboratuarda oda sıcaklığında kurutulmuş, uygun elek çapında elenerek, silisli kayaç ve bunların kaba taneleri ayıklanarak, numaralandırılmış ve poşetlenerek, analize gönderilmeye hazır hale gelmiştir. Öğütülmüş 1.0 gr' lık toprak örneklerine HCl/HNO₃ / H₂O in 1/1/1' lik karışımı (1 gr örnek için 6 ml karışım) eklenerek 95° C de 1 saat süreyle karıştırılarak ısıtılmıştır. Böylece silikatlar hariç bütün bileşenlerin çözünürleştirilmesi sağlanmıştır. Daha sonra ise ICP-MS' de pek çok ağır metalin analizleri ppm ve ppb seviyesinde yapılmıştır.

2.2. Bitki örnekleri

Bitki örnekleri, Gümüşköy yataklarında cevherleşmelerin en yoğun olduğu Aktepe ve Gözeçukuru bölgesinden derlenmiştir. Bu bitkiler genellikle bir veya çok yıllık yabani otsu bitkilerdir. Yöredeki bitkilerin seçilmesinde, yöre taksonomisi dikkate alınarak en yaygın bitki türleri seçilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla yörede yetişen özgün bitki türlerinin seçilmesi,

adlandırılması ve tür tespitinde F. Ü. Fen-Ed. Fak. Biyoloji Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Şemsettin Civelek teknik yardım ve destekte bulunmuştur. Bitki örneklerinin araziden toplanması genellikle çiçek dönemine karşılık gelen Nisan-Haziran ve tohum dönemlerine karşılık gelen Temmuz-Eylül aylarında gerçekleştirilmiştir. Tohumlu örnekler özellikle bitkilerin tür tespitini yapılabilmesine yardımcı olmaktadır. Yörede; *Alyssum saxatile* L. (AL) (Kuduz otu), *Anchusa arvensis* L. (AN) (Sığır dili), *Centaurea cyanus* L. (CE) (peygamber çiçeği), *Carduus nutans* (CR) (Eğik başlı kangal), *Cynoglossum officinale* (CY) (Köpek dili), *Glaucium flavum* (GL) (Gelincik), *Isatis* L. (IS) (Çivit otu), *Onosma* sp. (ON) (Emzik), *Phlomis* sp. (PH) (Dağ çayı), *Silene compacta* (SL) (Salkım çiçeği), *Tripleurospermum maritimum* (TR) (Papatya) and *Verbascum thapsus* L. (VR) (Sığırkuyruğu) gibi bitkiler çok yaygın olarak görülmektedir. Bu bitkilerin kök uzunlukları çok değişken olup, birkaç cm ile 30-40 cm arasında değişmektedir. Bundan dolayı her bitki kökünün beslendiği toprak derinliği, bitkiden bitkiye değişiklik göstermektedir. Örneğin bölgede çoğu otsu bitkinin kök derinliği 10-15 cm derinlikte iken, bazı bitkiler daha uzun kök sistemine sahiptir. Dolayısıyla, kökün beslenmiş olduğu topraklar kökün beslenebileceği toprak kazılarak, kök ve bunların beslenmiş olduğu topraklardan örnekler alınabilmektedir.

Araziden toplanan bitki örnekleri kök ve gövde olmak üzere iki kısma ayrılarak sınıflandırılmıştır. Musluk suyu ile iyice yıkanan bitki kısımları, saf su ile de yıkanıp durulanmıştır. 95 °C de yaklaşık 24 saat süre ile kurutulmuş ve sabit tartıma getirilmiştir. Kurutulmuş örneklerden 10-20 gr arasında tartılan bitkiler fırında 300 °C' de gaz çıkışları bitinceye kadar yaklaşık 48 saat süre yakılmış ve kül haline gelmesi beklenmiştir. Kül örneklerine 2 ml derişik nitrik asit ilavesinden sonra 1 saat süreyle 95 °C' nin altında ısıtıldı. HCl/HNO₃ / H₂O₂ in 1/1/1' lik karışımından (1 gr örnek için 6 ml karışım) eklenerek 1 saat süreyle zaman zaman karıştırılarak ısıtıldı. Son olarak ise toplam 82 adet bitki örneğinin (kök ve gövde) ağır metal miktarlarının belirlenmesi amacıyla ICP-MS'de analizleri yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gümüşköy yatağı 1970 yılından beri üzerinde yoğun madencilik çalışmalarının yapıldığı Türkiye'nin en önemli Ag yatağıdır. Bu çalışma kapsamında bu yatakların çevresindeki toprak, ve bitkilerdeki ağır metal kirlilik boyutlarının saptanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda yatakların çevresinden bitki ve toptaktan sistematik örnek alınması planlanmış ancak yatakların düzensiz bir geometriye sahip olması sistematik örnek alımını zorlaştırmıştır. Ayrıca bitki örtüsünün çok fakir olması özellikle yatakların üzerinde ve çevresinde sınırlı bitki türlerinin yetişmiş olması da böyle bir örnekleme yapmayı imkânsızlaştırmıştır. Yöreden alınan örnekler genellikle yatakların üzerinden ve çevresinden alınmaya çalışılmıştır. Bölgeden alınan hemen hemen tüm örneklerde ağır metal konsantrasyonları yüksek çıkmıştır. Bu çalışmada, Gümüşköy yatağı ve çevresinde toplanmış olan As, Ag ve Pb 'nin yöredeki toprak ve bitkideki değişimleri ve olası çevreye olan etkileri incelenmiştir.

Çalışma alanındaki toprak ve bitkilerdeki As, Ag ve Pb dağılımına geçmeden önce, bu metallerin jeokimyasal özellikleri, çeşitli ortamlar ve canlılardaki içerikleri ve gereklilikleri aşağıda kısaca özetlenmiştir;

Gümüş (Ag)

Atom Numarası: 47

Litosferdeki Bolluğu : 7.5×10^{-2} mg/kg

Atom Ağırlığı : 107.868

Genel Değerlik Durumu : Ag^+ , Ag^{2+}

Genel Mineral Formları : Arjantit (Ag_2S); aynı zamanda bakır gibi diğer metallerin bir yan ürünü olarak bulunur.

Topraklardaki Toplam İçeriği: 0.03-0.9 mg/kg

Topraklardaki Çözülebilir İçeriği: 0.01-0.05 mg/kg

Deniz Suyundaki İçeriği: 4×10^{-5} mg/L

Tatlı Sudaki İçeriği: 0.13 µg/L

Denizel Hayvanlardaki İçeriği: 3-10 mg/kg

İnsanlardaki İçeriği : Kan, < 2.7 µg/L; kemik, 1.1 mg/kg; karaciğer, < 5-32 ng/g

Hayvanlardaki İçeriği: 6 µg/kg

Bitkilerdeki İçeriği : 0.01-0.5 mg/kg

Genel Yiyeceklerdeki İçeriği: 0.07-2.0 mg/kg

Gereklilik : Bitkiler, yok; hayvanlar, yok

Litosferde bakırın 1/1000'i seviyesinde olmasına rağmen gümüş bakıra benzer jeokimyasal özelliklere sahiptir. Gümüş, pH 4'ten daha büyük olduğundan toprakta hareketsiz ve humik maddeler tarafından kompleksleşecektir. Bazı topraklardaki bitki içeriği 0.5 mg/kg'ye ulaşabilmesine rağmen bitki hücresindeki Ag içeriği genellikle 0.01 mg/kg'dan daha azdır. Gümüş, besin eriyiğindeki bitkilere göre oldukça toksiktir, eriyikteki 0.5 mg/L bitkilerde kritik bir gümüş konsantrasyonu ile sonuçlanır. Gümüş mikroorganizmalar için ağır metallerin en toksiklerinden birisi olarak kabul edilir (Pais ve Jones, 2000).

Arsenik (As)

Atom Numarası : 33

Litosferdeki Bolluğu : 1.5 mg/kg

Atom Ağırlığı : 74.9216

Genel Değerlik Durumu : As⁵⁺ ve As³⁺

Genel Mineral Formları : Realgar (As₄S₄), orpiment (As₂S₃), lollingit (FeAs₂)

Topraklardaki Toplam İçeriği: 0.1-48 mg/kg; ortalama 3.6-8.8. mg/kg

Topraklardaki Çözülebilir İçeriği:

Deniz Suyundaki İçeriği : 1.45x10⁻³ mg/kg

Tatlı Sudaki İçeriği : 0.1-800 ng/g; referans değer 0.5 µg/L

Sudaki Kimyasal Türleri : H₃AsO₄

Hayvanlardaki İçeriği: Ortalama aralığı 0.04-0.09 µg/g kuru ağırlıkta; deride, tırnaklarda ve saçlarda daha yüksek

İnsanlardaki İçeriği : Kas, 0.009-0.65 mg/kg; kemik, 0.08-1.6 mg/kg; kan, 0.0017-0.09 mg/dm³; karaciğer, 1-13 ng/g; süt, 1.6-6.0 mg/L

Oyuncak Maddelerinden Maksimum Günlük Alımı: 0.1 µg

Bitkilerdeki İçeriği: 0.009-1.7 mg/kg (5-10 mg/kg olduğunda toksik);

Gübrelerdeki İçeriği : 0.4-188 mg/kg

Genel Yiyeceklerdeki İçeriği: 0.21-16 mg/kg; U.S Public Health Service meyveler ve sebzeler için taze ağırlıkta, 2.6 mg/kg

Gerekliklik: Bitkiler, yok; hayvanlar, var.

Geçmişte, arsenik içeren bileşikler böcek zehirleri, bitkileri öldüren ilaçlar ve toprak sterilleştiriciler olarak yaygın olarak kullanıldı ve bazı tarımsal topraklarda oldukça yüksek konsantrasyonları (% 0.2) bulundu. İlavenen, arsenik kirliliği bulunuşu bazı endüstriyel aktivitelerin (örneğin kömür yakılan elektrik santralinden yayılır) sonucudur. Arseniğin organik formları; metil arsenik, etan arsenik ve trimetil arsenik asit formları gibi, saf formlarından daha toksiktir. Topraklardaki arsenik reaksiyonu ve hareketi oksidasyon durumuna bağlıdır. Tayvan'ın uzağında derin sular ve güneydoğu Macaristan'ın sularının toksik arsenik konsantrasyonları içerdiği bulundu.

Arsenik, kökten nispeten yavaş ve en az yer değıştirmesiyle köklerde esasen arsenik birikimiyle, besin çözeltisinde (aralığı 0.02 ile 7.5 mg/L) 2 mg/L'den daha fazla konsantrasyonlarda domates bitkisine arsenik'in bitki toksikliği olduğu bulundu. Arsenik bitkilerde kuru ağırlıkta 2 mg/kg'dan daha fazla olduğunda genelde phytotoksiktir. Arsenik'in bitki toksikliği yüksek fosfor varlığıyla azaltılır. Bitkilerdeki arsenik seviyesi kökleşme ortamında artan seviyesiyle artar, artış derecesi ürün çeşidiyle değışir.

Kurşun (Pb)

Atom Numarası: 82

Litosferdeki Bolluğu: 14 mg/kg

Atom Ağırlığı: 207.2

Genel Değerlik Durumu: Pb^{2+}

Genel Mineral Formları: Galen (PbS), anglezit ($PbSO_4$), piromorfit [$Pb_3(PO_4)_2Cl$], mimesit [$Pb_3(AsO_4)_2Cl$]

Topraklardaki Toplam İçeriği: 3-189 mg/kg (doğal background seviyesi 10-67 mg/kg, ortalama 32 mg/kg), 100-400 mg/kg'da bitkilerde phytotoksik sayılır.

Topraklardaki Çözülebilir İçeriği: Doygun hamur, 5.0 µg/L

Deniz Suyundaki İçeriği: 30×10^{-6} mg/L (yüzey); 4.0×10^{-6} mg/L (derin)

Tatlı Sudaki İçeriği: 0.01-5.6 mg/L; referans seviye 3.0 µg/L

İnsanlardaki İçeriği: Kas, 0.23-3.3 mg/kg; kemik, 3.6-30 mg/kg; kan, 0.21 mg/dm³

Oyuncak Maddelerden Maksimum Günlük Alımı: 0.7 µg

Hayvanlardaki İçeriği: 2 mg/kg

Bitkilerdeki İçeriği: Referans bitki, 1.0 mg/kg

Gübrelerdeki İçeriği: 2-225 mg/kg

Genel Yiyeceklerdeki İçeriği: İşlenmemiş tarımsal ürünler, 0.002-0.10 µg/g ıslak ağırlıkta (kirlenmemiş bölgeler)

Gerekliklik: Bitkiler, yok; hayvanlar yok.

Kurşun en iyi bilinen toksik ağır metallere biridir ve temel bir kirleticidir. Esasen kurşunlu benzinin kullanılmasıyla atmosferden içeri girmeye başlar ve sonra toprak tozu teneffüsü ve ürün bitkileri üzerinde birikmesi ile besin zincirine girer. Kurşun topraktaki ağır metallerin en az hareketlisidir. Önce yüzey üzerinde birikir ki burada onun artan varlığı toprak mikroflorasını etkilemeye başlayabilir. Toprakta kurşun varlığı pH tarafından etkilenir ve toprağın pH'ının

artmasıyla azalır. Kurşun suda kolaylıkla çözülemez ve nispeten düşük konsantrasyonlarda bulunur. İçme suyundaki maksimum müsaade edilebilir seviyesi 0.05 mg/L dir.

Kurşun 30 mg/L’de besin çözeltilisinde bitkilere karşı toksik olarak bulunmaktadır, 10 mg/L ile 100 mg/L yavaş büyüyen bitkilerde öldürücü olmaktadır. Bazı bitki türlerinde bitki dokularında kurşun görünür bir zararı olmaksızın 350 mg/kg’a kadar yüksek olabilir. Kurşunun aşırı derecede düşük seviyeleri (2 ile 6 µg/kg) bitkiler için gerekli olabilir, çünkü düşük konsantrasyonlarda bir uyarıcı etkinin birkaç delili vardır. Kurşun bitki kökleri tarafından kolaylıkla absorbe edilebilir (bitki türlerine göre absorbe miktarı farklılık gösterir), fakat azı (% 3’ten az) üstlere taşınır. Otlarda background kurşun seviyesi 2.1 mg/kg ve yoncada 2.5 mg/kg’dır. Yapraklı sebzeler, salata gibi, kurşun için yüksek bir biobirikim özelliğine sahiptir (Pais ve Jones, 2000).

3.1. Toprakta Ag, As, Pb

Gümüşköy çevresinden 41 adet toprak örneği derlenmiştir. Bu örnekler yöredeki gümüş yataklarının bulunduğu alanlardan ve yakın çevresinde yetişen bitkilerin beslendiği alanlardan alınmıştır. Toprak örnekleri, bitkilerin beslendiği kök sistemine yakın yerlerden toplanmıştır. Ag, As, Pb ortalama olarak kıtasal kabukta sırasıyla 70 ppb, 1700 ppm ve 14800 ppm yer almaktadır (Wedepohl, 1995).

Gümüşün jeokimyasal karakteristikleri bakırın özelliklerine çok benzemektedir ancak kayalarındaki konsantrasyonları bakıra göre 1000 defa daha az zenginleşmiştir. Ag, pH’ı 4 ün üzerinde olduğu topraklarda genellikle hareketsizdir. MnO₂ gümüş için yüksek afinitiyeye sahiptir ve topraklarda gümüşün en önemli sorbenti olarak kabul edilir (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001). Dünyanın farklı ülkelerindeki toprakların gümüş içerikleri çok değişkendir. Örneğin; Kanada topraklarında; 0.03-0.4 ppm, İngiltere topraklarında 0.2-3.2 ppm, Galler’de ise 9 ppm, Polonya’da ise 1 ppm den daha aşağı, Moskova çevresindeki topraklarda ise 30 ppm in üzerinde değerler saptanmıştır. Toprakların plow zonunda 0.7 ppm, organik madde bakımından zengin kısımlarında

ise 2 ile 5 ppm arasında, en yüksek değerler ise cevherleşme alanlarında bulunmuştur (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001).

Arsenik 200 e yakın minerali oluşturmak için yüksek bir afinitiyeye sahiptir ve As içeren minerallerin yaklaşık % 60'ını arsenatlar oluşturur. Bu metal yüksek oranda metal yataklarıyla ilişkili olarak bulunur ve bu yüzden de baz metal yataklarının aranmasında indikatör metal olarak bilinir ve en yaygın minerali arsenopirittir (FeAsS). Yüzeysel ortamlarda As mineralleri ve bileşikleri kolaylıkla çözünmesine karşın, As taşınımı killer, hidroksit ve organik maddeler tarafından absorplanması nedeniyle büyük oranda sınırlandırılmıştır. Arsenik farklı kayalarda farklı dağılımlar göstermektedir. Örneğin; mafik kayalarda 0.5-1.0; ortaç kayalarda 1.0-2.5; asit kayalarda 1.5-2.5; şeyllerde 5-13; kireçtaşlarında 1.0-2.4 ppm gibi. Değişik ülkelerdeki yüzey topraklarında As içerikleri çok farklıdır. Örneğin, podzol ve kumlu topraklarda Kanada'da 5.8, Japonya 4, Amerika'da 5.1; loamy ve kumlu topraklarda Kanada 4.8, Tayland 12.8; histosol topraklarda Kanada 13.6, Amerika 5; orman topraklarında Norveç 2.2, Amerika 7; farklı topraklarda ise İngiltere 16.3, İtalya 41, Kanada 5.8, Bulgaristan 5.6, Tayvan 7.9 ppm içeriklere sahiptir (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001).

Kurşunun yerkabuğundaki ortalama dağılımı yaklaşık 15 ppm olarak tahmin edilmektedir. Karasal ortamlarda Pb'nin birincil ve ikincil olmak üzere iki türü bilinir. Primer Pb jeojenik kökenlidir ve mineraller içinde toplanmıştır. İkincil olanlar ise uranyum ve toryumun bozunması sonucu radyojenik kökenlidir. Pb yüksek oranda kalkofil özelliklere sahiptir ve doğal ortamlardaki birincil formu genellikle galendir. Pb asıl olarak +2 değerlikli olup, oksidasyon şartlarında +4 değerliklidir. Toprakların doğal Pb içeriği çevresindeki ana kayalardan türemektedir ancak yoğun Pb kirlenmeleri muhtemelen toprağın üst zonundaki bu metallerin zenginleşmesi ile olmaktadır. Bununla ilgili literatürde pek çok çalışma bulmak mümkündür. Üst zondaki doğal Pb dağılımı genellikle 3 ile 189 ppm arasında değişmektedir ve ortalama değerler ise 10-67 ppm arasındadır. En yüksek değerler Danimarka (50.5 ppm), Japonya (189 ppm), İngiltere (84 ppm) ve İrlanda (120

ppm)'da gözlenmiştir ve bu da kirlenmenin etkilerini burada açıkça yansıtmaktadır (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001).

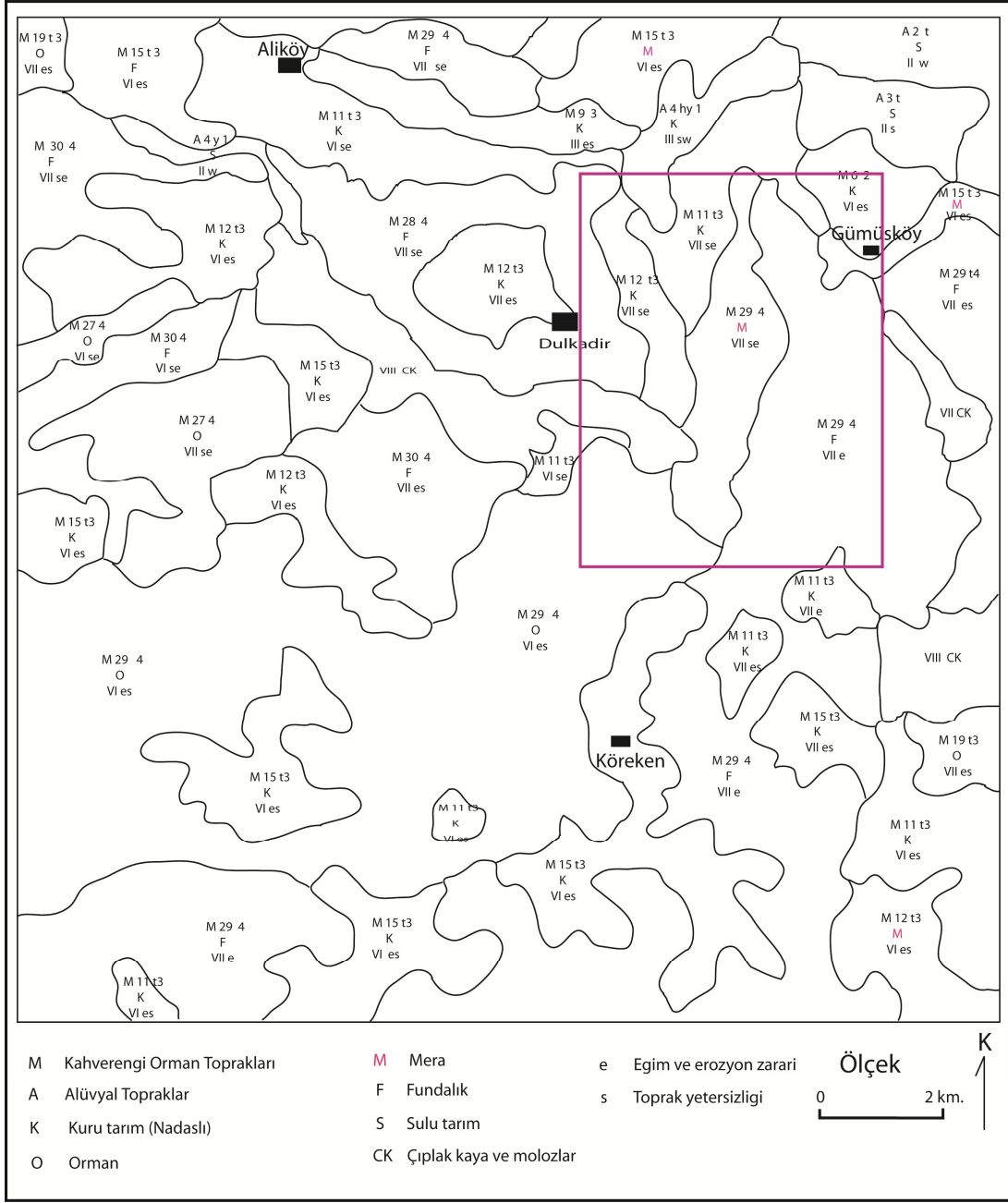
Çalışma alanından derlenen toplam 41 adet toprak +bitki örneklerinin lokasyonları tablo halinde verilmiştir (Tablo 3.1). Toprak örnekleri, yörede cevherleşmelerin bulunduğu Aktepe ve Göze çukuru bölgelerinden alınmıştır (Şekil 1.2). Bölgedeki topraklar Tarım Bakanlığı toprak haritasına göre sınıflara ayrılmıştır (Şekil 3.1) ve bölgedeki topraklar, kahverengi orman toprağı olarak adlandırılmış, yüksek eğimli, taşlık, tarıma elverişli olmayan ve yüksek erozyon özelliğine sahip topraklar olarak tanımlanmıştır. Bölgede özellikle Aktepe çevresinde kalın toprak tabakalarına rastlamak mümkündür. Üstte 30-40 cm. kalınlığında organik maddece zengin toprak, onun hemen altından başlayan koyu kahve ile siyah arasında değişen renklerde 30-50 cm. kalınlığında bir seviye, en altta ise kalınlığı çok fazla artabilen ve derinlere doğru ilerleyen kırmızımsı kil ve kum miktarı fazla olan ayrışmış topraktan oluşan düşey bir kesit sunmaktadır (Şekil 3.2). Çalışma alanındaki Ag, As ve Pb analiz sonuçları Tablo 3.2'de tablo halinde verilmiştir. Bu metallerin ortalama konsantrasyonları dünyanın farklı ülkelerdeki ortalama konsantrasyonlarla kıyaslandığında, çalışma alanındaki metallerin çok yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bu metaller (Ag, As, Pb) sırasıyla ortalama olarak 37780 ppb, 4771 ppm ve 4320 ppm gibi değerler tespit edilmiştir (Tablo 3.2). Çalışma alanındaki metallerin korelasyon ilişkileri incelendiğinde; bu metalleri iki gruba ayırmak mümkündür. İlk grup metaller Cu, Pb, Zn, Cd, Ag, Mn, Fe ve Se' dir ve bu metaller kendi aralarında yüksek korelasyonlar göstermektedir. İkinci grup metaller ise As, Sb, U, Sr, Hg, P ve Tl'dan oluşmaktadır ve bu grup metaller de kendi aralarında yüksek pozitif korelasyon ilişkileri göstermektedir (Tablo 3.3). Birinci ve ikinci grup metaller ise birbiri ile yüksek negatif korelasyonlar sunmaktadır. Bölgedeki birinci grup ağır metaller ile K, P, Sc, Sr, Ca ve U gibi elementlerle de zayıf negatif korelasyonlar sunmaktadır (Tablo 3.3). Bu da göstermektedir ki çalışma alanındaki I. ve II. Grup metallerin hemen hepsi aynı kaynaktan türemekle birlikte, farklı zamanda gelişmiş belki de farklı cevherli fazların ürünü

olduğunu ve bölgeye bu şekilde taşındığını göstermektedir. Benzer şekilde bölgedeki cevherleşmelerde magmatik sürecin son fazında yoğunlaştığı bilinen Sr ve Ba gibi metallerin, ikinci grup metallerle pozitif korelasyonlar göstermesi ve cevher getiren çözeltilerin Sr'ca zengin olması, bu çözeltilerin magmatik son faz ürünü çözeltilerle gelişmiş olabileceğini savını desteklemektedir.

Çalışma alanındaki metallerin ikili değişim diyagramları Şekil 3.3'de verilmiştir. Çalışma alanındaki Ag, As ve Pb için topraklar ile bitki kök ve dalları arasındaki korelasyonlar Şekil 3.4 de verilmiştir. Bu şekillerden de görülmektedir ki topraktaki metal miktarı arttıkça, kökteki ve daldaki metal miktarı da oransal olarak artmaktadır.

Tablo 3.1. Çalışma alanı toprak ve bitki örneklerine ait lokasyonlar

Örnek No	X	Y	Latince	Türkçe
AL-01	735692	4 371826	<i>Alyssum saxatile L.</i>	Kuduz otu
AL-02	736024	4 371928		
AL-03	735512	4 372087		
AL-04	736142	4 369385		
AL-05	736354	4 371120		
AN-01	736098	4 368895	<i>Anchusa arvensis L.</i>	Sığır dili
AN-02	735648	4 370336		
CE-01	735523	4 371421	<i>Centaurea cyanus L.</i>	Peygamber çiçeği
CE-02	736019	4 371387		
CE-03	736189	4 371139		
CR-01	736157	4 371641	<i>Carduus nutans (CR) ()</i>	Eğik başlı kangal
CR-02	736188	4 371217		
CR-03	735571	4 372366		
CY-01	735923	4 370195	<i>Cynoglossum officinale</i>	Köpek dili
CY-02	735735	4 370862		
GL-01	735512	4 369195	<i>Glaucium flavum</i>	Gelincik
GL-02	735358	4 369015		
IS-01	735833	4 371748	<i>Isatis L.</i>	Çivit otu
IS-02	735990	4 371018		
IS-03	736042	4 371508		
IS-04	735611	4 369125		
ON-01	736118	4 371332	<i>Onosma sp.</i>	Emzik
ON-02	735708	4 369431		
ON-03	736052	4 371556		
PH-01	735774	4 370752	<i>Phlomis sp.</i>	Dağ çayı
PH-02	735560	4 371503		
PH-03	736145	4 371178		
PH-04	735603	4 371486		
SL-01	735592	4 369007	<i>Silene compacta</i>	Salkım çiçeği
SL-02	735517	4 369088		
SL-03	735511	4 368977		
SL-04	735584	4 368815		
SL-05	735406	4 368962		
SL-06	735753	4 369266		
TR-01	735890	4 371412	<i>Tripleurospermum maritimum</i>	Papatya
TR-02	736143	4 371218		
VR-01	736052	4 371606	<i>Verbascum thapsus</i>	Sığır kuyruğu
VR-02	735770	4 370753		
VR-03	735571	4 369077		
VR-04	736014	4 371427		
VR-05	735517	4 368894		
VR-04	736014	4 371427		
VR-05	735517	4 368894		



Şekil 3.1. Tarım Bakanlığı tarafından hazırlanan çalışma alanı toprak haritası



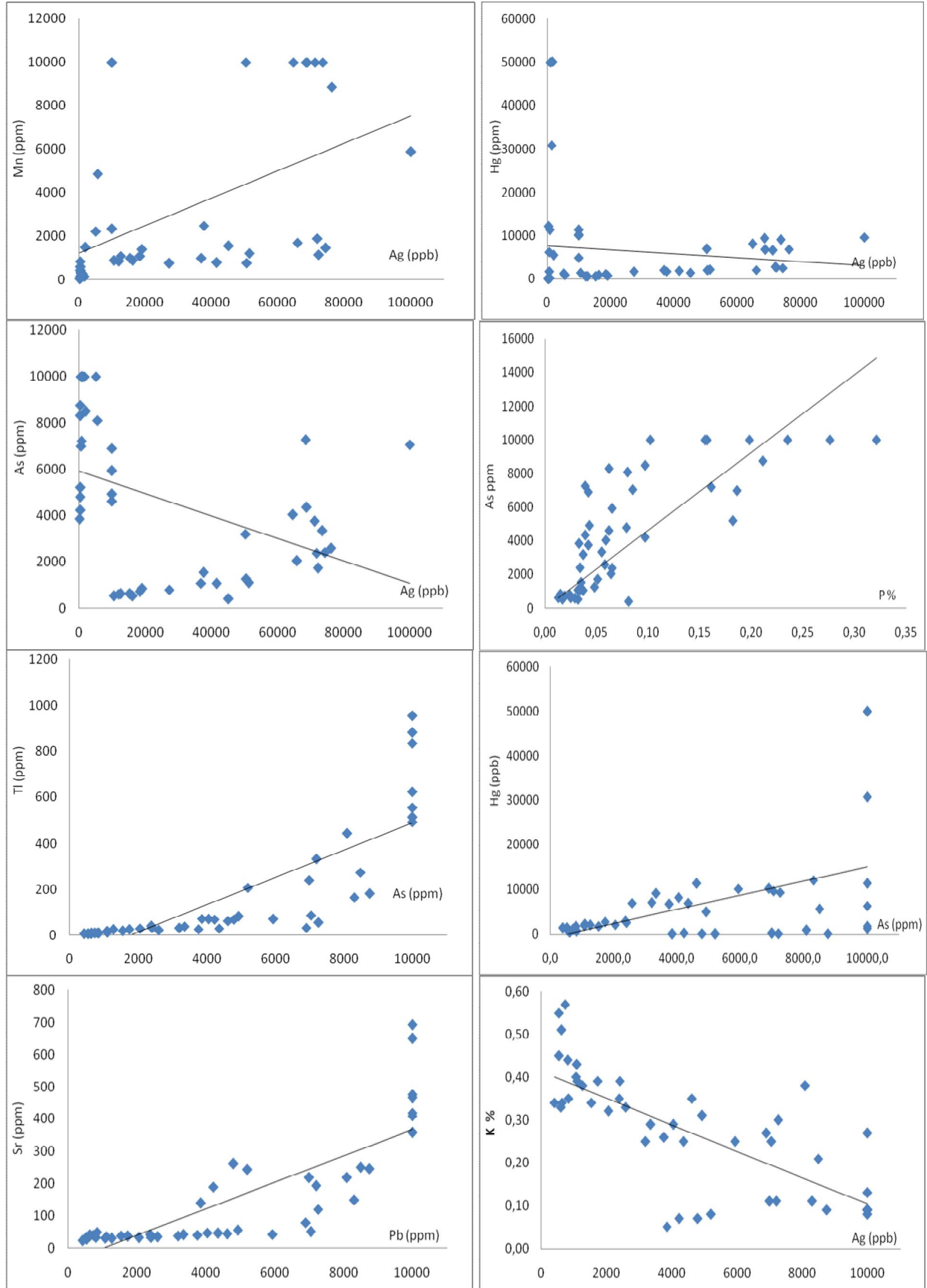
Şekil 3.2. Aktepe cevherleşme sahasındaki toprak kesitinin düşey görünümü.

Tablo 3.2. Çalışma alanındaki topraklarda Ag, As ve Pb analiz sonuçları

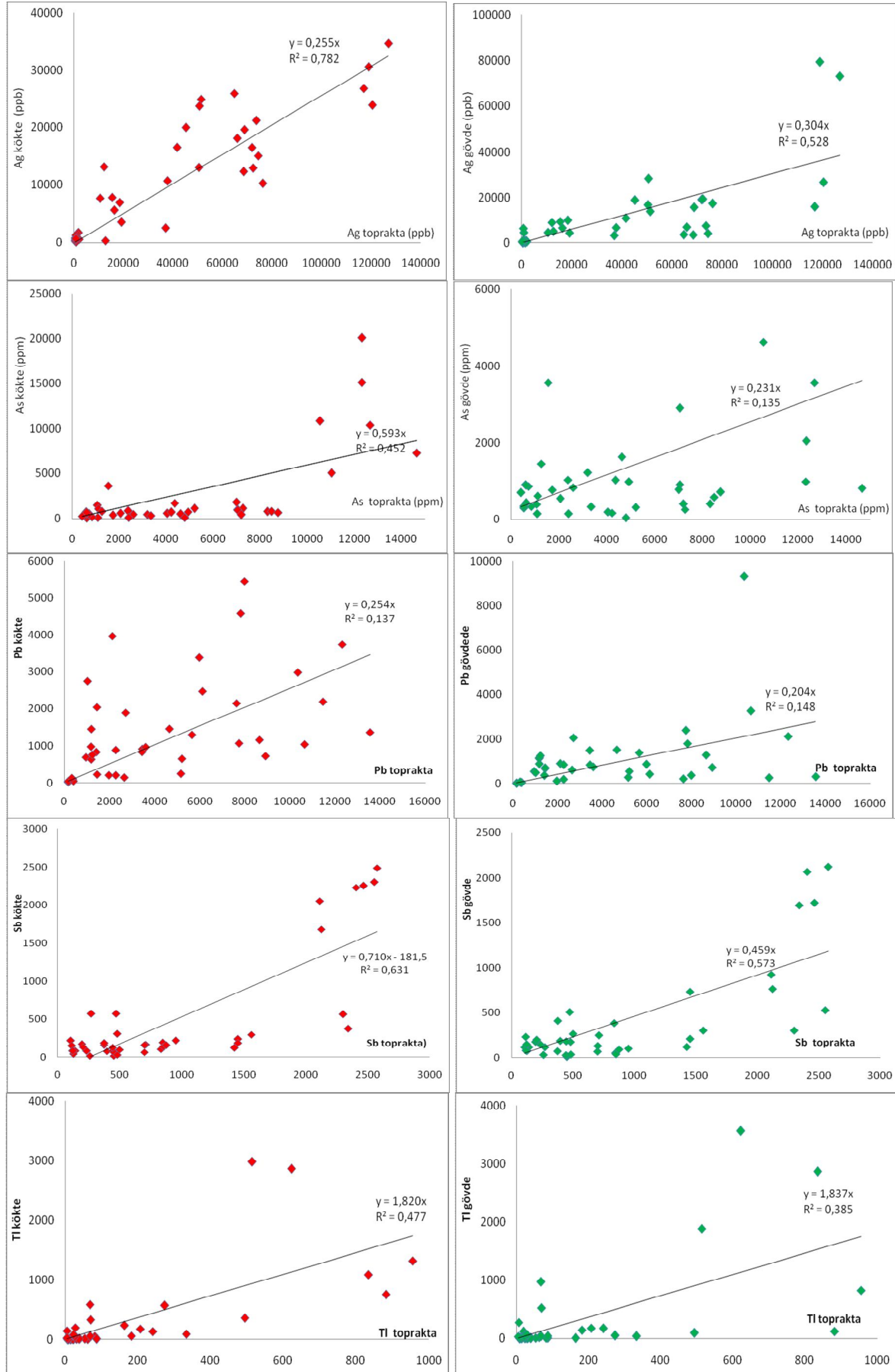
	Ag (ppb)	As (ppm)	Pb (ppm)
AL-01	16203	544,40	954,92
AL-02	41562	1073,20	2126,08
AL-03	68803	4356,00	7818,75
AL-04	120500	7051,60	12322,25
AL-05	50378	3199,10	7745,15
AN-01	37674	1540,80	3454,75
AN-02	458	8305,70	1442,28
CE-01	71840	2386,50	4655,55
CE-02	36919	1092,70	2277,09
CE-03	127000	4621,50	10652,88
CR-01	51294	1106,80	2278,13
CR-02	12611	629,10	1022,49
CR-03	117000	4928,60	8651,53
CY-01	19068	843,20	1449,20
CY-02	368	4797,90	173,12
GL-01	1668	12325,00	7985,88
GL-02	1068	10542,00	5981,91
IS-01	10457	542,70	1413,40
IS-02	68467	7263,20	11468,57
IS-03	646970	4047,80	13556,41
IS-04	1328	14662,00	7634,22
ON-01	72280	1731,80	3441,54
ON-02	119000	7051,60	10352,81
ON-03	76185	2594,30	5656,05
PH-01	1972	8492,40	1971,51
PH-02	18370	729,30	1185,84
PH-03	12030	609,20	1192,56
PH-04	15332	630,00	1178,63
SL-01	717	11028,00	2653,41
SL-02	455	4223,00	167,70
SL-03	425	5206,90	181,38
SL-04	634	6994,80	368,63
SL-05	485	8756,60	399,76
SL-06	778	7201,50	322,30
TR-01	74354	2410,30	5166,15
TR-02	73575	3349,20	8921,40
VR-01	45141	411,30	1236,57
VR-02	50592	1265,10	2715,35
VR-03	805	12330,00	6124,24
VR-04	65884	2057,50	3600,87
VR-05	616	12685,00	5212,98
ortalama	37780	4771,16	4319,86
Max.	127000	14662,00	13556,41
Min.	368	411,30	167,70

Tablo 3.3. Çalışma alanı toprak örneklerindeki ağır metallere ait korelasyon ilişkileri

	Cu	Pb	Zn	Ag	Mn	Fe	As	U	Sr	Cd	Sb	Ca	P	Ba	Hg	Na	K	Sc	Tl	Hg	Se
Cu	1,00																				
Pb	0,76	1,00																			
Zn	0,76	0,71	1,00																		
Ag	0,55	0,40	0,63	1,00																	
Mn	0,83	0,77	0,79	0,49	1,00																
Fe	0,62	0,65	0,64	0,14	0,70	1,00															
As	-0,07	0,31	-0,08	-0,42	-0,01	0,42	1,00														
U	-0,35	0,12	-0,21	-0,44	-0,26	0,25	0,79	1,00													
Sr	-0,46	-0,01	-0,39	-0,55	-0,35	0,09	0,81	0,90	1,00												
Cd	0,76	0,82	0,72	0,34	0,79	0,79	0,22	-0,04	-0,13	1,00											
Sb	-0,12	0,31	-0,01	-0,37	-0,09	0,31	0,92	0,78	0,76	0,13	1,00										
Ca	-0,19	0,06	0,17	-0,15	-0,03	0,06	0,30	0,17	0,19	0,07	0,48	1,00									
P	-0,33	-0,03	-0,36	-0,43	-0,30	0,05	0,76	0,77	0,90	-0,14	0,68	0,00	1,00								
Ba	0,04	0,42	0,25	-0,07	0,28	0,37	0,37	0,29	0,23	0,55	0,39	0,50	0,01	1,00							
Hg	-0,01	0,48	-0,07	-0,12	0,06	0,09	0,51	0,48	0,36	0,19	0,52	0,25	0,19	0,54	1,00						
Na	0,02	-0,18	0,00	-0,27	-0,03	0,01	-0,09	-0,24	-0,19	0,02	-0,13	0,23	-0,19	0,02	-0,18	1,00					
K	0,19	-0,03	0,39	0,41	0,14	-0,17	-0,75	-0,59	-0,66	0,06	-0,58	0,07	-0,65	0,03	-0,35	0,30	1,00				
Sc	-0,14	-0,40	-0,41	-0,37	-0,20	-0,01	0,26	0,06	0,20	-0,25	0,04	-0,33	0,42	-0,44	-0,33	0,16	-0,47	1,00			
Tl	-0,41	0,11	-0,26	-0,48	-0,30	0,10	0,80	0,87	0,90	-0,08	0,81	0,30	0,81	0,25	0,52	-0,11	-0,57	0,05	1,00		
Hg	-0,01	0,48	-0,07	-0,12	0,06	0,09	0,51	0,48	0,36	0,19	0,52	0,25	0,19	0,54	1,00	-0,18	-0,35	-0,33	0,52	1,00	
Se	0,73	0,72	0,76	0,40	0,67	0,75	0,29	0,08	-0,02	0,76	0,25	0,12	0,06	0,14	0,04	0,02	0,02	-0,12	0,11	0,04	1,00



Şekil 3.3. Topraktaki çeşitli metaller arasındaki ikili değişim diyagramları.



Şekil 3.4. Topraktaki Ag, As, Pb, Sb ve Tl'nin kök ve gövdedeki korelasyonu ilişkileri.

3.2. Bitkide Ag, As ve Pb

Gümüşköy Ag, As, Pb yatağı üzerinde ve çevresinde bir veya çok yıllık otsu bitkiler yetişmektedir. Bu bitkiler, kök sistemlerinin beslendiği topraklarla birlikte toplanmıştır. Daha sonra laboratuarda kök ve gövde olmak üzere çeşitli bölümlere ayrılarak yıkanmış, kurutulmuş, yakılarak kül haline getirilmiş ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları kül esasına göre yapılmış ancak bu analiz sonuçları, daha sonra kül olma miktarı dikkate alınarak kuru madde esasına dönüştürülmüştür. Yöredeki bitki kuru maddesinin kül olma miktarları 300 °C’ de yaklaşık tüm bitkiler için benzerdir ve % 40-42 arasında değişmektedir. Yani 100 gramlık bir kuru maddeden yaklaşık 40-42 gram arasında kül elde edilmiştir. Bu küller daha sonra ICP-MS’de analiz edilmiştir. Ortaya çıkan analiz sonuçları daha sonra bitkilerin kül olma miktarları dikkate alınarak kuru madde esasına dönüştürülmüş ve tüm hesaplama ve yorumlamalar bu esasa göre yapılmıştır. Yörede yaygın olarak gözlenen *Alyssum saxatile* L. (AL) (Kuduz otu), *Anchusa arvensis* L. (AN) (Sığırdili), *Centaurea cyanus* L. (CE) (peygamber çiçeği), *Carduus nutans* (CR) (Eğik başlı kangal), *Cynoglossum officinale* (CY) (Köpek dili), *Glaucium flavum* (GL) (Gelincik), *Isatis* L. (IS) (Çivit otu), *Onosma* sp. (ON) (Emzik), *Phlomis* sp. (PH) (Dağ çayı), *Silene compacta* (SL) (Salkım çiçeği), *Tripleurospermum maritimum* (TR) (Papatya) and *Verbascum thapsus* L. (VR) (Sığırkuyruğu) un Latince ve Türkçe adları ile bu bitkilerin kısa sembolleri yanına yazılmıştır.

3.2.1. Gümüş (Ag)

Çalışma alanından toplanan 12 farklı bitki türünün topraktaki ve bu bitkilerin kök ve gövdelerindeki Ag içeriği belirlenmiş ve bunların topraktan alım kapasiteleri hesaplanmıştır. Dolayısıyla da, bu bitkilerin gümüş için bioakümülatör bir bitki olup olmadığı veya phytoremediation çalışmalarında kullanılıp kullanılamayacağına karar verilmiştir. Bölgedeki bitkilerin kök ve gövdeleri ile topraklarındaki Ag analiz sonuçları tablo halinde ppb olarak verilmiştir (Tablo 3.4, Şekil 3.5). Bu şekil ve tablo üzerinde görüldüğü gibi her bir bitkiye ait örneklerin topraktaki, kökteki ve daldaki Ag için değişim değerleri bulunmaktadır. Buradan da örnekteki gümüş değişimleri hem sayısal hem de grafiksel olarak gösterilmiştir. Ayrıca her bir bitki örneği için bitki kısımlarının topraktaki gümüşü alım derecesini göstermek (ECR) için kökteki gümüşün topraktaki gümüş oranına bölünmesi sonucu elde edilen bir değerdir ve bu değer eğer 1'e eşit veya üzerinde ise bu bitki kökünün topraktaki metali çok iyi akümüle ettiğini göstermektedir (Baker vd. (1994) (Şekil 3.6). Benzer şekilde bitki gövdesindeki metal değeri, topraktaki metal değerine bölünmesi sonucu ise gövde için zenginleşme katsayısı (ECS) hesaplanmaktadır ki bu da gövdenin topraktan sözkonusu metali alım derecesini göstermektedir. Bu değer ECR deki gibi 1 veya ' den büyük olması beklenir. Eğer 1'den büyükse bitki gövdesinin topraktaki metali bünyesine çok iyi oranda aldığını, küçük ise alamadığını göstermektedir. Benzer şekilde bitki kökündeki metallerin gövde ve farklı kısımlarına transfer edilme derecesi ise TLF olarak tanımlanmaktadır ve bu değer de gövdedeki metallerin kökteki metallere bölünmesi ile ortaya çıkmaktadır. TLF değerleri 1 veya daha büyükse söz konusu bitkinin kökteki metalleri gövdeye çok iyi transfer etme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir ki bu da phytoremediation çalışmalarında özellikle de kirlenmiş alanların temizlenmesinde oldukça önemli sayılmaktadır.

Çalışma alanındaki bitkilere ait örneklerin ECR, ECS ve TLF değerleri incelendiğinde; ECR ve ECS'si 1'e eşit veya 1'e yakın değerlere sahip bitkiler GL, SL, AN ve VR'dur (Şekil 3.6). Bu

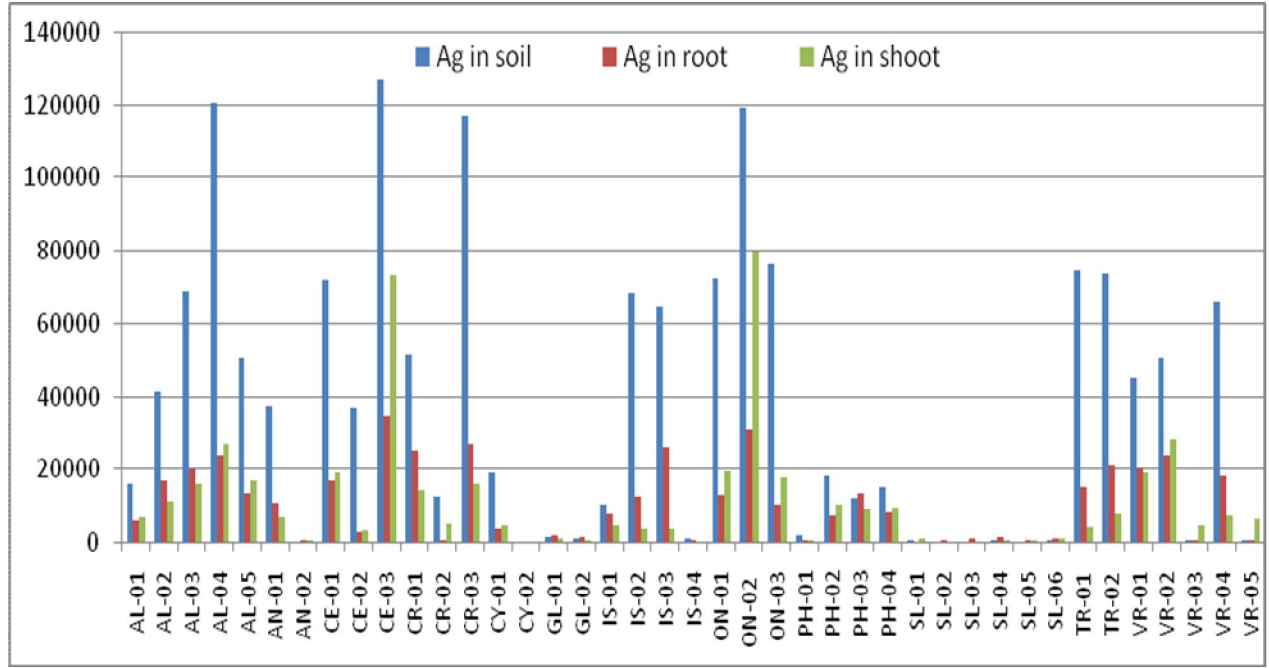
da, *Glacium*, *Silena*, *Anchusa* ve *Verbascum* gümüş için bioakümülatör bir bitki olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, bu bitkiler hem madencilik çalışmalarında gümüş için indikatör bitkiler olarak kabul edilebileceği gibi, hem de gümüşce kirlenmiş toprakların temizlenmesi çalışmalarında bu bitkilerden yararlanılması mümkün olacaktır. Çalışma alanındaki bitkiler translokation faktörleri incelendiğinde ise, çalışılan bu bitkilerin pek çoğunu TLF değerlerinin 1' den çok yüksek olduğunu saptanmıştır (Şekil 3.6). Özellikle CR, VR, SL, ON, CE, PH gibi bitkilerin kökten gövde kısmına gümüşü taşıma veya transfer etme kapasitesinin çok yüksek olduğunu göstermektedir.

Bitki tarafından kök ve gövdesine alınmış gümüş miktarları toksik açıdan değerlendirildiğinde, hemen hemen tüm bitkilerin kök ve gövdesi aşırı derecede gümüş açısından kirlenmiştir. Bu değerleri, Pais ve Jones (2000)' un bitkilerdeki 0.01-0.5 ppm arasındaki gümüş içeriği ile kıyaslandığında, çalışma alanındaki hem toprakların, hem de bitkilerin onlarca bazen de yüzlerce kat daha fazla kirlendiğini göstermiştir. Dolayısıyla, yöre topraklarındaki yoğun kirlilikten yüzey ve yer altı suları da doğal olarak etkilenmekmiş ve kirlenmiştir. Çalışma alanındaki bitkilerin bu kadar yoğun olarak kirlenmiş olması, besin zincirinin halkalarını oluşturan otsu bitkiler dolayısıyla bundan beslenen hayvanlar ve insanlar da bundan yoğun olarak etkilenmiştir.

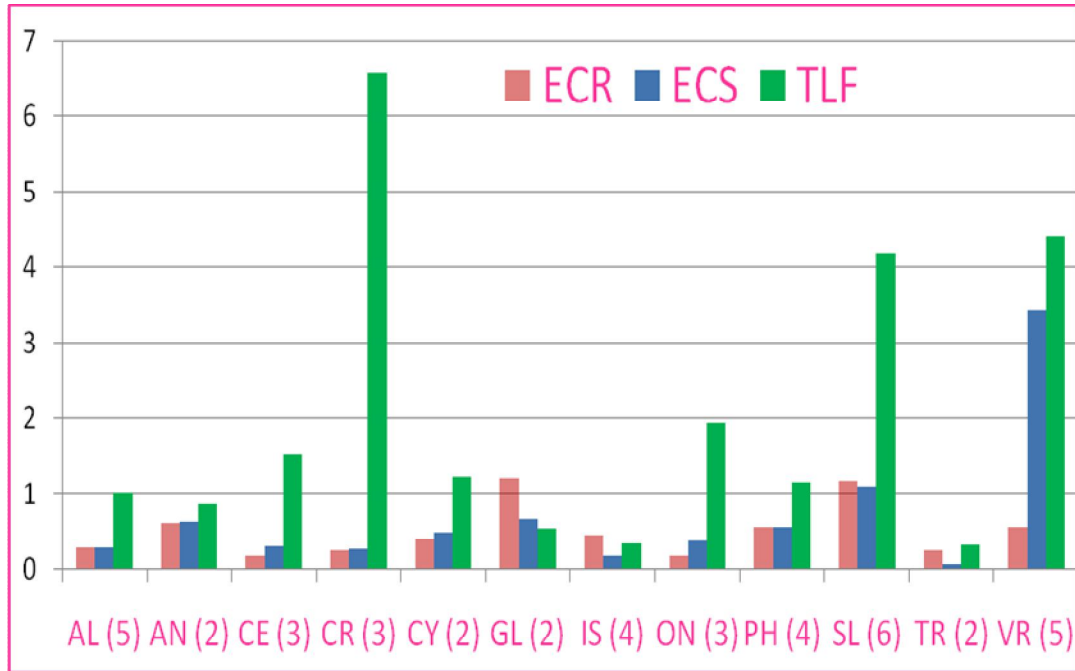
Tablo 3.4. Çalışma alanındaki toprak ve bitkilere ait kök ve gövdedeki gümüş değerleri ile bitkilere ait kök (ECR) ve gövde (ECS) için zenginleşme katsayıları ile transfer katsayıları (TLF).

	<u>Ag toprak</u>	<u>Ag kök</u>	<u>Ag gövde</u>	<u>ECR</u>	<u>ECS</u>	<u>TLF</u>
AL-01	16203	5625	6646	0,35	0,41	1,18
AL-02	41562	16540	11057	0,40	0,27	0,67
AL-03	68803	19603	15832	0,28	0,23	0,81
AL-04	120500	23853	26700	0,20	0,22	1,12
AL-05	50378	12983	16867	0,26	0,33	1,30
$\bar{x}$	59489	15721	15420	0,30	0,29	1,02
AN-01	37674	10640	6779	0,28	0,18	0,64
AN-02	458	434	491	0,95	1,07	1,13
$\bar{x}$	19066	5537	3635	0,62	0,63	0,88
CE-01	71840	16508	19185	0,23	0,27	1,16
CE-02	36919	2522	3298	0,07	0,09	1,31
CE-03	127000	34600	73335	0,27	0,58	2,12
$\bar{x}$	78586	17877	31939	0,19	0,31	1,53
CR-01	51294	24839	14029	0,48	0,27	0,56
CR-02	12611	275	5117	0,02	0,41	18,61
CR-03	117000	26797	16080	0,23	0,14	0,60
$\bar{x}$	60302	17304	11742	0,25	0,27	6,59
CY-01	19068	3548	4405	0,19	0,23	1,24
CY-02	368	229	278	0,62	0,76	1,21
$\bar{x}$	9718	1889	2342	0,40	0,49	1,23
GL-01	1668	1723	919	1,03	0,55	0,53
GL-02	1068	1475	835	1,38	0,78	0,57
$\bar{x}$	1368	1599	877	1,21	0,67	0,55
IS-01	10457	7643	4600	0,73	0,44	0,60
IS-02	68467	12267	3523	0,18	0,05	0,29
IS-03	64697	25890	3668	0,40	0,06	0,14
IS-04	1328	661	224	0,50	0,17	0,34
$\bar{x}$	36237	11615	3004	0,45	0,18	0,34
ON-01	72280	12862	19410	0,18	0,27	1,51
ON-02	119000	30567	79590	0,26	0,67	2,60
ON-03	76185	10231	17484	0,13	0,23	1,71
$\bar{x}$	89155	17887	38828	0,19	0,39	1,94
PH-01	1972	519	646	0,26	0,33	1,24
PH-02	18370	6907	10140	0,38	0,55	1,47
PH-03	12030	13078	9098	1,09	0,76	0,70
PH-04	15332	7775	9473	0,51	0,62	1,22
$\bar{x}$	11926	7070	7339	0,56	0,56	1,16
SL-01	717	54	1129	0,08	1,57	20,91
SL-02	455	648	235	1,42	0,52	0,36
SL-03	425	775	357	1,82	0,84	0,46
SL-04	634	1230	774	1,94	1,22	0,63
SL-05	485	393	643	0,81	1,33	1,64
SL-06	778	825	916	1,06	1,18	1,11
$\bar{x}$	582	654	676	1,19	1,11	4,18

TR-01	74354	15048	4165	0,20	0,06	0,28
TR-02	73575	21191	7614	0,29	0,10	0,36
$\bar{x}$	73965	18120	5890	0,25	0,08	0,32
VR-01	45141	19983	18944	0,44	0,42	0,95
VR-02	50592	23685	28289	0,47	0,56	1,19
VR-03	805	477	4594	0,59	5,71	9,63
VR-04	65884	18119	7048	0,28	0,11	0,39
VR-05	616	648	6414	1,05	10,41	9,90
$\bar{x}$	38257	10557	11202	0,57	3,44	4,41



Şekil 3.5. Çalışma alanındaki bitkilere ait toprak, bitki kökü ve gövdesine ait gümüş analiz sonuçlarının histogram olarak gösterilmesi (tüm değerler ppb'dir)



Şekil 3.6. Çalışma alanındaki bitki kök (ECR) ve gövdesinde (ECS) Ag için zenginleşme katsayıları ile translokasyon faktörleri (TLF).

3.2.2. Arsenik (As)

Çalışma alanındaki 12 farklı bitki türünün toprakları ile bitki kök ve gövdelerinde de As dağılımları incelenmiş ve bu bitkilerin ne oranda topraki As'i bünyelerine aldığı saptanmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu bitkilerin As için bioakümülatör bitki olup olmayacağına veya phytoremediation çalışmalarında kullanılıp kullanılamayacağına karar verilmiştir. Bölgedeki bitkilerin kök ve gövdeleri ile topraklarındaki As analiz sonuçları tablo halinde ppm olarak verilmiştir (Tablo 3.5, Şekil 3.7). Bu şekil ve tablo üzerinde görüldüğü gibi her bir bitkiye ait örneklerin topraktaki, kökteki ve daldaki As için değişim değerleri bulunmaktadır. Buradan da her örnekteki As değişimleri hem sayısal hem de grafiksel olarak gösterilmiştir. Böylece bir örneğe ait topraktaki As değerleri ile bitki kökü ve bitki gövdesi tarafından topraktan alınmış As değerlerinin kıyaslanması da yapılmıştır. Ayrıca her bir bitki örneği için, bitki kısımlarının topraktaki As'i alım derecesini göstermek (kök için zenginleşme katsayısı-ECR) için kökteki As'in topraktaki As oranına bölünmesi sonucu elde edilen bir değerdir. Bu değer 1'e yakın olup olmadığı kontrol edilmiştir (Şekil 3.6). Benzer şekilde gövde için zenginleşme katsayısı (ECS) ve bitki kökündeki metallerin gövdenin farklı kısımlarına transfer edilebilme yeteneğini gösteren TLF değerleri de hesaplanmıştır.

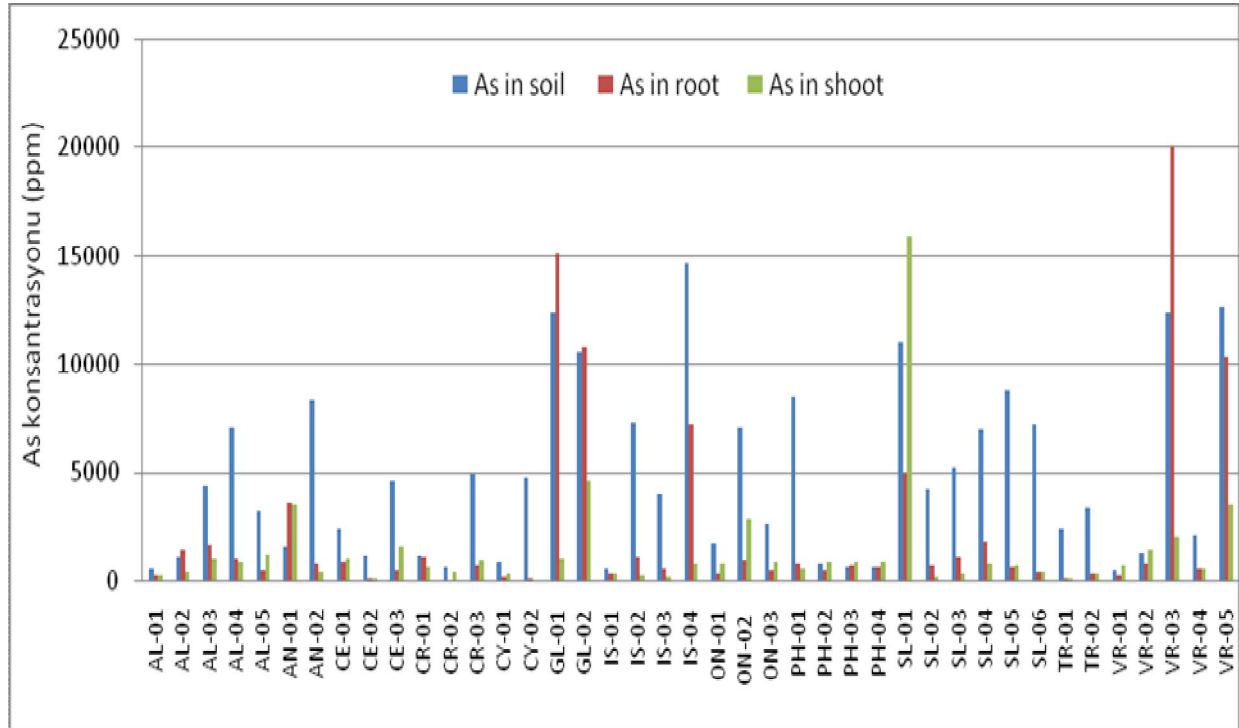
Çalışma alanındaki bitkilere ait örneklerin ECR, ECS ve TLF değerleri incelendiğinde; ECR ve ECS'si 1'e eşit veya 1'e yakın değerlere sahip bitkiler AN, PH, VR, GL 'dur (Şekil 3.8). Bu da, *Anchusa*, *Phlomis*, *Verbascum* ve *Glacium* As için bioakümülatör bir bitki olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, bu bitkiler hem madencilik çalışmalarında As için indikatör bitkiler olarak kabul edilebileceği gibi, hem de As'ce kirlenmiş toprakların temizlenmesi çalışmalarında bu bitkilerden yararlanılması mümkün olacaktır. Çalışma alanındaki bitkilerin translokasyon faktörleri incelendiğinde; çalışılan bu bitkilerin pek çoğunun TLF değerlerinin 1' den çok yüksek olduğunu saptanmıştır (Şekil 3.8). Özellikle CR, ON, CE, PH, VR gibi bitkilerin kökten gövde kısmına As'i taşıma veya transfer etme kapasitesinin çok yüksek olduğu görülmektedir.

Bitki tarafından kök ve gövdesine alınmış As miktarları toksik açıdan değerlendirildiğinde, hemen hemen tüm bitkilerin kök ve gövdesi aşırı derecede As açısından kirlenmiştir. Bu değerleri, Pais ve Jones (2000)' un bitkilerdeki 0.009-1.7 mg/kg (5-10 mg/kg olduğunda toksik) değerleri ile kıyaslandığında, çalışma alanındaki hem toprakların, hem de bitkilerin yüzlerce bazen de binlerce kat daha fazla As tarafından kirlendiğini göstermiştir. Dolayısıyla, yöre topraklarındaki yoğun kirlilikten yüzey ve yer altı suları da doğal olarak etkilenmiş ve kirlenmiştir. Bu sonucu hem maden sahasının çevresinden hem de Şahin köyü çevresindeki kaynaklar ve dere sularında açıkça görmek mümkündür. Çalışma alanındaki bitkilerin bu kadar yoğun olarak kirlenmiş olması, besin zincirinin halkalarını oluşturan otsu bitkiler dolayısıyla bundan beslenen hayvanlar ve insanlar da bundan yoğun olarak etkilenmiş olmalıdır.

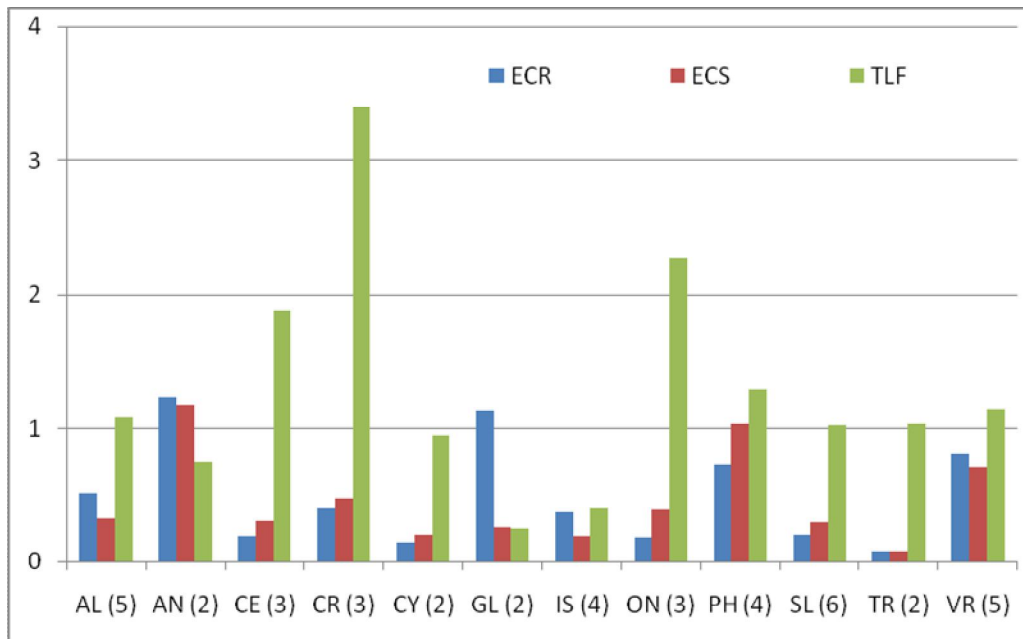
Tablo 3.5. Çalışma alanındaki toprak ve bitkilere ait kök ve gövdedeki As eğerleri ile bitkilere ait ECR, ECS ve TLF değerleri.

	<u>Toprakta As</u>	<u>Kökte As</u>	<u>Gövde As</u>	<u>ECR</u>	<u>ECS</u>	<u>TLF</u>
AL-01	544	287	300	0,53	0,55	1,05
AL-02	1073	1487	400	1,39	0,37	0,27
AL-03	4356	1696	1014	0,39	0,23	0,60
AL-04	7052	998	896	0,14	0,13	0,90
AL-05	3199	470	1220	0,15	0,38	2,60
$\bar{x}$	3245	988	766	0,52	0,33	1,08
AN-01	1541	3634	3553	2,36	2,31	0,98
AN-02	8306	783	405	0,09	0,05	0,52
$\bar{x}$	4923	2208	1979	1,23	1,18	0,75
CE-01	2387	858	1025	0,36	0,43	1,20
CE-02	1093	122	149	0,11	0,14	1,22
CE-03	4622	505	1633	0,11	0,35	3,24
$\bar{x}$	2700	495	936	0,19	0,31	1,88
CR-01	1107	1077	612	0,97	0,55	0,57
CR-02	629	52	433	0,08	0,69	8,33
CR-03	4929	749	967	0,15	0,20	1,29
$\bar{x}$	2222	626	671	0,40	0,48	3,40
CY-01	843	209	338	0,25	0,40	1,62
CY-02	4798	147	42	0,03	0,01	0,28
$\bar{x}$	2821	178	190	0,14	0,20	0,95

GL-01	12325	15100	980	1,23	0,08	0,06
GL-02	10542	10822	4615	1,03	0,44	0,43
$\bar{x}$	11434	12961	2798	1,13	0,26	0,25
IS-01	543	378	345	0,70	0,63	0,91
IS-02	7263	1124	263	0,15	0,04	0,23
IS-03	4048	555	192	0,14	0,05	0,34
IS-04	14662	7277	801	0,50	0,05	0,11
$\bar{x}$	6629	2334	400	0,37	0,19	0,40
ON-01	1732	375	764	0,22	0,44	2,04
ON-02	7052	956	2895	0,14	0,41	3,03
ON-03	2594	477	829	0,18	0,32	1,74
$\bar{x}$	3793	603	1496	0,18	0,39	2,27
PH-01	8492	808	578	0,10	0,07	0,72
PH-02	729	486	855	0,67	1,17	1,76
PH-03	609	710	896	1,16	1,47	1,26
PH-04	630	631	889	1,00	1,41	1,41
$\bar{x}$	2615	659	805	0,73	1,03	1,29
SL-01	11028	5015	15942	0,45	1,45	3,18
SL-02	4223	704	167	0,17	0,04	0,24
SL-03	5207	1102	317	0,21	0,06	0,29
SL-04	6995	1808	775	0,26	0,11	0,43
SL-05	8757	678	712	0,08	0,08	1,05
SL-06	7202	424	405	0,06	0,06	0,95
$\bar{x}$	7235	1622	3053	0,20	0,30	1,02
TR-01	2410	136	143	0,06	0,06	1,05
TR-02	3349	323	327	0,10	0,10	1,01
$\bar{x}$	2880	230	235	0,08	0,08	1,03
VR-01	411	276	695	0,67	1,69	2,52
VR-02	1265	805	1451	0,64	1,15	1,80
VR-03	12330	20100	2045	1,63	0,17	0,10
VR-04	2058	568	540	0,28	0,26	0,95
$\bar{x}$	4016	5437	1183	0,80	0,82	1,34



Şekil 3.7. Çalışma alanındaki bitkilere ait toprak, bitki kökü ve gövdesine ait As analiz sonuçlarının histogram olarak gösterilmesi (tüm değerler ppm'dir)



Şekil 3.8. Çalışma alanındaki bitki kök (ECR) ve gövdesinde (ECS) As için zenginleşme katsayıları ile translokasyon faktörleri (TLF)

3.2.3. Kurşun (Pb)

Çalışma alanındaki 12 farklı bitki türünün toprakları ile bitki kök ve gövdelerinde tıpkı Ag ve As metallerinde olduğu gibi Pb açısından da dağılımları incelenmiş ve bu bitkilerin ne oranda topraki Pb'i bünyelerine aldığı saptanmaya çalışılmıştır. Diğer metallerdeki gibi Pb açısından değerlendirilmiş ve bu bitkilerin Pb için bioakümülator bitki olup olmayacağına veya phytoremediation çalışmalarında kullanılıp kullanılamayacağına karar verilmiştir. Bölgedeki bitkilerin kök ve gövdeleri ile topraklarındaki Pb analiz sonuçları tablo halinde ppm olarak verilmiştir (Tablo 3.6, Şekil 3.9). Bu şekil ve tablo üzerinde görüldüğü gibi her bir bitkiye ait örneklerin topraktaki, kökteki ve daldaki Pb için değişim değerleri ile her bir bitkinin ortalama değerleri bulunmaktadır. Buradan da her örnekteki Pb değişimleri hem sayısal hem de grafiksel olarak gösterilmiştir. Böylece bir örneğe ait topraktaki Pb değerleri ile bitki kökü ve bitki gövdesi tarafından topraktan alınmış Pb değerlerinin kıyaslanmıştır. Ayrıca her bir bitki örneği için, bitki kökünün topraktaki Pb alım derecesini göstermek için ECR, gövde için zenginleşme katsayısı ECS ile bitki kökündeki metallerin gövdenin farklı kısımlarına transfer edilebilme yeteneğini gösteren TLF değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır (Şekil 3.10). Çalışma alanındaki bitkilere ait örneklerin ECR, ECS ve TLF değerleri incelendiğinde; ECR'nin tüm bitkiler içinde sadece CR bitkisinde ortalama değer 1'in üzerinde çıkmıştır. Bu da üç örnekten sadece bir örnekte topraktan yüksek oranda Pb alımı gerçekleşmiştir, diğer iki örneğin ECR'leri de oldukça düşüktür. Dolayısıyla, çalışma alanındaki tüm ECR'ler dikkate alındığında çok önemli oranda toprağa göre zenginleşmenin olmadığı görülmektedir (Tablo 3.6, Şekil 3.9 ve 3.10). Bölgedeki bitkilerin ECS'lerine bakıldığında *Phlomis*'in ECS'si 0.68 gibi bir değer sunmaktadır. Onun dışındaki tüm değerler 0.50'den daha düşük değerlere sahiptir. Bu açıdan düşünüldüğünde çalışma alanındaki tüm bitkilerin gövdeleri topraktaki Pb değerine göre daha az oranda Pb alabildiğini göstermiştir (Şekil 3.9). Ancak bölgedeki bitkiler aslında topraktaki Pb'ye göre daha az oranda almış olmakla birlikte, özellikle *Onosma* gibi bazı bitkiler bünyesine 9328 ppm gibi yüksek oranda Pb

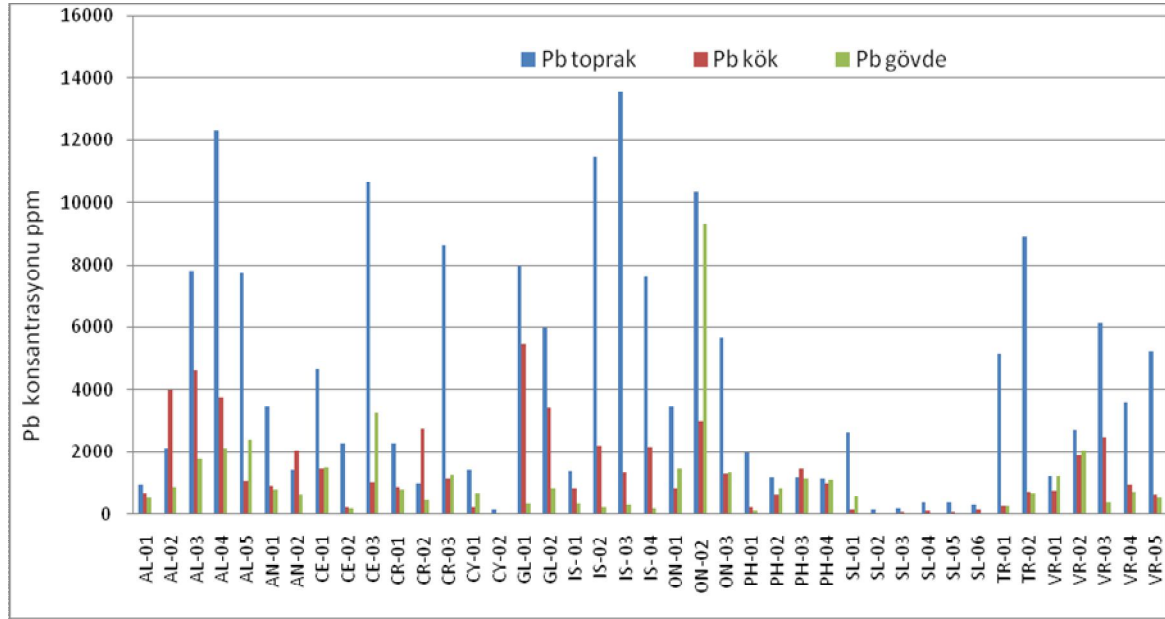
alabilmiştir. Benzer şekilde *Glacium*'un iki örneğinin kökündeki ortalama Pb değerleri 4415 ppm gibi oldukça yüksek bir değere sahiptir (Tablo 3.6). Çalışma alanındaki bitkilerin translokasyon faktörleri incelendiğinde; çalışılan bu bitkilerin pek çoğunun TLF değerlerinin 1' den çok yüksek olduğunu saptanmıştır (Şekil 3.10). Özellikle CE, CY, ON, SL ve TR gibi bitkilerin kökten gövde kısmına Pb'yi taşıma veya transfer etme yeteneğinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Bitki kök ve gövdesine alınmış Pb miktarları toksik açıdan değerlendirildiğinde, hemen hemen tüm bitkilerin kök ve gövdesi aşırı derecede Pb açısından kirlenmiştir. Çalışma alanındaki bitkilerin kök ve gövde kısımlarının içermiş olduğu ortalama değerleri (kök için: 1342 ppm, gövde için: 995 ppm) ile Pais ve Jones (2000)' un bitkilerdeki ortalama değeri (1.0 mg/kg) ile kıyaslandığında, çalışma alanı bitkilerinin yüksek oranda kirlendiği açıkça görülmektedir.

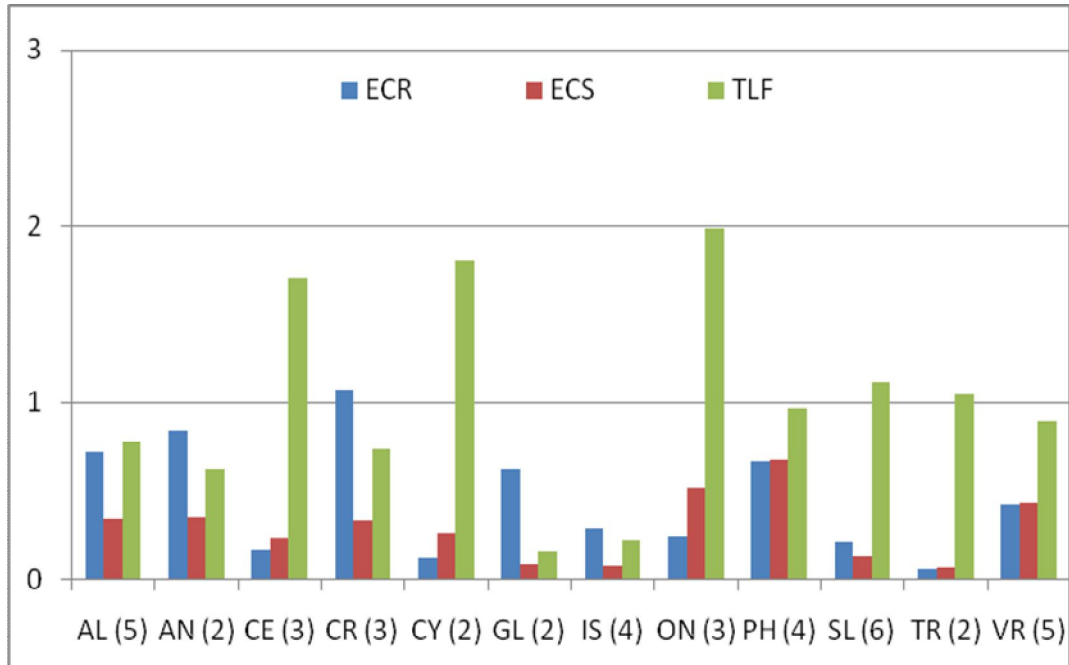
Tablo 3.6. Çalışma alanındaki toprak ve bitkilere ait kök ve gövdedeki Pb değerleri ile bitkilere ait ECR, ECS ve TLF değerleri.

	Pb toprak	Pb kök	Pb gövde	ECR	ECS	TLF
AL-01	955	682	531	0,71	0,56	0,78
AL-02	2126	3971	885	1,87	0,42	0,22
AL-03	7819	4586	1792	0,59	0,23	0,39
AL-04	12322	3740	2121	0,30	0,17	0,57
AL-05	7745	1058	2400	0,14	0,31	2,27
$\bar{x}$	6193	2808	1546	0,72	0,34	0,85
AN-01	3455	905	826	0,26	0,24	0,91
AN-02	1442	2041	666	1,41	0,46	0,33
$\bar{x}$	2449	1473	746	0,84	0,35	0,62
CE-01	4656	1446	1500	0,31	0,32	1,04
CE-02	2277	200	181	0,09	0,08	0,91
CE-03	10653	1029	3273	0,10	0,31	3,18
$\bar{x}$	5862	892	1652	0,17	0,24	1,71
CR-01	2278	877	833	0,38	0,37	0,95
CR-02	1022	2749	481	2,69	0,47	0,17
CR-03	8652	1149	1267	0,13	0,15	1,10
$\bar{x}$	3984	1591	860	1,07	0,33	0,74
CY-01	1449	220	693	0,15	0,48	3,15
CY-02	173	15	7	0,09	0,04	0,46
$\bar{x}$	811	118	350	0,12	0,26	1,80

GL-01	7986	5451	361	0,68	0,05	0,07
GL-02	5982	3380	856	0,56	0,14	0,25
$\bar{x}$	6984	4415	609	0,62	0,09	0,16
IS- 01	1413	823	359	0,58	0,25	0,44
IS-02	11469	2192	251	0,19	0,02	0,11
IS- 03	13556	1350	302	0,10	0,02	0,22
IS- 04	7634	2147	204	0,28	0,03	0,09
$\bar{x}$	8518	1628	279	0,29	0,08	0,22
ON-01	3442	826	1478	0,24	0,43	1,79
ON-02	10353	2979	9328	0,29	0,90	3,13
ON-03	5656	1284	1364	0,23	0,24	1,06
$\bar{x}$	6483	1696	4057	0,25	0,52	1,99
PH-01	1972	201	107	0,10	0,05	0,53
PH-02	1186	628	872	0,53	0,74	1,39
PH-03	1193	1440	1151	1,21	0,97	0,80
PH-04	1179	967	1118	0,82	0,95	1,16
$\bar{x}$	1382	809	812	0,67	0,68	0,97
SL-01	2653	140	599	0,05	0,23	4,28
SL-02	168	34	10	0,20	0,06	0,29
SL-03	181	41	11	0,23	0,06	0,27
SL-04	369	101	42	0,27	0,11	0,42
SL-05	400	43	39	0,11	0,10	0,93
SL-06	322	122	63	0,38	0,20	0,52
$\bar{x}$	682	80	127	0,21	0,13	1,12
TR-01	5166	242	269	0,05	0,05	1,11
TR-02	8921	715	711	0,08	0,08	0,99
$\bar{x}$	7044	479	490	0,06	0,07	1,05
VR-01	1237	751	1235	0,61	1,00	1,65
VR-02	2715	1888	2056	0,70	0,76	1,09
VR-03	6124	2471	411	0,40	0,07	0,17
VR-04	3601	956	735	0,27	0,20	0,77
VR-05	5213	643	537	0,12	0,10	0,84
$\bar{x}$	3778	1342	995	0,42	0,43	0,90



Şekil 3.9. Çalışma alanındaki bitkilere ait toprak, bitki kökü ve gövdesine ait Pb analiz sonuçlarının histogram olarak gösterilmesi (tüm değerler ppm'dir).



Şekil 3.10. Çalışma alanındaki bitki kök (ECR) ve gövdesinde (ECS) Pb için zenginleşme katsayıları ile translokasyon faktörleri (TLF).

4. SONUÇLAR

“Gümüşköy (Kütahya) Ag yatağı çevresindeki toprak ve bitkilerde As, Ag ve Pb düzeyleri ve bunların olası çevresel etkilerinin belirlenmesi” konulu proje çalışmasından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Gümüşköy (Kütahya) Ag yatağı uzun yıllardan beri bilinen ve tarihi devirler boyunca üzerinde madencilik çalışmaları yapılan Türkiye’nin en büyük gümüş yatağıdır. Yöredeki madencilik çalışmalarına ait odun kömürleri üzerinde yapılan izotop çalışmaları sonucunda söz yatağın M.Ö. 1500-2000 yıllarından beri madencilik çalışmalarının yapıldığını göstermektedir. Dolayısıyla yöre eski yıllara dayanan madencilik çalışmaları sonucunda bölge yoğun olarak kirlenmiş ve kirletilmiştir. Bu kirlenmeden daha çok yöre toprakları etkilenmiştir. Ancak topraktaki bu kirlenme, daha sonra zincirleme şeklinde yüzey ve yer altı suyunun kirlenmesine, bölgede yetişen bitkilerin topraktaki toksik ağır metalleri bünyesine alması sonucunda da bu bitkilerden beslenen insan ve hayvanlar gibi tüm canlılar bundan doğal olarak etkilenmektedir. Böyle yataklar üzerinde ve çevresinde iyileştirme çalışmaları yapılmalı, fazla kirlenmiş alanlarda tarım ve ziraat yapılmamalı, bölgeden kaynaklanan yüzey ve yer altı suları içme ve sulama amaçlı kullanılmamalıdır. Bu alandan beslenen suların yapılacak küçük göletler aracılığıyla sözkonusu ağır metallerin çöktürülmesi sağlanmalıdır. Bu sayede bölgeden kaynaklanan kirliliğin, aşağı havzalardaki alanları kirletmesi önlenmelidir. Rehabilitasyon işlemleri özellikle hem görsel, hem de ağır metallerce kirlenmiş alanları, özellikle İngiltere’de eski kömür ve metalik maden işletmelerinde yapıldığı gibi, uygun teraslama yöntemi ile ağaçlandırılmalı ve yeşil kuşak haline dönüştürülmelidir. Bu şekilde çevreye ve bölgede yaşayan tüm canlılara en az zarar verebilecek konuma getirilmelidir. Yeşil alana dönüştürülmesi sırasında bölgedeki toksik elementleri temizleyebilecek özelliklere sahip, bioakümülator bitkilerin seçilmesine dikkat edilmelidir. Böylece kısa zamanda olmasa bile uzun dönemde

bölgedeki kirliliğin temizlenmesi veya minimize edilmesi amaçlanmalıdır. Böyle işlemler, modern ülkelerde maden üretimi ile başlamakta, yatak tükendiğinde iyileştirme çalışmaları da tamamlanmış olmaktadır. Ülkemizde bu tür çalışmalara gün geçmeden başlanmalıdır.

- 2- Bölgede temeli, Karbonifer-Permiyen yaşlı düşük dereceli metamorfizma geçirmiş metakırıntılılardan oluşan Şahin formasyonu oluşturmaktadır. Permo-Triyas yaşlı mermerlerle temsil edilen Karaağaç formasyonu, Şahin formasyonu üzerine uyumlu olarak örtmektedir. Enne melanji diğer birimlerin üzerinde tektonik olarak itilmiş şekilde durmaktadır ve yerleşim yaşı Üst Kretase'dir. Miyosen yaşlı riyoitik ve riyoitasitik bileşimli tuf, tufit ve aglomeralarla temsil edilen Tavşanlı volkanitleri Senozoyik öncesi temel üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Alt Pliyosen yaşlı tuf, karbonat ve kil bileşimli kayalardan, kumtası, konglomera ve tüflerin aralanmasından oluşan Çokköy Formasyonu ise açık yeşil rengiyle diğer birimlerden kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Çokköy formasyonu üzerine uyumlu olarak Üst Pliyosen yaşlı killi kireçtası, kireçtası ve dolomitik kireçtaslarından oluşan Emet formasyonu gelmektedir. Geç Pliyosen-Kuvaterner döneminde gelişen bazik volkanizma ürünü olan Taşlıtepe volkanitleri yöredeki bütün birimleri keserek yüzeylemektedir. Kuvaterner döneminde gelişen az tutturulmuş kırıntılı kayalardan oluşan Bozyer formasyonu ise bölgedeki bütün birimleri uyumsuz olarak örtmektedirler. Gümüşköy Ag, Pb, Sb, As yatakları çok eski yıllardan beri bilinen üzerinde değişik zaman aralıklarında pek çok madencilik çalışmasının yapıldığı Türkiye'nin tek gümüş yatağıdır. Gümüşköy yatakları Gümüşköy, Şahin ve Dulkadir köyleri arasında bulunan alanda yayılım sunmaktadır. 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. Bu kadar geniş alanda cevherleşmeleri görülmekle birlikte, en yoğun cevherleşmeler Aktepe çevresinde görülmektedir ve cevher işletmesinin önemli bir kısmı da bu alandan

yapılmaktadır. Yatakta yaygın cevher mineralleri olarak pirit, realgar, orpiment, antimuanit, galenit, barit, sfalerit, Fe ve Mn oksitler, arjantit, frayberjit ve pirarjirit, gang mineralleri olarak ise genellikle kuvars ve kalsit yer almaktadır. Bu cevherleşmeler iki evrede gelişmiştir. Birinci evrede yüksek sıcaklıklı hidrotermal çözeltiler, ana fay sistemi boyunca yükselerek tüflerin silisleşmesini ve içerisinde başta Ag gibi değişik metallerin yoğunlaştığı damarların oluşmasına neden olmuştur. İkinci evrede ise epitermal zenginleşmeler gerçekleşmiştir. Bu zenginleşmeler ilk evre cevherleşmelerden çok sonra oluşmuştur. Ayrıca tarihi devirlerde bölgede yapılan madencilik faaliyetlerinden arda kalan eski imalat pasaları da yüksek tenörlü gümüş içermektedir ve bu kesimler de ekonomik olarak değerlendirilmektedir.

- 3- Gümüşköy yatağı çevresindeki topraklar genellikle Tavşanlı volkanitlerine ait asidik tüflerin alterasyonu ve Şahin formasyonuna ait şistlerin ayrışması sonucu oluşan topraklardır. Bölgedeki topraklar Tarım Bakanlığı toprak sınıflamasına göre kahverengi orman toprağı olarak adlandırılmış, yüksek eğimli, taşlık, tarıma elverişli olmayan ve yüksek erozyon özelliğine sahip topraklar olarak tanımlanmıştır. Bu topraklar yüzeyden derinlere doğru düşey zonlanma göstermektedir ve en üstte 30-40 cm. kalınlığında organik maddece zengin toprak, onun hemen altından 30-50 cm. kalınlığında koyu kahverengi-siyah renkli ve organik hammaddece fakir toprak, en altta ise kalınlığı çok değişken kırmızımsı renklerde, kil ve kum miktarı fazla ve içerisinde kayaç parçası bulunduran ayrışmış topraklardır. Çalışma alanından alınan toprakların Ag, As ve Pb metal içerikleri saptanmıştır ve bu metaller ortalama olarak Ag 37780 ppb, As 4771 ppm ve Pb 4320 ppm'dir. Çalışma alanındaki metallerin korelasyon ilişkileri incelenmiştir. Bu ilişkilere dayanarak çalışma alanında gözlenen pek çok metal genelde iki tür korelasyon ilişkisi sunmuştur. İlk grup metaller Cu, Pb, Zn, Cd, Ag, Mn, Fe ve Se' dir ve bu metaller kendi aralarında yüksek korelasyonlar göstermektedir. İkinci grup metaller ise As, Sb, U, Sr, Hg,

P ve Tl'dan oluşmaktadır ve bu grup metaller de kendi aralarında yüksek pozitif korelasyon ilişkileri göstermektedir. Birinci ve ikinci grup metaller ise birbiri ile yüksek negatif korelasyon ilişkileri sunmaktadır. Bölgedeki birinci grup ağır metaller ile K, P, Sc, Sr, Ca ve U gibi elementlerle de zayıf negatif korelasyonlar sunmaktadır. Bu da göstermektedir ki çalışma alanındaki I. ve II. Grup metallerin hemen hepsi aynı kaynaktan türemekle birlikte, farklı zamanda gelişmiş belki de farklı cevherli fazların ürünü olduğunu ve bölgeye bu şekilde taşındığını göstermektedir. Benzer şekilde bölgedeki cevherleşmelerde magmatik sürecin son fazında yoğunlaştığı bilinen Sr ve Ba gibi metallerin, ikinci grup metallerle pozitif korelasyonlar göstermesi ve cevher getiren çözeltilerin Sr'ca da zengin olması, bu çözeltilerin magmatik son faz ürünü çözeltilerle gelişmiş olabileceğini savını desteklemektedir. Çalışma alanındaki Ag, As ve Pb için topraklar ile bitki kök ve dalları arasındaki korelasyonlara bakıldığında; topraktaki metal miktarı arttıkça, bitki kökü ve dalındaki metal miktarı da oransal olarak arttığı görülmektedir.

- 4- Yörede yetişmiş bir veya çok yıllık bitkilerden çok sayıda örnekler alınarak bunların toprakları, kök, dallarının kimyasal analizleri ICP-MS'de yapılmış ve Ag, As ve Pb içerikleri saptanmıştır. Buna göre söz konusu bitkilerin farklı bölümlerinin Ag, As ve Pb içerikleri, ECR ve ECS (topraktan gövde ve dala metal taşıma oranları) ile TLF (kökten gövde ve dallara metalleri taşıma oranları) oranları her bitki için ayrı ayrı incelenmiştir. İncelenen bitkiler içerisinde Ag açısından ECR ve ECS'si önemli olan bitkiler VR, SL, GL ve AN'dir. Bu bitkilerin kök ve dallarına topraktan önemli oranda gümüş alımı gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde gümüş için bitkilerin TLF değerleri incelendiğinde, bitki kökünden dallara olan gümüş transfer etme yetenekleri yüksek olan bitkiler ise CR, VR, SL, ON, CE ve PH'dir. Bu bitkilerin As açısından irdelendiğinde ise ECR ve ECS değerleri bakımından AN, PH, VR ve GL' un topraktan önemli oranda bitki kök ve

dallarına As alımı yapıldığını göstermektedir. Bu bitkilerde kökten dallara As taşınımı ise CR, ON, CE, PH ve VR gibi bitkilerde önemli oranda etkili olmuştur. Pb için ise CR, AN, AL ve PH bitkileri önemli oranda topraktan bitkilerin kök ve dallarına Pb alımı yaparken, ON, CE, CY, SL ve TR bitkileri ise kökten dala Pb'i önemli oranda transfer etme yeteneğine sahiptir.

5- Çalışma alanında gerçekleştirilen hem topraktaki hem de bitkilerdeki kimyasal analiz sonuçları bölgedeki kirlenmenin boyutlarının çok yüksek olduğunu göstermektedir. Özellikle de bölgeden toplanmış tüm bu bitkiler, topraktaki Ag, As ve Pb gibi yüksek orandaki toksik metalleri bünyelerine almışlardır. Bu bitkilerden dolaylı veya direk olarak beslenen, başta bölgedeki hayvanlar ve insanlar olmak üzere olumsuz yönde etkilenmektedirler. Ag, As ve Pb gibi metaller, son yıllarda WHO, EU ve USEPA gibi örgütler tarafından hazırlanan standartlarda en toksik ve istenmeyen elementler sınıfına dahil edilmiştir. Bu örgütler, 1990 yıllar ait standartlarda, toprak, su ve bitkilerdeki yukarıdaki ağır metallerin seviyesini birkaç ppb mertebesine kadar indirmiştir. Bu örgütlere göre, buradaki kirlenmenin boyutlarında hedeflenen rakam kesinlikle sıfıra yakın değerler olmalıdır.

6- Çalışma alanındaki topraklardaki Ag, As ve Pb'nun ortalama seviyeleri (27975 ppb, 4561 ppm, 4153 ppm), kirlenmemiş bölgelerdeki topraklarla kıyaslandığında, en az 100 çoğu zaman da binlerce kez daha fazla kirlendiği görülmüştür. Bölgedeki toprakların bu denli yoğun olarak kirlenmesi, bölgeden beslenen yüzey suları ve kaynakların da yoğun olarak kirlenmesine neden olmaktadır. Bölgede en yoğun kirlenmenin olduğu bölgeler başlıca Aktepe, Kayabaşı T. Gözeçukur bölgesi, Koca T. Şahin köyü ve çevresi, Koca dere ve Şahin deresi bölgesidir. Bu bölgelerdeki topraklar, bitkiler dolayısıyla da buradan beslenen su kaynakları yoğun olarak kirlenmiştir. Bu çalışma kısıtlı olanaklarla ve yaklaşık bir yıl içerisinde bitirilmiş bir çalışmadır. Bu çalışmanın çıktılarının çevre sağlığı açısından

oldukça önemli olduğunu düşünülmektedir. Yörede özellikle yoğun kirlenmiş alanlar koruma altına alınmalı, bu bölgelere insan ve hayvanların girmeleri engellenmelidir. Zira bu bölgeler yoğun otlak alanlar olarak bölge insanı tarafından hayvanların otlatılması için kullanılmaktadır. Dolayısıyla ağır metallerce kirlenmiş alanlarda yetişen otlar bu hayvanlar tarafından bünyelerine alınmaktadır. Daha sonra ise bu süt ve et ürünleri bölge insanı tarafından tüketilmekte ve dolayısıyla yöre insanı çevresel açıdan önemli riskler karşısına kalmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Akdeniz, N. ve Konak, N., 1979, Simav - Emet - Tavsanlı - Dursunbey – Demirci yörelerinin jeolojisi; Maden Tetkik ve Arama Enst. Derl. Rap., 6547, 168 s.
- Akyol, Z., 1975, Tavsanlı – Dudas civarının barit zuhurları hakkında düşünceler, Maden Tetkik ve Arama Enst. Derg., 85, 161 – 172.
- Alpergun, G. T., 1996, Etibank 100. Yıl Gümüş Madeni _sletmeleri’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.
- Arık, 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.
- Arık, 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.
- Arık, 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.
- Arık, 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, Genisletilmiş Bildiri Özleri Kitabı, 08- 12 Mart 2006, 261-262.
- Arık, F., Yıldız, T., Nalbantçılar, M.T., Arslan, Ş., 2009. Köprüören, Çobanköy ve Köreken (Kütahya) Arasındaki Bölgede Metalik Maden Yataklarına Bağlı Ağır Metal Kirliliği

- 1.Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, 30 Ekim–1 Kasım 2009, Ürgüp Bld., Kültür Merkezi, Ürgüp/ Nevşehir, 110-126.
- Arık, F., Yıldız, T., 2010. Heavy Metal Determination and Pollution of the Soil and Plants of Southeast Tavşanlı (Kütahya, Turkey). Clean – Soil, Air, Water 38 (11), 1017–1030.
- Baker, A.J.M., Reeves, R.D., Hajar, A.S.M., 1994. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens*. New Phytologist 127, 61–68.
- Bas, H., 1983, Domaniç–Tavşanlı–Kütahya – Gediz Yöresinin Tersiyer jeolojisi ve volkanitlerin petrolojisi; Maden Tetkik ve Arama Enst. Derl. Rap., 7293, 72 s.
- Baş, H., 1987, Tavşanlı – Domaniç volkanitlerinin özellikleri ve Batı Anadolu Tersiyer volkanizmasındaki önemi, TJK Bülteni, 30/2,67- 81.
- Çepel, N., 1997. “Toprak Kirliliği, Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar”. TEMA Vakfı Yayınları, Yayın No.14, İstanbul.
- DPT, 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu: Metal madenler alt komisyonu değerli metaller Çalışma grubu raporu. Ankara 34 s.
- Ercan, T., 1982, Batı Anadolu’nun genç tektoniği ve volkanizması; TMMOB Türkiye Jeol. Kurl. Bült., Batı Anadolu’nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli (Ed: O. Erol ve V. Oygür), Maden Tetkik ve Arama Enst. Gen. Müd.), 5 - 14.
- Ercan, T., Türkecan, A., ve G.nay, E., 1982. Bodrum yarımadasının jeolojisi. MTA Enstit.s. Dergisi, 97/98, 21-32.
- 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.
- Erdman, J.A. 1984. Workshop 2: Biogeochemistry in mineral Exploration. *Journal of Geochem. Explor.* 21, 123-128.
- Erdogan, E., 1971, Yoncalı (Kütahya) Kaplıcası Etüdü, MTA. Rap. No. 2244, 29 s.
- Erlor, 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. Mües. 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.
- Hoening, H., Borger, M., 1983. Particular problems encountered in trace metal analysis of plants by AAS, *Spec. Chem. Acta.* 38/B (5/6), 673- 880.
- 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.
- Kabata-Pendias, A. ve Pendias, H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants; CRC Press: Washington, D.C.
- Kacar, B., 1984. Bitki Beslenmesi, A.Ü. Ziraat Fak. Yay. 889, 317 s., Ankara.
- Kafkas, M. A., 1994, Aktepe Gümüş yatağının jeolojisi ve mineralojisi, Etibank 100. Yıl Gümüş Mad. İşl. Mües. Müd., Kütahya, Özet Rap. 12 s.
- Kalafatçıoğlu, A., 1964, Balıkesir-Kütahya arasındaki bölgenin jeolojisi; TMMOB Jeoloji Müh. Odası, Türkiye Jeol. Kurl. Bült., 9, 1-2, 46 - 62.
- 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 madenciliginin tarihçesi; Kütahya-Gümüşköy'de 3500 Yıldır süren madencilik çalışmaları. MTA Dergisi 137, 91-97.
- Köksoy, M., 1991. Uygulamalı Jeokimyasal Prospeksiyonun Tanımı ve Laboratuvar Metotları, MTA Yayınları Eğitim Serisi 16, 96 s., Ankara.
- Özdemir, Z., 1996. Maden Çayı Boyunca Biyojeokimyasal Anomalilerin İncelenmesi. F.Ü. Fen Bil. Ens. Doktora tezi, 144 s. Elazığ (Yayınlanmamış).
- Özdemir, Z. ve Sağıroğlu, A., 1996. Botanik Prospeksiyon. M.Ü. Müh. Fak. Derlemeler dizisi, 4, 93-100, Mersin.
- 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.
- Pais, I., Jones, J.B. 2000. The handbook of trace elements. St. Lucie Press, 222 p.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E., Webb, J.S., 1979. Geochemistry in mineral exploration. Acad. Press, 635 p.
- Schiesinger, V.H.1992. Biogeochemistry. Geotimes 37/2, 2-3.
- Sunder, M., 1979, Kırka (Eskişehir) ve çevresinin jeolojisi, petrolojisi ve Sarıkaya borat yataklarının jeokimyasal incelenmesi: Doktora tezi, İstanbul Üniv. Fen Fakültesi, İstanbul.
- 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.
- Vıcıl, M., 1982, Gümüşköy (Kütahya) Aktepe Pb – Zn – Sb – Ag cevherleşmesi; Ege Üniv. Yerb. Fak. Dok. Tezi, 258 s.
- Wedepohl K.H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta* **59**, 1217-1232.

- 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.
- 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.

ÖZGEÇMİŞ

1985'te Batman da doğdum. İlkokulu tamamladıktan sonra ortaokul ve liseyi Anadolu Lisesinde 2003 yılında tamamladım. 2005 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Jeoloji Mühendisliği bölümünü kazandım. Lisans 4.sınıftayken Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odasının düzenlediği Türkiye geneli staj raporu yarışmasında 2.lik ödülünü kazandım. Lisans dönemini TPAO'nun başarı bursu ile tamamladım. 2010 yılında yüksek lisansa başladım ve tezim Tübitak tarafından burslu olarak desteklendi. 2010 yılında düzenlenen Ulusal Jeokimya Sempozyumunda düzenleme kurulunda yer aldım. Türkiye Jeoloji Kurultayında bildiri sundum.2012 yılı ocak ayında da yüksek lisansı tamaladım.