



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TARİHİ SIZMA- LÂDİK (KONYA) Hg MADENİ VE BÖLGEDEKİ ATIKLARIN
ÇEVREYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

TUĞRUL EMRE KAYA

Mart 2018

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TARİHİ SIZMA- LÂDİK (KONYA) Hg MADENİ VE BÖLGEDEKİ ATIKLARIN
ÇEVREYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

TUĞRUL EMRE KAYA

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ

Mart 2018

Tuğrul Emre KAYA tarafından Dr.Öğr.Üyesi Abdurrahman LERMİ danışmanlığında hazırlanan “Tarihi Sızma- Lâdik (Konya) Hg Madeni ve Bölgedeki Atıkların Çevreye Etkisinin İncelenmesi” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Mehmet ŞENER

Üye : Prof.Dr. Emin ÇİFTÇİ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/..../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/..../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.



Tuğrul Emre KAYA

ÖZET

TARİHİ SIZMA-LÂDİK (KONYA) Hg MADENİ VE BÖLGEDEKİ ATIKLARIN ÇEVREYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

KAYA, Tuğrul Emre
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği AnaBilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ

Mart 2018, 85 sayfa

Bu çalışmada Lâdik ve Kurşunlu Mahalleleri (Sarayönü-Konya) civarında yer alan eski civa işletmesi civarındaki sularda, tarım topraklarında ve atıkların bulunduğu alana yakın tarım topraklarında yetiştirilen meyve bitkilerinde meydana gelen kirliliğin boyutları belirlenmiştir. Bölgede Paleozoyik yaşlı mermer, şist ve metasedimanter kayalar temel kayalarını oluşturmakta, bunların üzerine Triyas yaşlı metavolkanitler gelmektedir. Kurşunlu atık sahasına yakın yer altı suları bazik (pH 7.4- 8.3) karakterde ve bu sularda asit maden drenajı(AMD) etkisi izlenmemektedir. Bölgedeki topraklar Pb, Zn, Sb, Hg ve As ve yer altı ve yüzey suları ise As, Sb, Hg ve Cd elementleri bakımından kirlenmiş olduğu tespit edilmiştir. Bitkilerde hesaplanan biyokonsantrasyon faktörü (BCF) tüm bitkilerde Fe 3.5- 3.7, Pb 1.4- 1.9, Zn 1.9- 2.3, As 0.3- 1.2, Sb 3.0- 3.5, Hg 2.7- 3.0 arasında olduğu belirlenmiştir. Bitkilerin Fe, Zn, Sb, Hg ve As biyokonsantrasyon faktörü (BCF) değerleri, özellikle elma, üzüm ve armut ağaçlarında kabul edilebilir sınırı aşmış durumdadır. Bu nedenle maden atıklarının yakın kesiminde tarımsal faaliyetler dikkatli ve kontrollü yapılmalı, kuyu ve kaynak suları önlem alınmadan kullanılmamalıdır.

Anahtar Sözcükler: asit maden drenajı(AMD), çevre kirliliği, biyojeokimya, biyokonsantrasyon faktörü, su jeokimyası, toprak jeokimyası, Sızma- Lâdik

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF THE HISTORICAL SIZMA-LÂDİK (KONYA) Hg MINE AND MINE WASTES NEAR THE AREA

KAYA, Tuğrul Emre

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor : Assistant Professor Dr. Abdurrahman LERMİ

March 2018, 85 pages

This work has been carried out in the areas where mine wastes and calcine slag are found in a large area around the Lâdik and Kurşunlu village (Sarayönü-Konya) and its AMD potential and pollution effects on waters have been investigated. Moreover, pollution levels in the plants have been documented. The area where waste piles are widespread, and outcropping basement rocks consists of marble, schist and metasedimentary rocks and limestone which are Paleozoic in age. This rocks overlie by the metavolcanic rocks of Trias in age. Undergrond and spring waters are more basic (pH 6.75- 8.2) in character than expected. Pb, Zn, Sb, Hg and As pollution occurring in the soils and waters threatens the life of organisms in the region. Fruits tree leaves indicate bioaccumulation of several elements such as Fe (3.5- 3.7), Pb (1.4- 1.9), Zn (1.9- 2.3), Sb (3.0- 3.5), Hg (2.7- 3.0) and, As (0.3- 1.2) to a significant extent. In this manner, Fe, Zn, Sb, Hg and As elements exceed permissible limit in the walnut, apple and pear trees. Spring and well-water consumption in close vicinity of the mine wastes should be avoided and consider local authorities should on-site remediation methods to deal with the problem.

Keywords: acid mine drainage(AMD), Soil and water geochemistry, environmental pollution, biogeochemistry, bioconcentration factor, Sızma- Lâdik

ÖN SÖZ

Ülkemizde başlıca İç Anadolu ve Ege bölgesinde çok daha eski zamanlardan beri orojenik kuşaklardaki metamorfik temel kayaçlar içerisindeki damarlardan civa işletildiği bilinmektedir. Bu bölgede çıkarılan ham cevher; Kurşunlu ve Sızma bölgelerinde kalsinasyona tabi tutularak civa üretimi yapılmış, oluşan atıklar ise bölgede büyük stoklar halinde uzun yıllar korunaksız vaziyette geniş bir alana gelişigüzel atılmış durumdadır. Bu çalışmanın asıl konusunu oluşturan, uzun yıllar Kurşunlu ve Sızma yakınlarında bulunan, maden atıkları asit maden drenajı oluşturacak potansiyele sahiptirler.

Hg, buharlaşma ısısı oldukça düşük, oda sıcaklığında sıvı olan ve son derece zehirli bir metaldir. Doğada bulunan Hg türleri ve miktarları bilinmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır. Bu nedenle pilot alan olarak seçilen en büyük işletme alanının bulunduğu Kurşunlu mahallesi ve civarında kullanılan yer altı ve yüzey sularının, tarım arazilerinin ve bitkilerin atık sahasından yayılabilecek ağır metal kirliliğinden ne derece etkilendiğinin tespit edilmesi incelemeye değer bulunmuştur. Bu amaçla bölge ayrıntılı olarak çalışılmış; yüzey, yer altı suları, toprak ve bitkiler örneklenerek analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın bölgedeki atıkların çevreye verebileceği zararların boyutları ve alınabilecek tedbirler için yetkililerin dikkatini çekeceği ve yol gösterici olacağı kanısındayım.

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje (BAP) birimi tarafından FEB2010/09 numaralı “Tarihi Sızma- Lâdik (Konya) Hg Madeni ve Bölgedeki Atıkların Çevreye Etkisinin İncelenmesi” isimli proje olarak yürütülen bu yüksek lisans tezinin her aşamasında çalışmalarımı yönlendiren, değerli bilgi ve önerilerinden yararlandığım ve sabrından dolayı danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ’e, ince ve parlak kesitlerin incelenmesinde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. İbrahim ÇOPUROĞLU’na, en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Maddi manevi yardımlarını esirgemeyerek her daim yanımda hissettiğim bana sonsuz sevgi ve güç veren sevgili aileme en içten duygularıyla teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiii
SİMGE VE KISALTMALAR	xiv
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
1.2 Çalışmanın Önemi	2
1.3 İnceleme Alanının Konumu ve Ulaşım	3
1.4 İklim ve Bitki Örtüsü	4
1.5 Önceki Çalışmalar	5
1.6 Asit Maden, Asit Kaya Drenajı (AKD, AMD), Kavramı ve Oluşumu	8
1.6.1 Asidik maden drenajının oluşumu için gerekli unsurlar ve etkileyen faktörler	10
1.7 Biyojeokimya	11
BÖLÜM II MATERYAL ve METOD	14
2.1 Materyal ve Yöntemler	14
2.1.1 Arazi çalışmaları	14
2.1.1.1 Jeolojik haritalama	14
2.1.1.2 Örnek alımı	14
2.1.2 Laboratuvar çalışmaları	16
2.1.2.1 Toprak örneklerinin analize hazırlanması	16
2.1.2.2 Su örneklerinin analize hazırlanması	17
2.1.2.3 Kayaç ve curuf örneklerinin analize hazırlanması	17
2.1.2.4 Bitki örneklerinin analize hazırlanması	17
2.1.3 Analitik yöntemler	18
2.1.3.1 Arazide yapılan ölçümler	18

2.1.3.2 Anyon analizleri.....	19
2.1.4 Büro çalışmaları.....	19
BÖLÜM III BULGULAR	20
3.1 Çalışma Alanının Genel Jeolojisi ve Tektoniği	20
3.1.1 Bozdağ formasyonu	20
3.1.2 Bağrıkurt formasyonu	22
3.1.3 Karadağ metatrakiandeziti	23
3.1.4 Alüvyon	24
3.2 Sızma- Lâdik Hg Yataklarının Jeolojisi ve Mineralojisi	25
3.3 Atıkların Yayılımı ve Mineralojisi	27
3.4 Su Jeokimyası	28
3.4.1 Suların major katyon ve anyon içerikleri.....	30
3.5 Doygunluk İndekslerinin Hesaplanması.....	35
3.6 Suların İz Element İçerikleri.....	37
3.7 Toprak Jeokimyası.....	41
3.7.1 Bölgedeki toprak profilinin gelişimi.....	42
3.7.2 Topraklarda düşey element dağılımı.....	45
3.7.3 Topraklarda yatay element dağılımı	48
3.8 Biyojeokimya.....	57
3.8.1 Bölgede yetişen bitki çeşitleri.....	57
3.8.2 Biyojeokimyasal analiz sonuçları	58
BÖLÜM IV TARTIŞMA	60
4.1 Yer altı ve Yüzey Sularının Kirlilik Düzeyleri	60
4.2 Topraklarda Meydana Kirlilik Düzeyleri	63
4.3 Biyokonsantrasyon Faktörü	70
BÖLÜM V SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	75
EKLER	82
ÖZ GEÇMİŞ	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Yürürlükte olan su standartları	29
Çizelge 3.2 Kurşunlu eski Hg işletme sahasından alınan su örneklerine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları (Temmuz 2015; TED: Tavsiye edilen değer, İVMD: izin verilen maksimum değer).....	31
Çizelge 3.3 Sulardaki fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarına ait temel istatistik parametreler ($p>0.05$)	35
Çizelge 3.4 İnceleme alanındaki yüzey sularında PhreeqC paket programında hesaplanan doygunluk indeksleri	36
Çizelge 3.5 Kurşunlu eski Hg işletme sahasından alınan su örneklerine ait iz element jeokimyasal analiz sonuçları (TED: Tavsiye edilen değer, İVMD: izin verilen maksimum değer)	38
Çizelge 3.6 Su analizlerinden elde edilen iz elementlere ait temel istatistik parametreler	38
Çizelge 3.7 Topraklarda ağır metallerin bulunması gereken sınır değerleri (Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 2005)	42
Çizelge 3.8 İnceleme alanında açılan üç ayrı toprak profillerinin organik karbon, pH analiz sonuçları ve tane boyu dağılımları	43
Çizelge 3.9 Kurşunlu Hg işletme sahasında açılan profillerden alınan örneklerin jeokimyasal analiz sonuçları.	45
Çizelge 3.10 Bazı önemli elementlerin bölge topraklarındaki temel istatistik parametreleri (Al, Fe %, diğer ppm).	48
Çizelge 3.11 İnceleme alanından alınan yüzey toprakları analiz sonuçlarına ait pearson korelasyon matrisi.....	49
Çizelge 3.12 Jeokimyasal verilerin Varimax döngüsü uygulanarak hesaplanan faktör analizi sonuçları	51
Çizelge 3.13 Bitki yapraklarından elde edilen biyokimyasal analiz sonuçları.	59
Çizelge 3.14 Çeşitli meyve bitkilerinin yapraklarından (yıkılmış ve kurutulmuş) elde edilen ortalama element bollukları (mg/kg) ve hesaplanan biyokonsantrasyon faktörü(BCF).(KES: Kabul edilebilir sınır).....	59

Çizelge 4.1 Kurşunlu civa işletmesi sahasından alınan sularda hesaplanan kirlilik indeksleri (HPI: Ağır metal kirlilik indeksi, MPI: Metal kirlilik indeksi ve Cd: Kontaminasyon derecesi, KD: Kritik değer 100 olarak alınmıştır).	63
Çizelge 4.2 İnceleme alanındaki tarım topraklarından hesaplanan çeşitli kirlilik indeksleri.....	66



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışma alanı Sızma-Lâdik (Konya) ve civarının yer bulduru haritası	3
Şekil 1.2 Konya'ya ait 2010-2017 yılı aylık yağış ve sıcaklık durumu	5
Şekil 2.1 İnceleme alanında derlenen toprak ve su örneklerine ait lokasyon haritası	16
Şekil 3.1 Lâdik-Sızma Hg madenleri çevresinin jeoloji haritası (Barnes vd.,1971 ve Aydın 1996, revize edilmiştir)	21
Şekil 3.2 İncelenen sulara ait yarı logaritmik Shoeller diyagramı.....	32
Şekil 3.3 İnceleme alanındaki suların Piper diyagramındaki yerleri	34
Şekil 3.4 İnceleme alanındaki suların Durov diyagramındaki yerleri	34
Şekil 3.5 Kurşun Hg işletmesi sahasından alınan yüzey ve yeraltı sularında hesaplanan doygunluk indeksinin grafiksel görünümü.....	36
Şekil 3.6 İkinci periyot kuyu sularının doygunluk indekslerinin grafiksel görünümü ...	37
Şekil 3.7 Kurşunlu Hg işletmesi sahasından alınan sularda ölçülen, toplam çözülmüş maddenin bikarbonat ile iz elementler arasındaki ilişkileri gösterir diyagramlar.....	40
Şekil 3.8 Kurşunlu Hg işletmesi sahasından alınan sularda ölçülen, Sülfatın bikarbonat ile iz elementler arasındaki ilişkileri gösterir diyagramlar.....	41
Şekil 3.9 İnceleme alanında açılan toprak profillerindeki örneklerden hazırlanan elek analizi sonucunda elde edilen toprak boyutları ve Organik karbon içeriğinin profil boyunca dağılımı	44
Şekil 3.10 İnceleme alanındaki Toprak profillerindeki elementlere ait zenginleşme faktörlerinin düşey dağılımı.....	47
Şekil 3.11 Average Linkage (Between Groups) metodu kullanılarak hazırlanan hiyerarşik ayırma (cluster) analizi sonucu elde edilen dendogram	50
Şekil 3.12 İnceleme sahasındaki yüzey topraklarında faktör analizi sonuçlarını gösterir diyagram (F: faktörler).....	51
Şekil 3.13 Cu (ppm) elementinin inceleme alanındaki yatay dağılım diyagramı (2 ppm).....	52
Şekil 3.14 Pb (ppm) elementinin inceleme alanındaki yatay dağılım diyagramı (konturlar arası değer 10 ppm'dir)	53

Şekil 3.15 Zn (ppm) elementinin inceleme alanındaki yatay dağılım diyagramı (konturlar arası değer 5 ppm'dir).....	54
Şekil 3.16 As (ppm) elementinin yatay dağılım diyagramı (konturlar arası değer 500 ppm'dir)	55
Şekil 3.17 Sb (ppm) elementinin yatay dağılım diyagramı (konturlar arası değer 100 ppm'dir)	56
Şekil 3.18 Hg (ppm) elementinin yatay dağılım diyagramı (konturlar arası değer 250 ppm'dir)	57
Şekil 4.1 Sulama suyu sınıflamasında sodyum ve tuzluluk tehlikesi ilişkisi ve bölgedeki suların bu sınıflamadaki yerleri	60
Şekil 4.2 İnceleme alanındaki yüzey sularının toplam iz element miktarı-pH diyagramındaki yerleri	61
Şekil 4.3 İnceleme alanındaki sularının SKKY (1991) 2. Kalite su standardına göre zenginleşme faktörü grafiği.....	62
Şekil 4.4 İnceleme alanındaki toprak profillerindeki (P1 ve P2 atık sahası ve işletmeye yakın, P3 profili ise uzak kesimde açılmıştır) elementlere ait zenginleşme faktörlerinin düşey dağılımı	65
Şekil 4.5 Cu elementinin ortalama Şeyl Cu içeriğine göre hazırlanan Zenginleşme faktörü yatay dağılımı.....	67
Şekil 4.6 Pb elementinin ortalama Şeyl Pb içeriğine göre hazırlanan Zenginleşme faktörü yatay dağılımı.....	68
Şekil 4.7 As elementinin ortalama Şeyl As içeriğine göre hazırlanan Zenginleşme faktörü yatay dağılımı.....	68
Şekil 4.8 Sb elementinin ortalama Şeyl Sb içeriğine göre hazırlanan Zenginleşme faktörü yatay dağılımı.....	69
Şekil 4.9 Hg elementinin ortalama Şeyl Hg içeriğine göre hazırlanan Zenginleşme faktörü yatay dağılımı.....	69
Şekil 4.10 Kurşunlu işletme sahasındaki topraklarda hesaplanan kirlilik yük indeki (PLI) yatay dağılımı	70

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 1.1 Kurşunlu Köyü Civa üretim fabrikası ve maden atıkları stok sahası ve civarının genel panoramik görünümü (BY: KD)	4
Fotoğraf 2.1 Sulama amaçlı kullanılan Lâdik su bendi havzasında örnek alımı ve çeşitli parametrelerinin yerinde ölçülmesi.....	18
Fotoğraf 3.1 İnceleme alanında yüzeyleyen Bozbağ formasyonuna ait mermerler ile Bağrıkurt formasyonuna ait metakumtaşları ile metapelitik kayalara ait genel görünüm.....	23
Fotoğraf 3.2 Kurşunlu Hg yatağında bir damarın galeri girişindeki görünümü, damar etrafında silisleşme, hematitleşme ve damarın orta kesimine doğru killeşme yaygın olarak görülen alterasyon türleri	25
Fotoğraf 3.3 Yan kayaç, cevher ve gang minerallerinin mikroskoptaki görünümü. Q: kuvars, Kal: kalsit, Py: pirit, Zin: zinober, Ant: antimonit, Fr: fraiberjit	27
Fotoğraf 3.4 Doğada dış etkilere maruz bırakılmış maden atıklarının arazideki yayılımı	30

SİMGE VE KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklama
AMD	Asit Maden Drenajı
AKD	Asit Kaya Drenajı
EC	Avrupa Birliği, İletkenlik
EPA	Amerika Çevre Koruma Ajansı
İVMD	İzin Verilen Maksimum Değer
EF	Zenginleşme Faktörü
ICP-MS	İndüklenmiş Çiftli Plazma- Kütle Spektrometresi
XRD	X-Ray Difraktometresi
NTE	Nadir Toprak Elementleri
XRF	X-Ray Floresans
SKKY	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
TED	Tavsiye Edilen Değer
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
BCF	Biyokonsantrasyon Faktörü
KES	Kabul Edilebilir Sınır
TDS	Toplam Çözünmüş Madde Miktarı
ppm	Milyonda bir. Parts per million (10 ⁶)
HPI	Ağır Metal Kirlilik İndeksi
MPI	Metal Kirlilik İndeksi
Cd	Kontaminasyon Derecesi

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Maden sahalarında oksijene ve oksijence zengin suya maruz kalan maden atıkları, asit maden drenajı(AMD) oluşumuna neden olur. Asidik maden drenajı(AMD), dünyanın her yerinde madencilik alanlarında önemli bir çevresel problemdir. Sülfürlü minerallerin madencilik alanlarında depolanması ve atılması sürecinde su ve oksijene maruz bırakılması sonrasında, bu tür minerallerin doğal oksidasyonunun bir sonucu olarak AMD meydana gelmektedir. Asidik maden drenajının düşük pH ve yüksek derişimlerde çözülmüş ağır metal ve sülfatları içermesi nedeniyle çevreye potansiyel olarak zarar verebilmektedir. Maden sahalarında, atık depolarının olduğu bölgelerde, hatta uzun süre işletilmekte olan madenlerde oluşan AMD, çevredeki yüzey ve yer altı sularının asitliğini değiştirmekte, madenlerden çevreye toksin etki yapabilecek ağır metallerin yayılımını sağlamaktadır (Dreesen vd., 1982; Veroblesky vd., 1992; Nordstrom ve Alpers, 1999; Lopez vd., 1999). Maden üretim, nakliyat ve zenginleştirme ile ilgili madencilik çalışmalarının yapıldığı alanlar ve çevreleri çeşitli oranlarda hasara uğramakta toprak, su ve hava kirlenmesi meydana gelmektedir.

Asitliği artmış veya metal konsantrasyonu yükselmiş sular, başta bu sulara yaşayan canlı yaşamın kaybedilmesine neden olmakta, uzun vadede bölgede yetişen bitki türlerine toksik etki yapmakta ve dolaylı olarak çevrede yaşayan diğer canlıları etkilemektedir (Gonzalez, I., 2006). Toprak ve su kirlenmesi; özellikle üzerinde yetişen bitkilerin besin zinciriyle diğer canlılara ve insana geçmesi, suların içme ve kullanma suyu olarak kullanılması ve uzun zaman sürecinde toksik metallere maruz kalma sonucu belli kalıcı sağlık sorunlarının ortaya çıkabilmesi nedeniyle büyük önem taşımaktadır (Alloway B.J., 1990).

Asit maden drenajı (AMD), bir maden işletmesinin faaliyeti boyunca ve kapatılması sonrasında sülfürlü cevherler (pirit, sfalerit gibi) ile suyun ve oksijenin temas halinde bulunmasıyla meydana gelen bir dizi jeokimyasal ve mikrobik reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır. Asit maden drenajı oluşması durumunda bölgedeki içme ve kullanma suyuna karışması büyük tehlike arz etmektedir.

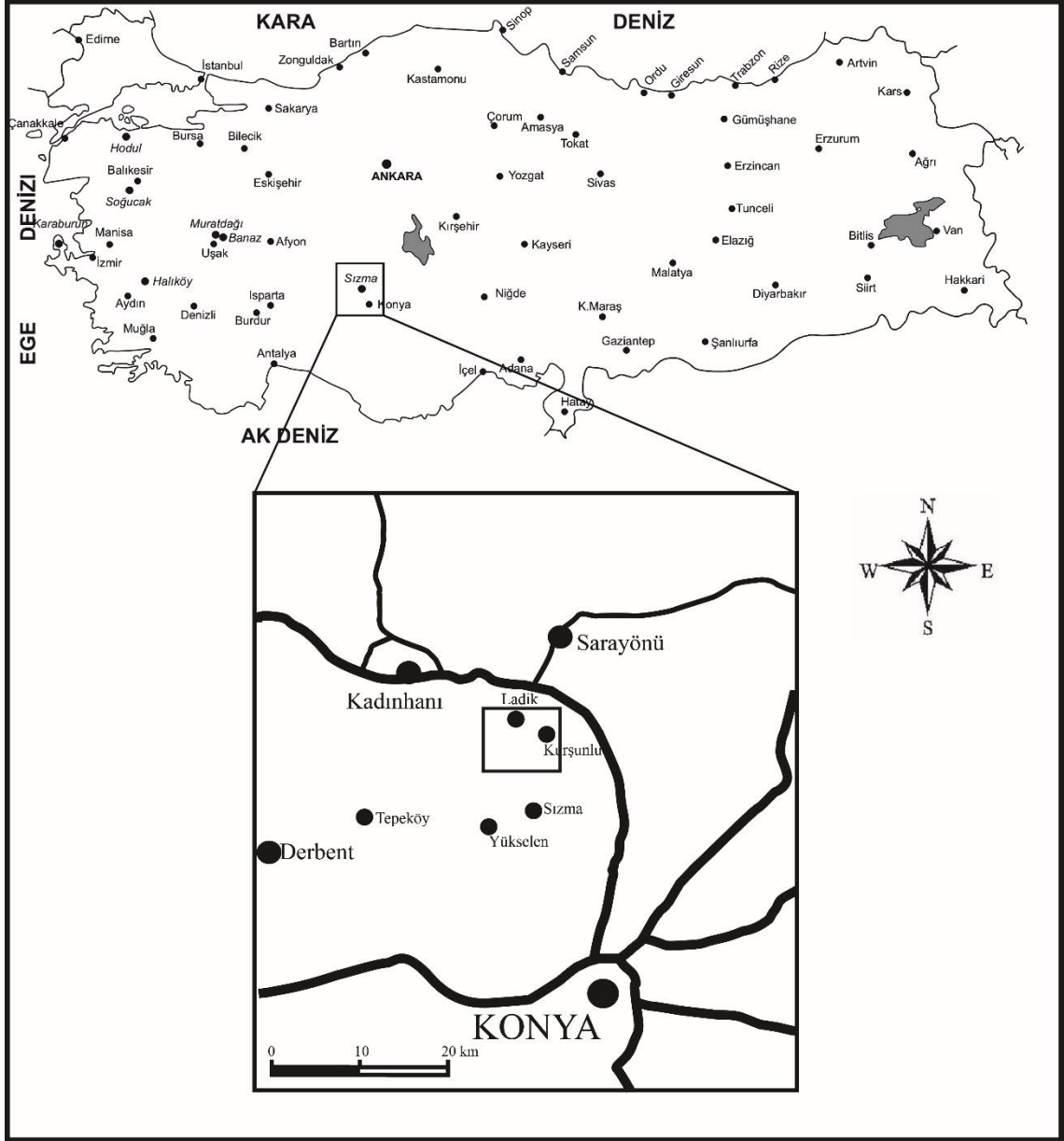
Sızma- Lâdik, çok sayıda civa yatağının bulunduğu bir bölgedir. Bu civarda Zinober'a ek olarak Antimonit ve yersel olarak Cu ve Pb- Zn zenginleşmeleri de bulunmaktadır. Eski tarihlerden beri bölgedeki madenlerin ilkel yöntemlerle zenginleştirme işlemine tabi tutulduğu, cevherli sahalarda bulunan işlenmiş maden atıkları ve cürüflardan anlaşılmaktadır. Özellikle Sızma ve Lâdik yöresindeki maden atıkları, çok eski tarihlere dayanan Hg madenciliğinin Anadolu'da ilk kez bu bölgede Frikyalı'lar zamanından beri yapıldığını göstermektedir (Wiesner, 1968). Bölgede uzun yıllar süren madencilik faaliyetleri ve maden atıklarından Hg ve diğer ağır metallerin etraftaki tarım arazileri, dere boylarına yayılmış durumdadır.

Bu çalışma, Sızma Hg madeni ve özellikle Lâdik (Kurşunlu Mahallesi) işletme bölgesinde yıllardır yüzey ve yer altı sularının etkisinde bulunan maden atıklarının mineralojisi ve jeokimyası, asit maden drenajı oluşturma potansiyeli, yer altı ve yüzey sularına ve tarım arazilerine yapmış olduğu kirlilik etkisinin boyutlarını ve bu atıklardan ve tarihi madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan ağır metal kirliliğinin bölgede yaşayan insanlar için tehlike oluşturup oluşturmadığının belirlenmesini konu edinmiştir.

1.2 Çalışmanın Önemi

Bu çalışma, Türkiye'nin belki de ilk civa işletmesi olan Sızma- Lâdik (Şekil 1.1) bölgesindeki civa yatakları ve bu yataklardan özellikle işletme yapılmış olan bölgelerde maden ve maden atıklarının asit maden drenajı oluşturma potansiyelini, çevreye (su toprak ve bitkilere) olabilecek olumsuz etkisinin belirlenmesi, ağır metal ve özellikle Hg kirlenmesinin boyutlarının araştırılmasını amaç edinmiştir.

Bu amaçla bölgenin jeolojisi, cevher mineralojisi ve yerleşimi, bu atıkların önceden beri oluşmasına kaynak olabilecek bölgedeki maden yatakları araştırılmıştır. Ayrıca, özellikle en büyük atık sahasının bulunduğu Kurşunlu atık sahası etrafındaki kaynak, yüzey ve yeraltı suları örneklenmiş, bölgede gelişen toprak profili incelenmiş ve buna göre sistematik toprak örnekleri alınarak kirlilik boyutlarının belirlenebilmesi için analiz edilip karşılaştırmalar yapılmıştır.



Şekil 1.1. Çalışma alanı Sızma- Lâdik (Konya) ve civarının yer bulduru haritası

1.3 İnceleme Alanının Konumu ve Ulaşım

Çalışma alanı Lâdik ve Kurşunlu (Sarayönü) mahallelerine, Konya - Afyonkarahisar karayolundan batıya doğru 45 km lik asfalt yolla ulaşılmaktadır (Şekil 1.1). Kurşunlu ve civarı yumuşak topoğrafyaya sahiptir. Maden atıklarının olduğu bölge nispeten az eğimli ve tarım arazisidir (Fotoğraf 1.1). İnceleme alanının etrafında irili ufaklı orta yüksekliğe sahip pek çok tepe bulunmaktadır. Çalışma alanının güneybatısında Kurşunlu Tepe (1516m) ve Çırakman Tepe, güneydoğusunda Çamlıca Baş Tepe (1698m) ve Ardıçlı Tepe belli başlı yükseltilerdir. İnceleme alanını etkileyen yer altı ve

akarsular genellikle batıdan doğuya doğru akmakta ve Kurşunlu Tepe, Çırakman Tepe, Çamlıca Baştepe ve bunların sardığı bir alandan beslenmektedirler.

Önceleri kasaba olan Kurşunlu'da 2017 itibarıyla 489 erkek ve 491 kadın olmak üzere toplam 980 kişi yaşamakta, bölgede çevreye gelişigüzel atılan ve bu atıkların etkilediği vadilerden su temin eden Ladik, Kurşunlu gibi pek çok yerleşim yeri bulunmaktadır. Bölgede geçim kaynağı genel olarak tarım ve hayvancılıkla sağlamakta, yüzey ve yer altı sularını kullanılmaktadır. Toprak ve suların kirlilik boyutlarının belirlenmesi, kaynaklardan ve yer altı sularından özellikle yeraltı ve sulama amaçlı yapılan bendlere sızan bu sular (Şekil 1.1), insanlar tarafından kullanılmaktadır.



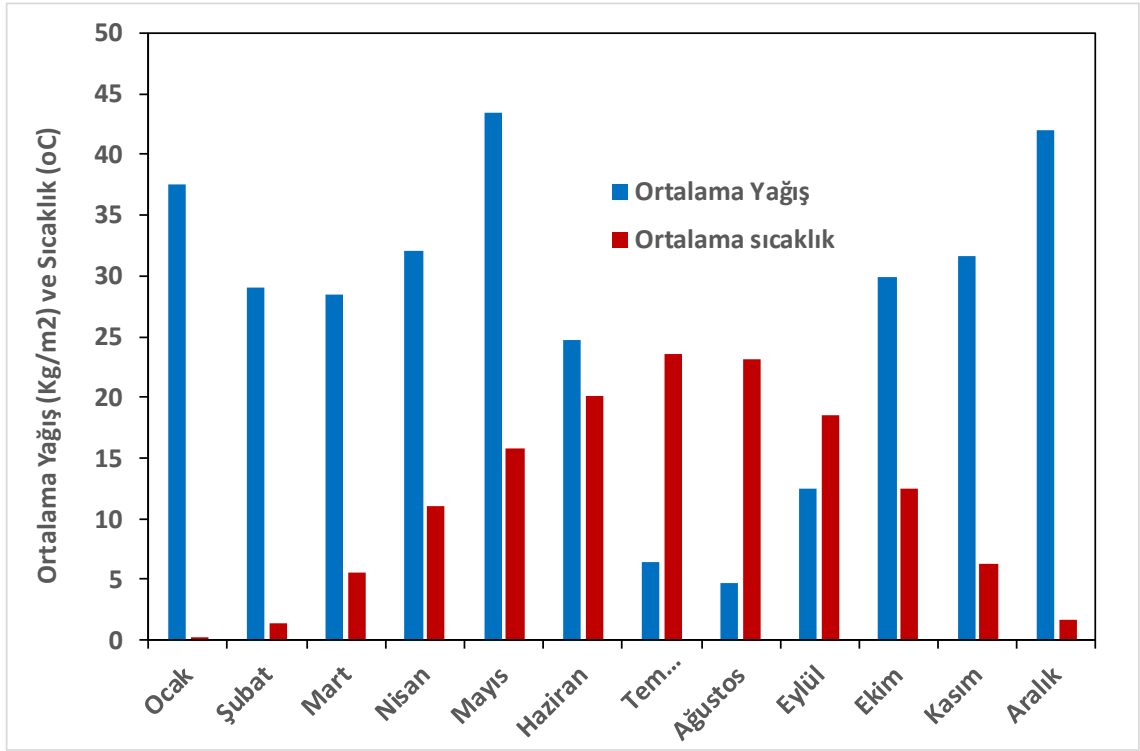
Fotoğraf 1.1. Kurşunlu Mahallesi civa üretim fabrikası, maden atıkları stok sahası ve civarının genel panoramik görünümü (BY: KD)

1.4 İklim ve Bitki Örtüsü

Bölgede, tüm iç anadolu bölgesinde olduğu gibi, karasal iklim hüküm sürmektedir. Bundan dolayı yazları kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Bölgede karasal iklimin karakteristik bitki örtüsü, kısa boylu ağaçlardan oluşan maki türleridir. Bunun yanında çalışma alanında özellikle tepelerin eteklerinde kızılçam, köknar ve ağaçları, dere boylarında ve tarım yapılan alanlarda armut, kiraz, elma, kayısı, vişne, ceviz, kavak, çam ve ardıç ağaçları da gözlenir.

Çalışma alanına ait m² düşen yağış miktarı ve sıcaklık miktarlarına ait veriler Şekil 1.2'de verilmiştir. Meteoroloji istasyonundan alınan bu verilere bakıldığında, bölgede

en yüksek yağış Mayıs ve en az yağış alan dönemi ise Temmuz aylarıdır. İnceleme alanından alınan su örnekleri en az yağış dönemi olan Temmuz ayında derlenmiştir.



Şekil 1.2. Konya'ya ait 2010-2017 yılı aylık yağış ve sıcaklık durumu (www.mgm.gov.tr, 2017)

1.5 Önceki Çalışmalar

Bu bölümde, bölgede yapılan çalışmalar jeolojik ve ekonomik potansiyel gibi çalışılan konular açısından ayrı ayrı ele alınarak özetlenmiştir.

İnceleme alanı 1900'lü yılların başından günümüze kadar civa yatakları ve işletmesi sebebiyle birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Bölgedeki ilk incelemeler Sharpless ve Monachi (1908) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar cevherleşmelerin eski magmatik kayalara yakın şist- rekristalize kireçtaşı kantağında ve kireçtaşının içinde damarcıklar, iri kristal saçınımları ve küçük kümelenmeler halinde zuhur ettiğini, cevherlerin kireçtaşlarının fazla sillisleşmemiş olduğu yerlerde saçılımlı halde bulunduğunu belirtmişlerdir.

Pilz (1937), yöredeki civa ve bakır cevherleşmelerini incelemiş, Schumacher (1937), cevherleşme üzerine yoğunlaştırdığı incelemesinde yöre kayalarını fillitik şist ve bitümlü kireçtaşı olarak tanımlamıştır.

Kovenko (1939), cevherleşmenin karakteri hakkında bilgi vermiş ve raporlarında çok dağınık düşük tenörlü ve fazla potansiyel göstermeyen civa zuhurlarının aranmasının ve işletmesinin ekonomik olmayacağını belirtmiştir.

Murdock (1958), cevherleşme ile ilgili çalışmalara ek olarak bazı litolojik tanımlamalar da yapmış, cevherleşmenin bitümlü kristalize kireçtaşlarının içinde, fay zonlarında ve fillit ile bitümlü kireçtaşları kontaktlarında dağılım gösterdiğini belirtmiştir.

Bölgeyi değişik zamanlarda inceleyen Kuru (1963), Kaaden (1964), Petrascheck (1964), Maucher (1964), Holl (1965) ve Lehnert (1964) gibi araştırmacılar yatakların jeolojisi, cevherleşme ve rezervleri hakkında kısa raporlar hazırlamışlardır.

Kaaden (1966), bölgede glokofon mineralinin varlığı üzerinde durarak yöre kayaçlarının glokofanitik yeşilist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış sedimanter olduğunu belirtmiştir.

Araştırmalarını daha çok Sızma- Lâdik arasındaki bölgede yoğunlaştıran Weisner (1968), yöredeki cevherleşmenin, andezit volkanizması ile ilgili epitermal bir oluşum olduğunu ve tektonik bir hatta bağlı olarak geliştiğini ortaya koymuştur. Yöredeki metavolkanitleri andezit ve porfiritik-andezit olarak adlandırmış ve bunların sokulumunun Alpin Orojenezi ile ilgili olduklarını belirtmiştir.

Bayiç (1968), yöredeki kayaçlar üzerinde yapmış olduğu petrografik incelemelerle yöredeki volkanik kayaçları metatrakit ve meta-porfirit olarak adlandırmıştır. Araştırmacı, bu glokofan ve stilpnomelan minerallerinin varlığından hareketle, bu kayaçların yüksek basınç-düşük sıcaklık metamorfizmasına maruz kaldıklarını belirtmiştir.

Cento (1969), Sızma- civarının jeolojisini yeniden detaylarıyla ele almış, cevherleşmenin yeri ve özelliklerini tartışarak yörede bulunan Büyük Ocak'ın yeraltı jeoloji haritalarını çıkarmış, yöredeki derelerden kum numuneleri alarak jeokimyasal prospeksiyon çalışmaları yürütmüş ve daha ilerideki arama ve işletme faaliyetleri için tavsiyelerde bulunmuştur.

Chirt ve Bartas (1970), tarafından incelenmiş ve araştırmacılar maden sahasındaki civa cevherleşmesinin magmatik-hidrotermal kökenli olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Urgancıoğlu (1969, 1971), tarafından ırakman ve Sızma maden sahalarında yapılan jeokimyasal çalışmalarda, elde edilen anomali değerleri sonuçları dikkate alınarak belirli galeri, yarma ve sondaj yerleri tavsiye edilmiş ve aramaların sürdürülmesi istenmiştir.

Yöredeki metasedimanter kayaçların Siluriyen - Karbonifer zaman aralığında okeldiğini vurgulayan Doğan (1975), bunları kesen metavolkanitleri Karadağ meta-porfiriti olarak adlandırmıştır.

Pehlivan (1976), araştırma sahasında mostra veren kayaçların, Orta- st Devoniyen yaşlı şist ve karbonatlarla, bunları uyumsuz olarak rten Alt- Orta Karbonifer yaşlı meta- klastik ve kireçtaşlarından oluştuğunu vurgulamıştır.

Yörede hidrojeoloji ağırlıklı doktora çalışması yapan Güzel (1983), Orta Devoniyen ncesi ayırtlanmamış temel karmaşığı olarak tanımladığı litolojilerin zerine Kurşunlu formasyonuna ait kireçtaşlarının uyumlu olarak geldiğini belirtmiştir.

Banger (1987), Karadağ yakın çevresinde yürüttüğü petrografi ağırlıklı çalışmasında, Karadağ'da gözlenen metavolkanik kayaçları metasipilit, mermerleri kesen daykları ise kuvarlı diyorit şeklinde tanımlanmış ve metamorfizma ardalanmalı seri içinde, yeşilşist fasiyesi ile prehnit- pumpelliyyit fasiyesine ait bazı mineral parajenejlerini sıralamıştır.

stndağ (1987), bölgenin jeolojisine ışık tutan daha çok stratigrafik ve tektonik ağırlıklı bir çalışma yapmış ve metaklastik kayaçları üç ayrı formasyon şeklinde tanımlamıştır.

zcan vd. (1988), çalışma alanında gözlenen birimleri altta Siluriyen - Devoniyen yaşlı Bozdağ kireçtaşı ve onun üzerine açılı uyumsuzluk olarak gelen metaklastikler, metavolkanitler ve kireçtaşı bloklarından yapılı Karbonifer yaşlı Halıcı Grubu olarak tanımlamışlardır. Bölgenin Geç Paleozoyik'te yay gerisi havza karakteri kazandığını vurgulayan araştırmacılar önceleri glokofan olarak belirtilen sodik amfibollerin krossit ve riyebekit olduğunu, bu minerallerin de sadece makaslama zonlarındaki sıkışmalar sebebi ile oluştuğunu belirtmişlerdir.

Eren (1993), inceleme alanının batısında kalan bölgede yaptığı çalışmalarda, bölgenin paraotokton- otokton ve allokton birimlerden oluştuğunu belirtmiş ve Karadağ meta-magmatikleri olarak adlandırdığı metavolkanitlerin Geç Permiyen ncesi evrimini

tamamlamış bir yay gelişimi ile ilgili olabileceğini belirtmiştir.

Kurt (1994), araştırma sahasının dışında, Lâdik- Kadınhanı arasında kalan bölgenin petrografik ve jeokimyasal incelemesini yapmış, en yaşlı birimler olarak kabul ettiği Esirağıl ve Bağrikurt formasyonlarına ait fillit, metakumtaşı ve metakuvarsitlerin ya pasif ya da aktif kıta kenarında oluştuğunu; metavolkanik kayaçların dalma- batma zonu, daykların ise okyanus ortası sırt bazaltı karakteristikleri gösterdiğini belirlemiştir. Mineral kimyası analizleri ile bölgedeki metamorfizmanın önce yeşilist fasiyesinde, daha sonra ise mavişist fasiyesinde olmak üzere, iki ayrı fazda geliştiğini destekleyen veriler ileri sürmüştür.

Brooks vd. (2017), Sardis çayında yapmış oldukları çalışmada, altın üretiminin Anadolu'da çok eskiden beri amalgamasyon yöntemi ile yapıldığını, amalgamasyon yönteminde kullanılan cıvanın ise çok eskiden beri Sızma- Lâdik Hg yataklarından elde edildiğini vurgulamışlardır.

1.6 Asit Maden Drenajı (AMD) Kavramı ve Oluşumu

Asidik maden drenajı (AMD), bir maden işletmesinin faaliyeti boyunca ve terkedilmesi sonrasında sülfürlü cevherler (pirit, zinober) ile suyun ve oksijenin temas halinde bulunmasıyla meydana gelen jeokimyasal ve mikrobik reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır. Sonuçta oluşan su, genel olarak yüksek asidite (düşük pH) ve yüksek konsantrasyonda çözülmüş metal (Cu, Fe, Pb, Zn, As, Cd vb.) içermektedir (Costello, 2003; Akçıl vd., 2006). Bazı metallerin yanında uranyum ve kömür madenciliğinde de sülfürlü mineralleri içeren artık malzemenin AMD oluşturma potansiyeli yüksek olduğundan, bu madenlerden meydana gelen atıkların yönetimi önemli bir problem oluşturmaktadır.

Madencilik işlemleri sonucu oluşan artık malzemede bulunan sülfürlü mineraller (çoğunlukla Pirit (FeS_2) ve Pirotin (FeS)), oksijen ve suya maruz kaldığında asit oluşumu meydana gelmektedir. Temelde bu aşamalar, sülfürlü minerallerin oksidasyonu ve asitin oluşumudur. Daha sonra oksitlenmiş bileşiklerin liç işlemi meydana gelmektedir. Eğer ortam yeterince bazik değilse veya tampon mineraller (kalsit vs.) asiti nötr hale getiremiyorsa, sonuçta liç sıvısı asidik karakterde olmaktadır. Bu sıvı, genel olarak asidik maden drenajı olarak adlandırılmaktadır. AMD, yüksek asidite (pH 2-3) ve yüksek konsantrasyonda Demir (Fe), Manganez (Mn), Alüminyum (Al), Çinko (Zn),

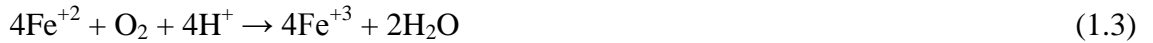
Bakır (Cu), Nikel (Ni), Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Arsenik (As) vb. gibi metalleri ve sülfatları içermektedir (Kuyucak, 2002). Asidik maden drenajının piritten itibaren oluşumunu içeren aşamalar aşağıda verilen bir dizi reaksiyonlarla gösterilebilir (Costello, 2003). AMD ya da ARD atık sahalarında veya Piritin oksijenle zengin sülardan itibaren genel oksidasyonu (1.1) aşağıda verildiği gibidir:



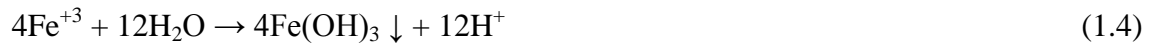
Piritin atmosferik şartlardaki ilk reaksiyonu, oksijenle piritin oksidasyonunu (1.2) içermektedir. Sülfür, sülfata (SO_4^{-2}) oksitlenmekte ve ferrus demir (Fe^{+2}) serbest kalmaktadır. Bu reaksiyonda da görüldüğü gibi, her mol oksitlenmiş pirit için iki mol asit oluşumunu sağlamaktadır.



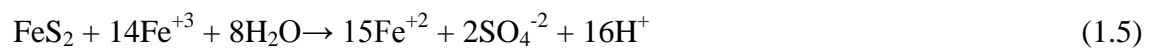
Daha sonra iki değerlikli demir (ferrus Fe) üç değerlikli (ferrik Fe) demire (Fe^{+3}) dönüşümünde (1.3), bu dönüşüm reaksiyonunda ise bir mol asit tüketilmektedir. Burada reaksiyon gerçekleşirken çeşitli bakteriler (özellikle S tüketen bakteriler), oksidasyon hızını arttırmaktadırlar. Reaksiyon hızını sınırlayan aşamanın, ferros demirin oksidasyonu olduğu ilk olarak Singer vd. (1970) tarafından belirlenmiştir (1.3). Bu reaksiyon, asit oluşumunda “oksidasyon hızını belirleyen aşama” olarak ifade edilmektedir.



(1.3), demirin hidrolizini göstermektedir. Hidroliz, su molekülünü parçalayan bir reaksiyondur. Birçok metal hidrolize uğrayabilir. Ferrik hidroksit çökeltisinin (katı) oluşumu pH'a bağlıdır.



(1.4), ferrik demir tarafından piritin oksidasyonudur. (1.3) ve (1.5)'de görüldüğü gibi sürekli artan bir dönüşüm olmaktadır.



(1.3)'deki ürünlerden biri olan Fe^{+3} , (1.5)'de görüldüğü gibi piriti oksitlemekte ve bu reaksiyon sonucu oluşan Fe^{+2} , (1.3)'de indirgeyici olarak rol oynamaktadır. Bu

oksidasyon işleminin piritin oksidasyonu ile sınırlanması nedeniyle; oksidasyon için piritin yüzey alanı, reaksiyon hızını belirlemektedir.

1.6.1 Asidik maden drenajının oluşumu için gerekli unsurlar ve etkileyen faktörler

Artık malzemede bulunan sülfür minerallerinin tipi, oksijenin varlığı, alkali minerallerin özelliği ve miktarı, AMD'nin oluşumunu etkileyen başlıca faktörlerdir. Ayrıca sıcaklık, pH, atık yığınındaki sülfütlü ve alkali cevher minerallerinin dağılımı, sülfid minerallerinin yüzey alanı, oksidasyon hızı AMD'nin oluşumunda ve kontrolünde önemli parametrelerdir. Bakterilerin katalitik bir rol oynamasından dolayı sıcaklık ve pH, atık ortamında mikro organik faaliyetlerin gelişmesi için belirleyici faktörlerdir. Sülfid ve alkali minerallerin homojen dağılımı, sülfid minerallerinin yüzey alanı ve tane boyu gibi işlem görmüş artıklarda ve atık kayalarda bulunan şartlardaki farklılıklar, potansiyel olarak nötralizasyon işlemini ve oksitlenme hızını ve bundan dolayı AMD'nin kimyasal özelliğini etkilemektedir (Broughton vd., 1992; Nicholson, 1994).

AMD oluşum oranını belirleyen temel etmenler özetlenecek olursa:

- pH;
- Sıcaklık;
- Gaz fazındaki oksijen içeriği (doygunluk %100'den azsa);
- Su fazındaki oksijen içeriği;
- Sudaki doygunluk derecesi;
- Fe^{+3} 'nin kimyasal etkinliği;
- Açığa çıkan metal sülfid yüzey alanı;
- Asit üretimini başlatmak için gerekli olan kimyasal aktivasyon enerjisi;
- Bakteriyel etkinlik.

Asit kaya drenajı (AKD): Sadece sülfid içeren madenler ve bunların atıklarının bulunduğu alanlarda AMD oluşmamakta, az miktarda da olsa sülfütlü mineral içeren kayalarda da oluşmaktadır. Tıpkı AMD gibi AKD oluşumu ile düşük pH'a sahip ve

yüksek baz metal konsantrasyonu sağlar. AKD ve bununla birlikte oluşan ağır metaller, su ve toprak kaynaklarının ağır metallerce ve toksik elementlerce kirletilmesi ile karakterize edilir (Nicholson, 1994).

1.7 Biyojeokimya

Akçay, M., Lermi, A., Van, A., (1998); Kayabaşı (Yomra- Trabzon) yöresinde örtülü Kayabaşı (Kanköy) cevherleşmesi üzerinde toprak jeokimyası yanında bitki jeokimyası yöntemi uygulanarak anomali tespiti yapmıştır. Bölgede biyojeokimyasal çalışmalar için en uygun bitki türleri araştırılmış, toprak ve bitki jeokimyasal verileri karşılaştırılarak yorumlamıştır. Kanköy cevher sahasında toprak jeokimyası yöntemiyle Cu, Pb, Zn anomalileri tespit edilmiş, bunların cevher sahasıyla uygun olduğunu saptamıştır. Aynı bölgeye uygulanan bitki jeokimyası yöntemiyle bulunan Cu, Pb, Zn anomalilerinin de cevher alanıyla ve toprak jeokimyasıyla tespit edilen anomalilerle karşılaştırılmıştır. Doğu Karadeniz Bölgesinde biyojeokimyasal çalışmalar için Mor Çiçekli Orman Gülü (*Rhododendron ponticum*), Fındık (*Corylus avellana*) ve Sarı Çiçekli Orman Gülü (*Rhododendron luteum*) bitkileri ile bu türlerin yaygın olduğu bölgelerde çalışılabileceğini ortaya koymuştur.

Özdemir Z. ve Sağıroğlu A. (1998); Elazığ/ Maden'de bulunan ve uzun süre işletilen maden sahası yakınlarında işletme atıkları (flotasyon, pasa, curuf ve metallerce yüklü sular) tarafından kirletilen Maden Çayı ve çevresinde yetişen bitki, toprak ve su örneklerinin demir düzeylerini araştırmışlardır. Demir elementinin bitki/ toprak arasındaki ilişkinin *Phragmites australis* ($r=0,8683$) ve *Carex acuta* ($r=0,8945$) türleri için istatistiksel olarak çok önemli olduğunu belirlemişlerdir. Bu bitki türlerinin biyojeokimyasal prospeksiyonda başarıyla kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır.

Masunaga T., Kubota D., Hotta M., Wakatsuki T., (1998); Endonezya'daki bazı ağaç türlerinin yapraklarındaki elementleri araştırmışlardır ve yaprakların büyük oranda Alüminyum toplandığını bulmuşlardır.

Dunn C. E., Brooks R.R., Edmondson J., Leblanc M. ve Reeves R.D. (1999); Güney Morocco Bau Azzer bölgesinde metale karşı toleranslı floradan toplanan bitki örnekleri üzerinde çalışmışlardır. Bleida bakır sülfid mineralizasyonu ile, Bau Azzer bölgesinde kobalt, nikel, arsenik ve krom mineralizasyonunu biyojeokimyasal yöntemlerle incelemişlerdir. Biyojeokimyasal çalışmalarda *Anville garcinii subsp. radiata*, *Onois*

natrix, *Laiandula multifidia*, *Convolaulus trabutianus* ve *Artemisia herba-alba* bitki türlerinin metal içeriklerini araştırmışlardır. Çalışmaların sonucunda metal akümülyasyonun her bitki türünde farklı olduğunu bulmuşlardır. *Onois* bitki türünün en yüksek element konsantrasyonuna sahip olduğunu, *Anville* bitki türünün ise biyojeokimyasal çalışmalar için daha uygun olduğunu belirlemişlerdir.

McInnes B.I.A., Dunn C.E., Cameron E.M. ve Kameko L. (1999); Biyojeokimyasal yöntemlerin yaygın olarak yarı kurak ve boreal orman gibi özel bölgelerde mineral keşifleri için kullanıldığını belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada ekvatorial bölgeler içerisindeki Au mineralini araştırmışlardır. Değişik bitki türlerini inceledikten sonra, *Astronidium palavense* bitki türünü uygun olarak nitelendirmişlerdir.

Özdemir Z. ve Sağıroğlu A. (2000); Uzun süre işletilen maden sahası yakınlarında işletme atıkları (flotasyon, pasa, curuf ve metallerce yüklü sular) tarafından kirletilen Maden Çayı (Elazığ/Maden) ve çevresinde yetişen bitki, toprak ve su örneklerinin bakır düzeylerini araştırmışlardır. Analizler sonucunda daldaki Cu konsantrasyonunun diğer kısımlarına (yaprak, çiçek) göre daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. İncelenen bitki türlerinden *Salix acmophylla* ($r=0,93$), *Tamarix smyrnensis* ($r=0,93$), *Phragmites australis* ($r=0,72$) türlerini Cu için indikatör olarak belirlemişlerdir.

Özdemir Z. ve Sağıroğlu A. (2000); Maden Çayı (Maden/ Elazığ) ve çevresinde yetişen bitki türleri, toprak ve su örneklerinin Çinko düzeylerini araştırılmışlardır. Zn konsantrasyonunun bitki türlerinin dallarında diğer kısımlara (yaprak, çiçek) göre daha fazla olduğunu belirtmektedirler. Çalışmaların sonucunda *Platanus orientalis* ($r=0,8681$), *Salix acmophylla* ($r=-0,8033$), *Populus nigra* ($r=0,7548$) türlerinin çinko elementi için indikatör bitkiler olarak belirlemişlerdir.

Baroni F., Boscagli A., Protano G. and Riccobono F. (2000); İtalya'da terkedilmiş Sb maden bölgesinde yetişen *Achillea ageratum*, *Plantago lanceolata*, *Silene vulgaris* bitki türleri ve bunların toprak örneklerinde antimon içeriğini araştırmışlardır. Bu bitki türlerinin yüksek miktarda antimon içerdiğini belirtmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda; toprak örneklerinde 139-793 mg/kg, *Plantago lanceolata*'nın kök kısmında 1150 mg/kg, *Silene vulgaris*'in kök kısmında 1164 mg/kg, *Achillea ageratum*'un yaprak kısmında 1367 mg/kg antimon bulmuşlardır. Bitki türleri içerisindeki antimon miktarının topraktaki antimon miktarına bağı olduğunu vurgulamışlardır. Bu bitki

türlerini antimon elementinin bioindikatörleri olarak nitelendirmişlerdir.

Nagaraju A. ve Karimulla S. (2002); Üç dominant bitki türü *Jatropha curcas*, *Dodena viscosa*, *Cassia auriculata* ve bunların toprak karışımı içerisindeki elementlerin akümülyasyonları araştırmışlardır. Bu elementlerin multi-element analizleri yapmışlar ve biyolojik absorpsiyon katsayıları (BAC) hesaplamışlardır. Araştırma kapsamındaki bitkilerde bol miktarda B, Ba, Mn, Sr ve Zn, bu bitkilerin toprak karışımlarında ise yalnızca bol miktarda Al, Fe ve Be bulmuşlardır. Bu çalışma ile; Nellore Mika Kuşağı üzerinde spesifik bitki davranışları hakkında yada metal yayılımı ile ilgili bilgi sağlanabileceğini ve onların biokütle hareketlerini bulmak için bitkilerdeki metal konsantrasyonunun değerinin kullanılabileceğini belirlemişlerdir. Bu bitkiler, maden bölgelerinin çevreyle çarpışmasını azaltmak amacıyla vejetasyon programlarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Baroni F., Boscagli A., Di Lella L. A., Protano G. and Riccobono F. (2004); İtalya'nın Güney Tuscany bölgesindeki iki farklı maden bölgesinde yetişen bitkilerde ve onların toprak örneklerinin konsantrasyonlarında arsenik miktarını tayin etmişlerdir. Toprak konsantrasyonu içerisinde As içeriğini 5,3- 2035,3 mg/kg olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada 64 bitki türü analiz etmişlerdir. En yüksek As içeriğini *Mentha aquatica* bitki türünün kök ve yapraklarında (540-216 mg/kg), *Phragmites australis* bitki türünün kök kısmında (588 mg/kg) bulmuşlardır. Bazı özel yabancı türler ve ekinler hariç bitki içeriğinde As miktarının düşük olduğunu belirtmişlerdir. Analiz edilen türlerde kök kısımlarının yüksek miktarda As içerdiğini, bunu sırası ile yapraklar ve sürgünlerin izlediğini belirtmişlerdir.

Karahalil vd. (2011) de Kurşunlu atıklarına yakın olan Lâdik sulama amaçlı barajdan aldıkları balıkları Hg analizine tabi tutmuş, balıkların ortalama 0.504 mg/kg Hg içerdiklerini ve bölgedeki eski işletme atıklarının hala çevreyi kirletmeye devam ettiğini vurgulamışlardır.

BÖLÜM II

MATERYAL ve METOD

2.1 Materyal ve Yöntemler

Bu çalışmada; bölgede yıllarca işletme ve atık sahası olarak kullanılan Sızma- Lâdik-Kurşunlu civarında alınan akarsu, pınarlar ve kuyular vasıtasıyla yer altı sularından su örnekleri, topraktaki kirliliği belirlemek amacıyla çeşitli hatlardan ve derinliklerden toprak örnekleri ve atık sahasından cevher ve curuf örnekleri, tarım arazilerinden bitki örnekleri başlıca materyali oluşturmaktadır.

Bu amaçla yapılan bu çalışma arazi, laboratuvar ve büro olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.1.1 Arazi çalışmaları

2.1.1.1 Jeolojik haritalama

Öncelikle bölgeyi kapsayan 1/ 25000 ölçekli topoğrafik haritaya jeolojik veriler işlenmiştir. Bölgenin jeolojisi önceki çalışmalardan faydalanılarak özellikle inceleme alanı yeniden gözden geçirilmiş, düzenlenerek kullanılmıştır. Özellikle curufların arazide yayıldığı bölge, etkileyebileceği tarım arazileri ve yerleşim alanları, akarsuların beslenme alanlarının jeolojisi ve tektoniği detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca inceleme alanında oluşan toprakların zonalitesi, kimyasal bileşimi, mineralojisi ve toprak taksonomisinin belirlenmesi amacıyla yaklaşık 80, 60, 70 cm derinliğinde olmak üzere üç araştırma kuyusu açılmış ve toprak zonları bire bir gözlemlenmiş ve örneklenmiştir.

2.1.1.2 Örnek alımı

Hedef olarak seçilen sahanın jeolojik ve tektonik haritası hazırlanarak sistematik örnek alımına başlanmıştır. Sahadan toprak, su, kayaç, bitki ve maden atığı (curuf) olmak üzere 5 çeşit örnek alınmıştır.

Toprak örnekleri; çalışma alanının mevcut durumuna ve çalışma sahasındaki özel tarla ve meyve bahçelerinin konumlarının elverdiği şekilde sistematik örnekleme yapılmıştır. Atıkların ve civa buharının yayılabileceği yönler de dikkate alınarak örnekleme yapılmış ve toplam 42 toprak örneği ve ayrıca toprak profilinin gelişimini görmek

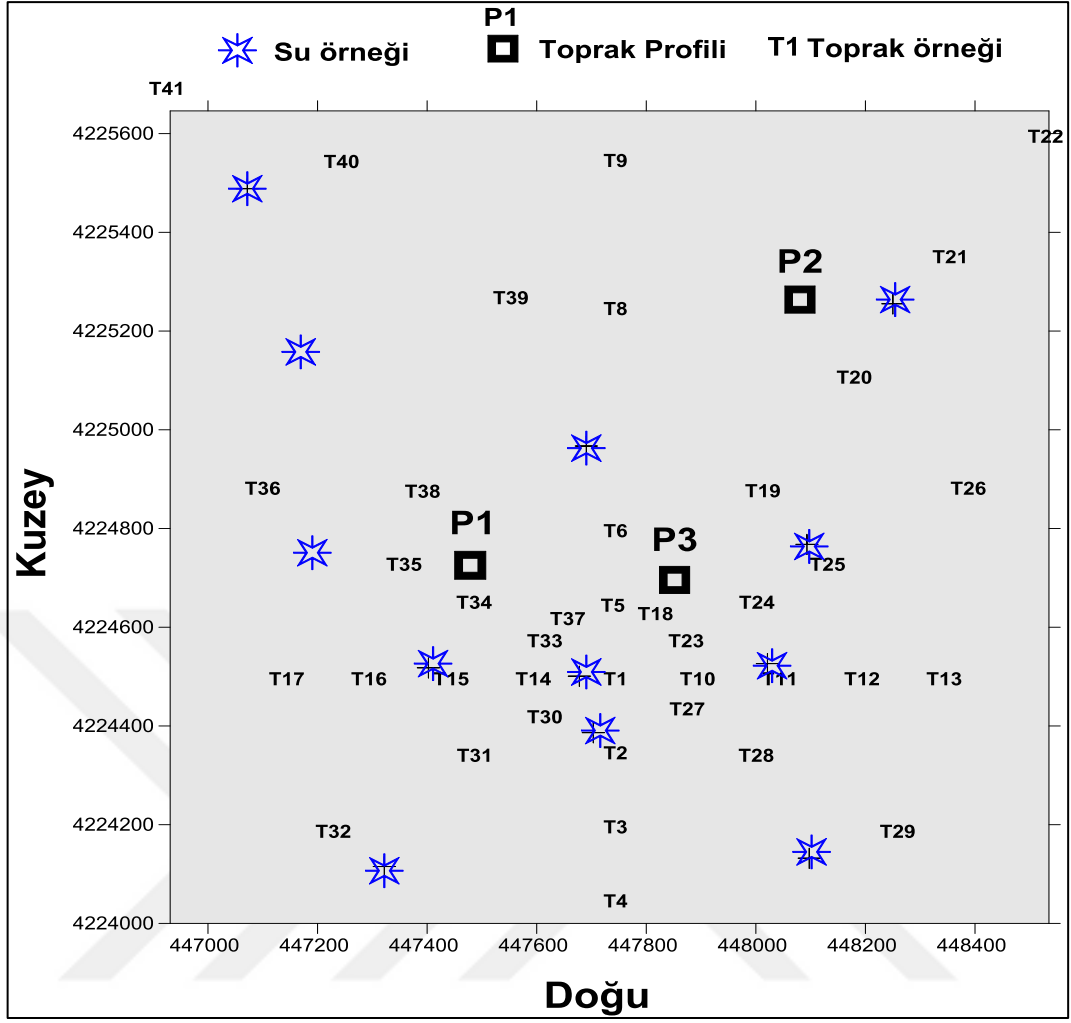
amacıyla açılan üç farklı araştırma kuyusundan da toprak zonlarını temsil eden 18 adet örnek alınarak toplam 59 örnek toplanmıştır (Şekil 2.1). Örnekleme sırasında sahaya uygunluk göstermesi nedeniyle coğrafi yönler göre hareket edilmiş ve toprak hatları atılırken Garmin marka GPS aletinden yararlanılıp, her örnek noktasının koordinatları arazide kaydedilmiştir.

Örnekler zenginleşme zonu olarak bilinen B zonundan alınmaya çalışılmıştır. Bu zonun çalışma sahasındaki derinliği 20 cm- 70 cm arasında değişmektedir. Analizlerde örnekler homojenleştirebilmek için yaklaşık 500 gr olarak alınmıştır. İnceleme alanında, B zonuna ulaşabilmek için, el burgusu ve el küreği yardımıyla alınan örnekler arazide kilitli naylon poşetlere konmuş ve üzerine numarası asetatlı kalemle yazılmıştır.

İz elementlerin dağılımı için toprağın tane boyunun önemi büyüktür. Mobilitesi yüksek olan elementler, kil ve Fe- Mn oksitler tarafından soğurulduklarından, toprağın ince taneli bileşenlerinde zenginleşirler. En iyi sonuç ise bu ince tanelerin alınmasıyla elde edileceğinden ince malzemedir ve organik malzeme içermeyen kısımlardan örnek almaya dikkat edilmiştir.

Su örneklerinin alınmasında ise yağış rejimine bağlı hareket edilmiş, yağış dönemi sonunda yağışın en az ve sıcaklığın yüksek olduğu Temmuz ayı örnekleme zamanı olarak seçilmiştir. İşletme atık sahası havuzu, pınar, dere, Lâdik mahallesi ve civarına su sağlayan su bendinden olmak üzere toplam 13 adet su örneği alınmıştır (Şekil 2.1).

Örnekleme sırasında 500 mililitrelik polietilen şişe kullanılmıştır. Örneklerin toplam çözünmüş madde miktarı, sıcaklıkları, pH değerleri, iyonik iletkenlikleri sülfat ve toplam demir içerikleri arazide ölçülmüştür. Ölçümlerde taşınabilir Jenco marka pH metre, iyonik iletkenlik, sıcaklık ölçer kullanılmıştır. Daha sonra yapılacak katyon analizi için alınan örnekler 100 ml lik şişelere 0.45µm seluloz kağıt filtreden geçirilerek ve pH<2 olacak şekilde nitrik asit ilave edilerek koruma altına alınmıştır. Anyon analizleri ise iki gün içerisinde yapılmıştır.



Şekil 2.1. İnceleme alanında derlenen toprak ve su örneklerine ait lokasyon haritası

Kayaç örnekleri alınırken bölgedeki jeolojiyi temsil etmesi ve iz element konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla mermer, kuvarsit, kalkışt, metaandezit ve kireçtaşı olmak üzere 7 adet kayaç örneği alınmıştır.

Jeolog çekici kullanılarak alınan kayaç ve cevher örnekleri ise farklı boyutlarda malzemeyi karakterize edecek şekilde örneklenmiş, naylon poşete konularak numaralandırılmıştır.

2.1.2 Laboratuvar çalışmaları

2.1.2.1 Toprak örneklerinin analize hazırlanması

Araziden alınan toprak örnekleri 24 saat 60°C de kurutulduktan sonra, 2 mm elekten geçirilerek agat havanda öğütülmüş, öğütülen miktar çeyreklerek elementlerin her yere eşit dağılması sağlanmıştır. Bu örneklerin ana ve iz element içerikleri HNO₃-HCl-

HF asit kullanılarak mikrodalga fırın kullanılarak 180°C de çözüldürülmüş ve ICP- MS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

2.1.2.2 Su örneklerinin analize hazırlanması

Araziden alınan 13 adet su örneği 2 grupta analize hazırlanmıştır. Birinci grupta örneklerden 0.45 mikron açıklıklı filtre kâğıdı kullanılarak süzölmüş ve 100 ml alınarak içine nitrik asit ilave edilerek pH<2 olması sağlanmıştır. Asitle muamele edilen örnekler katyon alanizi için Kocaeli Üniversitesi Analitik Laboratuvarları'na gönderilmiştir. Örneklerin jeokimyasal analizleri birçok elementi ppt seviyesinde ölçebilen (ultra trace) ICP- MS yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Ayrıca su örnekleri alındıkları günden itibaren hemen kuru buz uygulaması ile korunmuş ve anyon analizi için aynı Laboratuvara gönderilmiş, burada sülfat, nitrat, nitrit, klorür, fosfor ve toplam demir miktarları Uv spektrofotometre ve titrasyon yöntemiyle analiz edilmiştir.

2.1.2.3 Kayaç ve curuf örneklerinin analize hazırlanması

Doğadan alınan 7 adet kayaç örneği çekiçle kırılıp iri parçalara ayrılmıştır. Bu parçalar laboratuvarında çeneli kırıcı yardımıyla orta boyuta düşürölmüş ve pulvalizatör kullanılarak 80 mesh boyutunda homojen olarak öğütölmüş, homojen öğütölemeyen örnekler agat havan kullanılarak homojenleştirilmiş ve 50 şer gramlık kilitli poşetlere konulup Kanada'daki Acme Analitik Laboratuvarlarında analiz edilmiştir. Cüruf örnekleri de aynen kayaç örnekleri gibi hazırlanıp analiz edilmiştir.

2.1.2.4 Bitki örneklerinin analize hazırlanması

Bölgede yaygın olan bahçe bitkilerinden odunsu olanların (ceviz, elme, kiraz gibi) bir yıllık sürgünlerinden alınan örnekler kağıt poşetlerde laboratuara getirilmiş, iki gün gölgede kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra kurumayan ve nemli olan numuneler etüvde 40°C de kurutulmuş, agat havan yardımıyla 100 mesh boyutunda öğütölerek homojen hale getirilmiştir. Kurutulmuş ve öğütölmüş örneklerden 1g kuru örnek mikrodalga fırında HNO₃ kullanılarak parçalanmış, köpürmeyi önlemek amacıyla H₂O₂ ilave edilmiş ve daha sonra kral suyunda (Agua Regia) analize hazır hale getirilmiştir. Daha sonra analize hazır örnekler ultratrace element analizi için ICP- MS kullanılarak analiz edilmişlerdir.

2.1.3 Analitik yöntemler

2.1.3.1 Arazide yapılan ölçümler

Su örneklerinin pH, Eh, sıcaklık, toplam çözülmüş madde miktarı (TDS) ve elektrik kondaktivite değerleri arazide Jencho marka taşınabilir 2 adet cihazla, AMD test kiti ile ise diğer parametreler ölçülmüştür (Fotoğraf 2.1).

ICP-MS ölçümlerinde, plazma bir radyo frekansı alanı içinden geçen argon gazı tarafından oluşturulur. Burada argon kısmi iyonlaşma tarafından muhafaza edilir. Bu durum 10.000 °C ye varan sıcaklıklara ulaşılmasına olanak sağlar. Yüksek sıcaklıkta çoğu elementler, ölçülebilen ve derişim belirlenmesinde kullanılabilen karakteristik dalga boyu ışık yayar.

Analiz edilecek örnek plazma içine küçük damlacıklar (aerosol) şeklinde takdim edilir. Farklı elementlerden kaynaklanan ışık farklı dalga boylarına ayrılır ve bunlar dedektörler tarafından algılanır. Bu durum 40'a varan elementin aynı anda analizine olanak sağlamaktadır ve ICP- MS bu yüzden multi-element analiz tekniği olarak kabul edilmektedir. Tespit sınırı mg/l düzeyindedirler.



Fotoğraf 2.1. Sulama amaçlı kullanılan Lâdik su bendi havzasında örnek alımı ve çeşitli parametrelerinin yerinde ölçülmesi

5 gr örnek 90 ml 2-2-2 HCL-HNO₃-H₂O ile 95°C'de 1 saat liç işlemine tabii tutulmuş daha sonra çözelti 300 ml'ye sulandırılmıştır. Filtrelenen çözelti ICP- MS ile analiz

edilmiştir. Araziden alınan 59 adet toprak numunesinin ağır metal içeriği bu yöntem kullanılarak tespit edilmiştir.

2.1.3.2 Anyon analizleri

Sülfat ölçümünde numunenin pH'ı 2-10 arasında olmalıdır. Doğadan alınan bütün örnekler bu şartı sağlamaktadır. Ölçümde test tüpüne 2,5 ml örnek koyulmuş ve 2 damla SO₄-1A kodlu kimyasal ilave edilip karıştırılmıştır. Daha sonra mikro kaşıkla SO₄-2A tozu ilave edilerek ve karıştırılmıştır. Test tüpü 5 dakika bekletildikten sonra 2,5 ml SO₄-3A bekletilen örneğe ilave edilmiştir. Daha sonra 0.45 µm açıklıklı filtre kağıdıyla tüpteki karışım süzölmüş ve süzöntüye 4 damla SO₄-4A kimyasalı ilave edilip karıştırılmıştır. Test tüpü 7 dakika boyunca bekletilmiş ve örneğin toplam sülfat içeriği ölçölmüştür.

Toplam demir miktarı ölçümünde ise; test tüpüne 5 ml örnek konulmuş ve karıştırılmıştır. Daha sonra 3 damla Fe-1AN kodlu kimyasal ilave edilmiş ve 3 dakika bekletilmiştir. 3 dakika sonunda elde edilen karışımın toplam demir miktarı ölçölmüştür.

2.1.4 Büro çalışmaları

Araziden 2 dönem halinde alınan örnekler analize hazırlanmış, gözlemler ve önceki çalışmalardan bölgenin jeolojik haritası oluşturulmuştur. Analiz sonuçları ofis programları ve jeolojik bilgisayar programları yardımıyla hazırlanan grafikler ve yapılan istatistik değerlendirme sonuçları yorumlanmış değerlendirme yapılarak bu çalışma tez yazım kurallarına göre yazılmıştır.

BÖLÜM III

BULGULAR

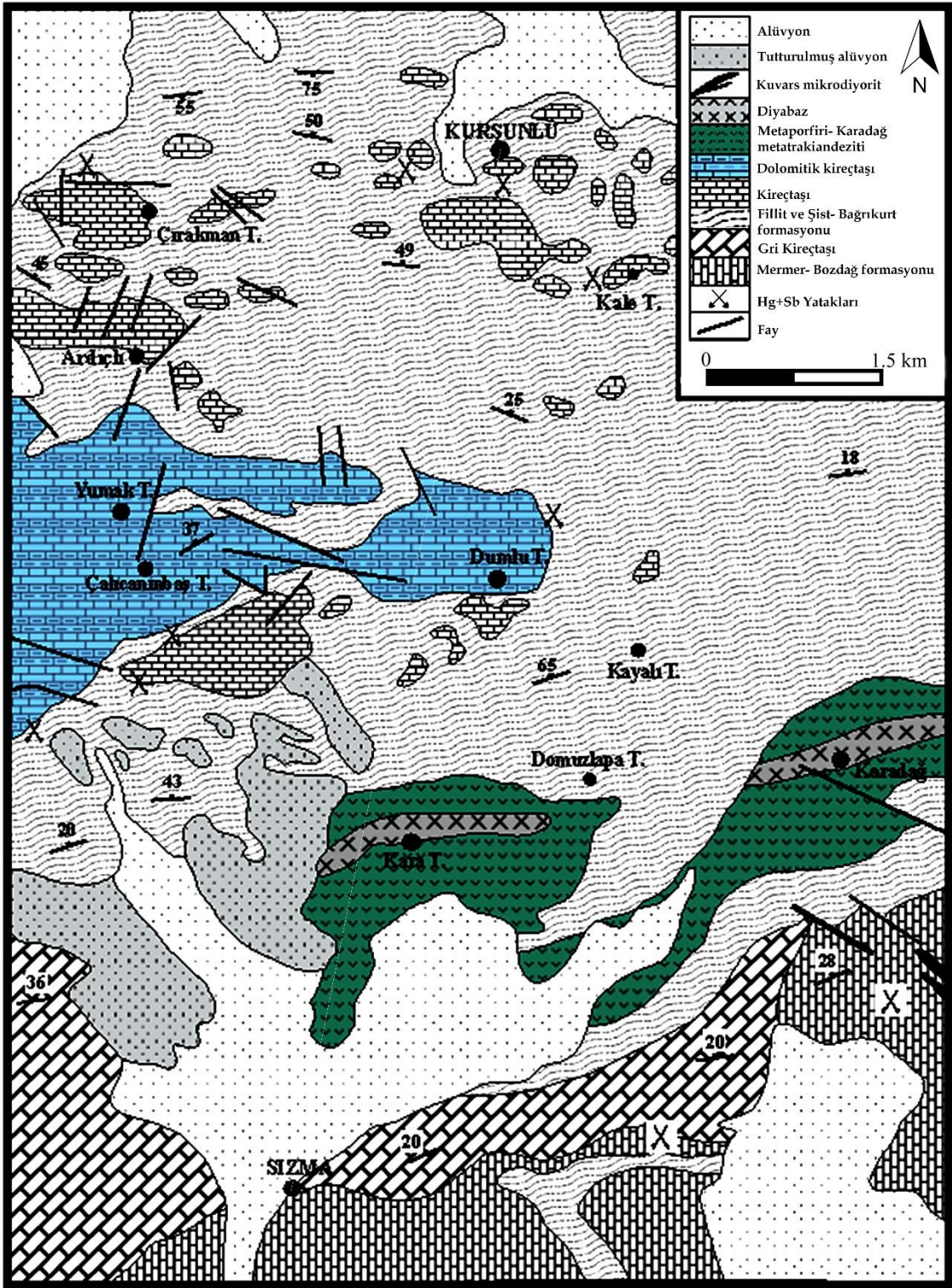
3.1 Çalışma Alanının Genel Jeolojisi ve Tektoniği

İnceleme alanında dört ayrı litostratigrafik birim yer almaktadır. Siluriyen- Alt Karbonifer yaşlı, yer yer dolomitleşmiş, beyaz, gri, siyah renkli mermerden oluşan Bozdağ formasyonu bölgede en yaşlı birim olup temel kayaçlarını oluşturmaktadır. Bu formasyonun üzerine uyumlu olarak, Karbonifer- Permiyen yaşlı Bağrıkurt formasyonu gelmektedir. Bağrıkurt formasyonu meta-çört, meta-kumtaşı ve kuvarsit ara düzeyli gri, kahve, yeşil renkli fillit ve şistlerden oluşmuştur. Bu birimler Triyas yaşlı, yer yer şisti özellik gösteren yeşil renkli Karadağ metatrakiandeziti tarafından kesilmekte ve uyumsuzlukla Kuvaterner yaşlı alüvyon tarafından örtülmektedir. Bölgenin jeoloji haritası önceki verilerin sadeleştirilmesi ve arazi gözlemlerinden yararlanarak yapılmıştır (Şekil 3.1). Bölgede belirlenen birimler yaşlıdan gence doğru sırasıyla ele alınmıştır.

3.1.1 Bozdağ formasyonu

Bozdağ formasyonu krem, gri ve koyu gri mermerlerle, yer yer dolomit, dolomitik kireçtaşı ve siyah mermerlerden oluşmaktadır. Formasyon adı Doğan (1975), tarafından verilmiştir. Formasyon inceleme alanının batı ve kuzey kesimlerinde geniş bir alanda yüzeylemektedir.

Bozdağ formasyonu esas olarak karbonatlı kayaçlardan meydana gelmektedir. Gri ve siyah mermerlerin arasında dolomitleşmiş kısımlar bulunmaktadır. Birimin içerisinde kuvarsit seviyelerine de rastlanmaktadır. Daha çok tepe ve sırtlarda yüzeyleyen, sert ve kırılğan özellikte olan birimin kristalize kireçtaşları genellikle beyaz olmalarına rağmen, ani değişen renk tonlarına, gri-siyah renge geçiş yapmaktadır. Özellikle boz kireçtaşlarında tabakalanma fazla belirgin değildir. Buna karşılık üst düzeylerde tabakalanma daha belirgin olarak gözlenmektedir (Fotoğraf 3.1).



Şekil 3.1. Sızma- Lâdik Hg madenleri çevresinin jeoloji haritası (Barnes vd.,1971 ve Aydın 1996, revize edilmiştir.)

Şeker dokulu beyaz mermerlere hem Bozdağ formasyonu hem de Bağrıkurt formasyonunun içinde bloklar şeklinde rastlanmaktadır. Bozdağ formasyonu yer yer dolomitik karakterli kalın mermerlerde içerir. Çalışma alanının güneyinde, Sızma'nın

doğu ve batısında Bozdağ ve Bağrıkkurt formasyonlarının sınırında özellikle de Bozdağ formasyonuna ait dolomitik kireçtaşları ile şistlerin dokanağına yakın yerlerde yaygın Zinober ve Antimonit ile belirgin olan civa oluşumları gözlenmektedir. İnceleme alanında sözkonusu bölgede önceden işletilen, fakat ekonomik önemini kaybetmesi nedeniyle şu an kapatılmış olan iki adet civa ocağı mevcuttur (Şekil 3.1, Fotoğraf 3.1).

İnceleme alanında Bozdağ formasyonu en yaşlı birim olarak temeli teşkil etmektedir. Bu formasyon üzerinde uyumlu olarak Bağrıkkurt formasyonu izlenmektedir. Daha önceki araştırmacılar (Pehlivan, 1976) tarafından farklı stratigrafik seviyelerde ve mermerlerden oluştuğu belirtilen Bozdağ formasyonunun, Eren (1993) tarafından tek bir formasyon özelliğinde olduğu ortaya konulmuştur. Önceki bulgulara (Doğan, 1975; Pehlivan, 1976) göre birimin yaşının Siluriyen- Alt Karbonifer olması olasıdır.

3.1.2 Bağrıkkurt formasyonu

Bağrıkkurt formasyonu genellikle metakumtaşı, metakonglomera, metaçört, kuvarsit aradüzeyle ve kristalize kireçtaşı blokları içeren fillit ve şistlerden oluşmaktadır. Formasyon tipik olarak gözlendiği çalışma alanının dışında kalan Bağrıkkurt Köyü'ne istinaden Eren (1993) tarafından isimlendirilmiştir.

Formasyonun hakim litolojisi olan fillitler, genellikle yeşil, koyu yeşil ve ayrışma yüzeylerinde kahverenkli. Bağrıkkurt formasyonunda yaygın olarak gözlenen şistler; muskovit, klorit ve serisit oluşturduğu lepidoblastik seviyelerle kuvarsın oluşturduğu granoblastik bir dokuya sahiptir. Kayaçtaki plajiyoklaslar yer yer porfiroblast halde olup, kayaç, ayrıca porfiroblastik bir doku da sunar. Mineralojik bileşimi göz önüne alındığında bu kayaçlar “klorit muskovitşist” olarak adlandırılabilir.

Bağrıkkurt formasyonuna ait metakumtaşları genellikle gri, açık yeşil ve açık kahve ince kumdan, kaba kum ve ince çakıl boyutuna kadar değişen boyutlarda genellikle iyi boylanmalı ve yer yer türbiditik çakıltaşlarıyla geçişlidirler (Fotoğraf 3.1). Formasyon içerisinde ara düzeyler halinde izlenen bu metakumtaşlarında kuvarslar yaygın olup, genelde iri kristallidirler. Bunlar serisit, klorit, muskovit, ve küçük taneli kuvarslardan oluşan bir hamur ile tutturulmuştur. Metakumtaşları içerisinde ayrıca iri plajiyoklas kristallerine de (~%8) rastlamak mümkündür.

Formasyonun metaçörtleri önceki araştırmacılar tarafından üye mertebesinde tanımlanmışlardır (Üstündağ 1987, Eren 1993). Bozdağ formasyonu yer yer dolomitik karakterli kalın mermerlerden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Bağrıkkurt formasyonuna ait bir diğer litoloji kuvarsitlerdir. Bağrıkkurt formasyonunun önemli bir litolojisi de genellikle fillitlerin içinde allokton olarak gözlenen mermer bloklarıdır. Bu oluşuklar Üstündağ (1987) tarafından Bahçesaray olistolitleri şeklinde üye mertebesinde, Eren (1993) tarafından ise Ardıçlıtepe üyesi ve Bahçesaray olistolitleri şeklinde tanımlanmıştır. Özellikle Lâdik batısında gözlenen beyaz kristalize kireçtaşının burada fillitler içinde bloklar halinde görülmektedir.

Bağrıkkurt formasyonunun metaklastiklerinin içinde fosile rastlanamamıştır. Ancak Bozdağ formasyonundan türeme mermer bloklarında bol miktarda krinoid fosilleri bulunmuştur. Eren (1993) saha dışında olistostromal kireçtaşları içinde bulunduğu fosiller ve stratigrafik konumu bakımından formasyona Devoniyen- Alt Permiyen yaşını uygun görmüştür. Özcan ve ark. (1988) ise, bu formasyona karşılık gelen Halıcı Grubu için Karbonifer yaşını önermişlerdir. Bu görüşlerin ışığı altında, formasyonun yaşı Karbonifer - Permiyen olarak kabul edilmiştir.



Fotoğraf 3.1. İnceleme alanında yüzeyleyen Bozdağ formasyonuna ait mermerler ile Bağrıkkurt formasyonuna ait metakumtaşları ile metapelitik kayalara ait genel görünüm.

3.1.3 Karadağ metatrakiandeziti

Metatrakiandezitler genellikle taze yüzeylerinde yeşilimsi gri altere yüzeylerde ise kahverengi ve mor renklerde, inceleme alanının güneydoğusunda Kara Tepe ve civarında yaygın olarak gözlenmektedir (Şekil 3.1). Yörede bulunan ortaç bileşimli metatrakiandezitler keratofir, andezitporfir olarak nitelenmişlerdir. Doğan (1975), yörede metaspilit ve metadoleritik dayklardan oluşan metavolkanitleri “Karadağ

metaporfiriti” olarak; Eren (1993) tarafından ise “Karadağ metamagmatikleri” olarak adlandırılan bu metavolkanitler, Kurt (1994) tarafından “Metatrakiandezit” şeklinde adlandırılmıştır.

Metatrakiandezitler, taze yüzeylerinde yeşilimsi gri olup birim bol çatlaklıdır. Makroskopik olarak yeşilimsi ve ince taneli bir hamur içerisinde yer yer iri beyaz prizmatik şekilli feldispat kristalleri ihtiva eder. Feldispatların boyutu yaklaşık 0.5- 1.5 cm arasındadır. Bu kayaçların içerisinde yer yer daha bazik bir magmaya ait siyah anklavlar gözlenir. Metatrakiandezitler makro olarak belirgin foliasyonludur. Düşük dereceli metamorfizma izleri taşıyan bu kayaçların, bazı düzeylerinde şistozite gayet güzel izlenmektedir. Kayaçta yer yer piroksen, epidot ve kloriti ayırt etmek mümkündür. İnceleme alanında, metatrakiandezitlerde bol kırık ve çatlak yapıları ile bu kırık yapılar boyunca makro düzeyde yoğun epidot oluşumları izlenir. Kayaçların çatlaklarında çözeltilerin etkisi ile oluşmuş kuvars, aktinolit, epidot ve zoisit/ klinozoisit oluşumlarına rastlanmaktadır. Tüm bu alterasyonların hidrotermal şartlarda oluştuğu düşünülmektedir. Bazı metatrakiandezit düzeylerinde, kayaç içerisinde çatlak dolgusu şeklinde kurşun grisi antimuan oluşumları izlenir.

Karadağ metatrakiandezitlerinin yaşı kesin olarak belirlenememektedir. Önceki araştırmacılar tarafından metaspilitlerle birlikte değerlendirilen bu kayaçların Mesozoyik yaşta oldukları kabul edilmektedir (Eren, 1993; Kurt, 1994; Hekimbaşı, 1997).

Metatrakiandezitler inceleme alanında Karbonifer- Permiyen yaşlı Bağrıkurt formasyonunu kesmektedir. Eren (1993) bu metavolkanitleri Geç Palezoik’e ait ada yayı volkanitleri olabileceğini vurgulamaktadır. Bu bilgiler ışığında birim yaşının Triyas olabileceği düşünülmektedir. Daha yaşlı birimlerle birlikte Kretase’den önce (Hekimbaşı, 1997) metamorfizma geçirmiş olmaları da bu yaşa uymaktadır.

3.1.4 Alüvyon

Birim inceleme alanında yamaç molozu ve alüvyal şeklindeki genç çökellerden oluşmaktadır. Yöredeki tüm formasyonları açısız uyumsuzlukla örter. Genellikle kil, kum, çakıl gibi litolojilerden oluşur. İnceleme alanının güneyindeki kuru dere yataklarında izlenen alüvyonlar, Kuvaterner yaşlıdır.

3.2 Sızma- Lâdik Hg Yataklarının Jeolojisi ve Mineralojisi

Sızma- Lâdik Hg yatakları Üretim yaptığı yıllarda Türkiye üretiminin yaklaşık üçte birini karşılamıştır (Yıldız, 1978). 8000 yıllık geçmişleriyle bu madenler belki de Türkiye'nin ilk Hg maden işletmelerini oluştururlar. Çırakman Tepe ve Büyük Maden yatakları sahanın en önemli Hg yatakları olup, Çamlıcanın Baş Tepe, Kurşunlu ve Ardıçlı Tepe'de de daha küçük ölçekli Hg işletmeleri bulunmaktadır (Şekil 3.1). Bu civa yataklarının çevresinde çok küçük boyutlu ve işletilmemiş Cu ve Pb- Zn oluşumları da mevcuttur.

Bu yataklarda cevher, daha çok benekler ve 1 cm den kalın ağsal damarcıklardan oluşmaktadır (Fotoğraf 3.2). Hidrotermal kuvars (Fotoğraf 3.3) ve kalsit yoğun olarak cevveli zonlara eşlik etmektedir (Fotoğraf 3.3).

Bu durum, bölgedeki epitermal civa yatakların epijenetik kökenli olduğunu ve büyük olasılıkla kuvars mikrodiorit ve diyabaz dayklarına bağlı oluşan bir hidrotermal sistemde oluştuğunu gösterir. Daykların ve cevherli zonların KB - GD (K60B) doğrultusunda yerleşmiş olmaları bu düşünceyi destekler niteliktedir. Cevherli zonlar 20 - 200 cm kalınlığında, 1 - 4 m genişliğinde ve 5 - 30 m uzunluğunda olup, çoğunlukla faylı ve breşik yapıları karbonatlı kayaç- fillit (ve/ veya şist) dokanaklan boyunca ve dokanaktan bir kaç metre uzakta karbonatlı kayaçlar içerisindeki kırık zonlarında yer alır (Fotoğraf 3.2; Barnes vd., 1971; Yıldız, 1978).

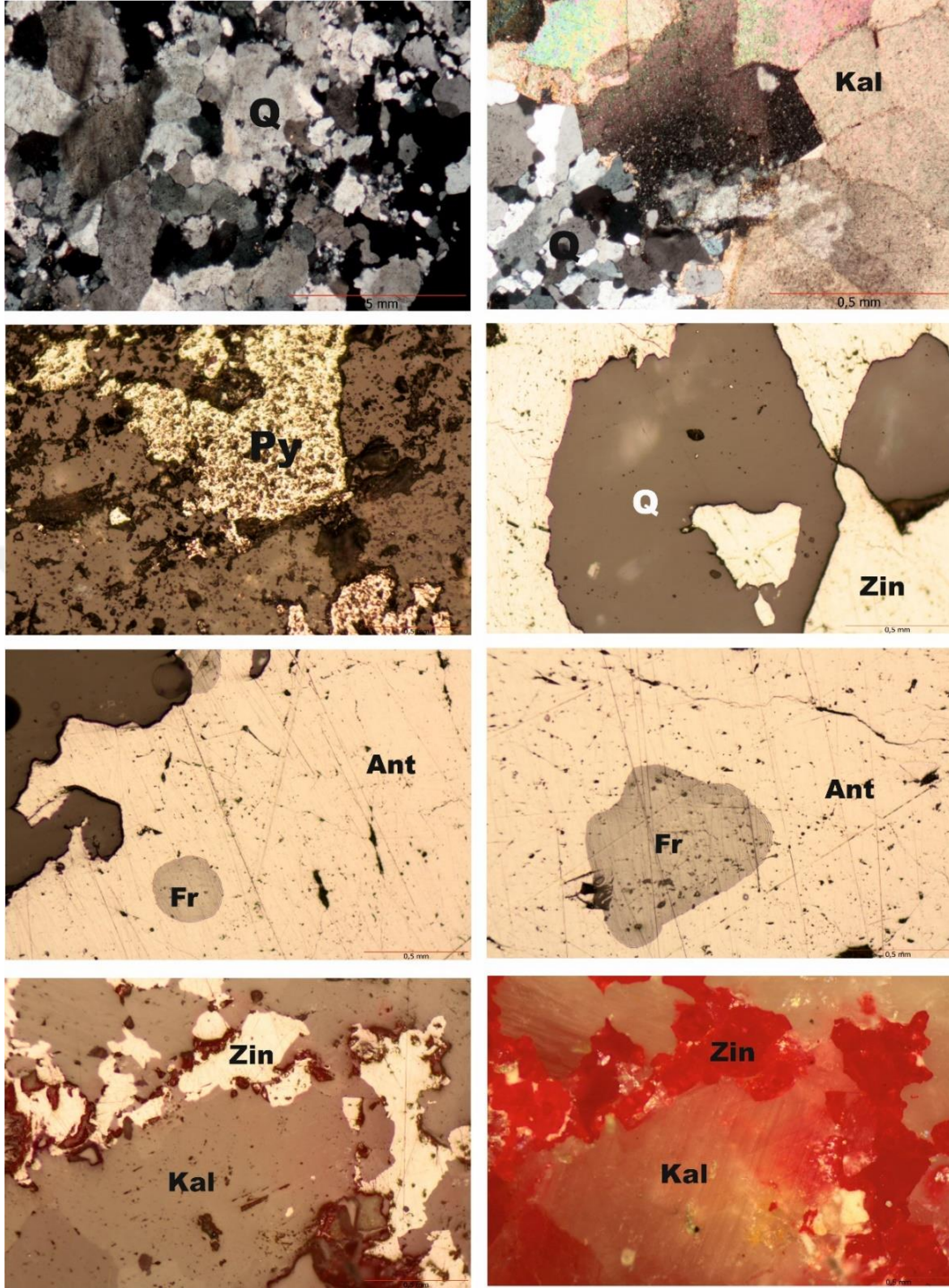


Fotoğraf 3.2. Kurşunlu Hg yatağında bir damarın galeri girişindeki görünümü, damar etrafında silisleşme, hematitleşme ve damarın orta kesimine doğru killeşme yaygın olarak görülen alterasyon türleri.

Sızma- Lâdik Hg yataklarında esas cevher minerali zinober, az miktarda antimonit,

pirit, realgar, orpiment ve arsenopirit ise buna eşlik etmektedir (Fotoğraf 3.3). Genel olarak mineral parajenezini; kuvars, arsenopirit, pirit, florit, antimonit, metazinober, zinober ve kalsit oluşturur. Cevherli zonların çevresindeki karbonatlı kayalar ve fillit ve şistler hidrotermal alterasyona uğramış ve çoğunlukla silisleşmişlerdir. Killeşme yöresel olarak mevcuttur (Fotoğraf 3.2). Çelik ve Arslan (1994) yaptıkları XRD çalışmaları sonucunda, killeşmenin yoğun olduğu bölgelerde alterasyon zonunun başlıca muskovit, mikroklin, kuvars, klorit, siderit, kalsitten ve kil minerallerinin de çoğunlukla illitten oluştuğunu belirlemişlerdir.





Fotoğraf 3.3. Yan kayaç, cevher ve gang minerallerinin mikroskoptaki görünümü. Q: Kuvars, Kal: Kalsit, Py: Pirit, Zin: Zinober, Ant: Antimonit, Fr: Fraiberjit

3.3 Atıkların Yayılımı ve Mineralojisi

Kalsinasyon işleminden sonra ortaya çıkan atıklar, yüzeyde yaklaşık 50- 55 dönümlük araziye yayılmış olduğundan uzun yıllardır süperjen etkilere açık bir şekilde bulunmaktadır (Fotoğraf 3.4). Atıklarda yapılan makroskopik ve mikro mineralojik

incelemelerde pirit, kalsine edilmemiş örneklerde zinober, az olmakla birlikte zinober, antimonit, realgar minerallerinin yaygın olduğu tespit edilmiştir. Cürufların arazide yayıldığı bölgede başlıca; metamorfik kayalar metakumtaşı, mermer, kalkışist, dolomitik kireçtaşından oluşan birimler yer alır. Birçok alanda birimler tarım toprakları ile örtülü olduğundan izlenememektedir.

Bölgedeki atıklardan alınan örneklerden yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre, cürufların yüksek oranlarda Pb, Zn, Cu Ag, As, Sb ve Hg içerdikleri belirlenmiştir. İnceleme sahasında bulunan bu atıkların zengin ağır metal içeriği, cevher mineralojisi bölümünde verilen pirit, arsenopirit, antimonit, zinober gibi minerallerden kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca cevher üretimi, kalsinasyon yöntemiyle yani cevherli kayaç örneklerinin çeşitli boyutlarda kırılarak fırınlarda ısıtılması ve minerallerin bozulması sonucunda açığa çıkan civa buharının uzun, soğuk bacalar boyunca yoğunlaştırması sonucu yapılmıştır. Bu nedenle doğada oldukça duraylı olan zinober ve meta zinober minerallerinden oldukça duraysız olan Hg buhar haline getirildiğinden, doğrudan atmosfere katılarak ve orada yoğunlaşarak işletme etrafındaki tarım alanlarına dağılmış olabileceği düşünülerek oldukça geniş bir alanda örnekleme yapılmış, bölgedeki tarım arazileri kontrol edilmeye çalışılmıştır.

3.4 Su Jeokimyası

Aktif veya terk edilmiş madenlerin bulunduğu yerlerde asit maden drenajı problemleri ve bu madenlerden yayılan metallerin, yer altı ve yüzey sularına yaptıkları etkiler son yıllarda oldukça dikkat çekmiş ve çekmeye de devam etmektedir (Winland vd., 1991; Edraki vd., 2005; Çubukcu vd., 2007, Lermi ve Kelebek, 2007).

Su kaynaklarından verimli bir şekilde faydalanmak için öncelikle kullanım alanlarını belirlemek gerekir. Kullanım alanlarının tayininden sonra kullanım parametreleri tayini yapılır. Parametre tayinindeki amaç tehlike sınırlarının tespit edilmesidir. Sular için yürürlükte olan evrensel ve ulusal standartlar bir tablo halinde aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.1, Ek A).

Çizelge 3.1. Yürürlükte olan içme suyu standartları

Parametre	Türk Standartları	Dünya Sağlık	ABD	Avrupa Birliği
	TSE 2004	Örgütü	Çevre.Koruma	
		(WHO)1999	Ajansı	(EC) 1999
	Birincil Standartlar İnorganik Maddeler (mg/l)			
Al	0,20	0,20	0,20	0,2
As	0,01	0,01	0,01	0,01
Ba	0,30	0,70	1,00	-
Cd	0,01	0,01	0,01	0,005
Cr	0,05	0,05	0,05	0,05
F	1,50	1,50	0,7-2,4	1,5
Pb	0,05	0,05	0,05	0,01
Hg	0,001	0,001	0,002	0,001
NO ₃ ⁻	50,00	50,00	45	50
Se	0,01	0,01	0,01	0,01
Ag	0,01	-	0,05	-
Sb	0,01	0,005	0,006	0,005
Be	-	-	0,004	-
	İkincil Standartlar (mg/l)			
Cu	3,0	-	1	2
Fe	0,2	-	0,3	0,2
Mn	0,1	0,5	0,05	0,05
pH	6,5-9,2	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9,5
SO ₄ ⁻²	250,0	250	250	250
TDS	1500,0	1000	500	-
Zn	5	-	5	-
	İlave Parametreler (mg/l)			
Ca	200	-	-	-
Mg	50	-	-	-
Na	175	200	-	200
K	12	-	-	-
NH ₄ ⁺	0,5	1,5	-	0,5



Fotoğraf 3.4. Doğada dış etkilere maruz bırakılmış maden atıklarının arazideki yayılımı

Çalışmanın amacına uygun olarak maden atıklarının hemen yakınındaki kuyulardan, topoğrafik olarak daha yüksekte yüzeyleyen ve köylülerin içme suyu olarak kullandıkları pınarlardan, atıklardan ve işletme sahasından etkilenebilecek derelerden, eski işletme içindeki su havuzlarından (birikintilerden) olmak üzere su örnekleri alınmıştır (Şekil 2.1, Fotoğraf 3.4). Analiz edilen örneklerin sonuçları değerlendirilmiş, yüzey ve yer altı sularının kirlilik boyutları ve kalite sınıfı belirlenmiştir. Bölgeye hidrojeolojik açıdan bakıldığında su örnekleme, Kurşunlu köyü civarı ve eski civa kalsinasyonu yapılan alan ve yakın civarında genel olarak yarı geçirimli ve yer yer kıvrımlanmaya sahip metamorfik kayalar (şist ve mermerler) ve tamamen geçirimli birim olan alüvyonların yaygın olduğu bölgeden yapılmıştır.

3.4.1 Suların major katyon ve anyon içerikleri

Çalışma sahasında toplam 13 adet su örneği alınmış, örnekleme az yağışlı dönem olan 2015 Temmuz ayında (yaz mevsimi) yapılmıştır. Örnekler yüzey suyu (ırmak, Su bendi), pınar ve kuyu suyu olmak üzere 3 grupta toplanmıştır. Alınan sulardan elde edilen jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.2’de ve bu verilerden hazırlanan temel istatistik parametreler Çizelge 3.3’de özet olarak verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kurşunlu eski Hg işletme sahasından alınan su örneklerine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları (Temmuz 2015; TED: Tavsiye edilen değer, İVMD: İzin verilen maksimum değer)

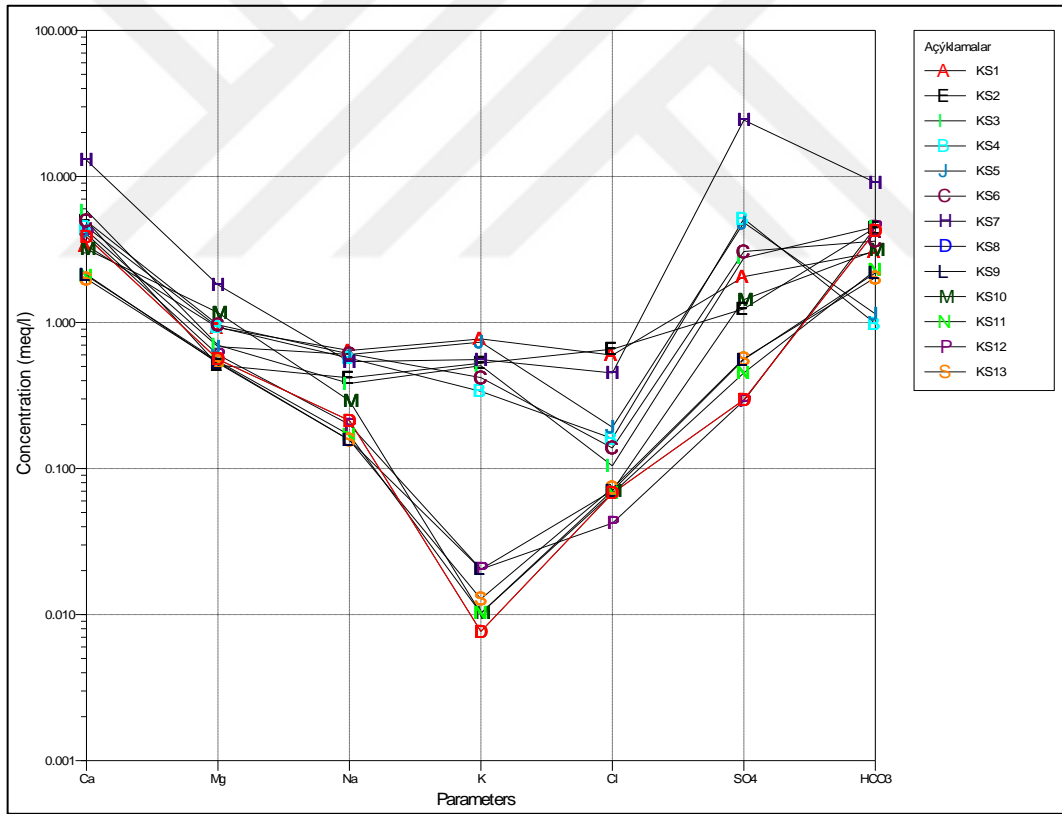
Örnek No	T °C	pH	Eh	EC	TDS	Alk _t	Na	Mg	K	Ca	Al	Mn	Fe	Li	B
			eV	µS/cm	mg/L	mg/L(CaCO ₃)	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
ks1	19	7,78	-46,7	535	431	151,91	14,8	11,2	30,2	67,5	0,43	0,33	<0.1	28,20	53
ks2	16	7,51	-31,3	681	494	223,5	9,6	6,2	20,6	99,2	<0.01	0,24	<0.1	14,10	62
ks3	19	7,92	-54,4	869	570	226	8,8	8,5	19,8	117,0	12,20	<0.01	<0.1	31,50	186
ks4	17	7,94	-55,8	826	443	49,14	13,1	11,3	13,2	90,4	<0.01	<0.01	<0.1	42,90	105
ks5	13	8,01	-59,8	665	451	57,31	13,9	8,3	28,7	85,4	<0.01	<0.01	<0.1	59,60	89
ks6	15	7,76	45,3	674	521	180,57	14,0	11,7	16,4	98,9	<0.01	<0.01	<0.1	34,70	52
ks7	17	7,75	-44,8	1474	2060	454	12,4	22,0	21,8	259,0	1,65	0,11	<0.1	43,30	421
ks8	16	7,48	-29,5	455	367	211,14	4,9	6,8	0,3	77,3	0,30	0,11	<0.1	3,67	19
ks9	19	7,87	-51,6	388	217	109,35	3,6	6,4	0,8	42,7	0,13	<0.01	<0.1	3,42	19
ks10	19	8,02	-60,4	469	348	156,15	6,7	14,2	0,4	63,7	<0.01	<0.01	<0.1	9,67	24
ks11	16	7,94	-55,8	444	217	114,05	3,9	6,6	0,4	42,0	0,32	<0.01	<0.1	3,75	19
ks12	19	7,89	-53	475	385	225,12	4,6	7,3	0,8	80,8	0,01	<0.01	<0.1	2,77	18
ks13	19	7,92	-54,5	459	206	101,6	3,6	6,5	0,5	39,9	0,43	<0.01	<0.1	4,25	19
TED	12	6,5		400			20	30	10	100	0,05	20	50		1000
İVMD	25	6,5		2000	1500		175	50	12	200	0,2	50	200		2000

Örnek No	F	Cl	NO ₂	Br	NO ₃	P	SO ₄	HCO ₃ ⁻	Ca/Mg	Ca/SO ₄	Na/Cl	Su Türü
	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/L(CaCO ₃)				
ks1	374,9	21,2	1,92	<0.25	<0.4	<1	98,9	185,1	6,03	0,68	0,7	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
ks2	481,7	23,3	<0.4	<0.25	1,8	<1	59,6	272,5	16,0	1,7	0,4	Ca-HCO ₃
ks3	2010,0	6,5	<0.5	<0.26	2,01	<1	49,20	275,6	13,76	0,88	2,38	Ca- HCO ₃ -SO ₄
ks4	1518,1	5,7	<0.4	<0.25	0,9	<1	246,3	59,91	8,0	0,4	2,3	Ca- SO ₄
ks5	2024,1	6,8	3,04	<0.25	2,9	<1	231,9	69,9	10,3	0,4	2,0	Ca- SO ₄
ks6	1077,1	4,9	<0.4	<0.25	5,9	<1	147,1	220,16	8,5	0,7	2,9	Ca- HCO ₃ -SO ₄
ks7	3390,3	16,0	1,29	<0.25	1,4	<1	1167,7	554,5	11,8	0,2	0,8	Ca-SO ₄ - HCO ₃
ks8	395,7	2,4	<0.4	<0.25	3,0	<1	14,2	257,43	11,4	5,4	2,0	Ca-HCO ₃
ks9	346,8	2,5	<0.4	<0.25	<0.4	<1	26,8	133,4	6,7	1,6	1,4	Ca-HCO ₃
ks10	461,2	2,5	0,48	<0.25	<0.4	<1	68,9	139,6	4,49	0,92	2,7	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
ks11	313,8	2,4	<0.4	<0.25	0,5	<1	21,7	139,06	6,4	1,9	1,6	Ca-HCO ₃
ks12	258,0	1,5	<0.4	<0.25	0,8	<1	14,0	274,48	11,1	5,8	3,1	Ca-HCO ₃
ks13	348,2	2,6	<0.4	<0.25	0,8	<1	27,2	123,88	6,1	1,5	1,4	Ca- HCO ₃ -SO ₄
TED		25	25		400	25						
İVMD	1500	600	50		0,1	5000	250					

Çalışma alanında birinci dönemde alınmış sulardan pınar sularının sıcaklık değerleri 13- 19.2°C arasında pH değerleri ise 7.48- 8.01 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 3.2). Sıcaklık değerlerinin yüksek olmasına rağmen suların pH'ı pek fazla değişim göstermemiştir. Suların elektriksel iletkenlik değerleri ise 444- 1474 µS/cm arasında değişmektedir. Burada bütün suların elektriksel iletkenlik değerleri su kalitesi yönetmeliğine göre (SKY, 2005) tavsiye edilen değer (TED, 400 µS/cm) üzerindedir izin verilen maksimum değerine (İVMD 2000 µS/cm) yaklaşan KS7 lokasyonundan alınan sudur. Bu örnek eski işletmenin içerisinde bulunan küçük bir su göletinden alınmıştır. Benzer şekilde TDS (toplam çözünmüş madde miktarı) değerleri 206- 2060 mg/l arasında değişmektedir. EC değerlerine benzer şekilde aynı lokasyondan alınan

KS7 örneğinde TED ve İVMD'yi geçen su örneğidir. Diğer yandan KS2, KS6 ve KS7 örneklerinden ölçülen TDS değerli çevre koruma ajansı (EPA, 2002, Çizelge 3.1) TED değerlerine yakın ve hatta üzerindedir. Sularda ölçülen alkalinite değerleri ise 49,14 ile 454 mg/l (CaCO_3) arasında değişmekte ve bu suların oldukça alkali karakterde oldukları işaret etmektedir.

Suların ana element içeriklerine bakıldığında genellikle Ca, Mg ve Na iyonları bakımından baskın sular olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3.2, Şekil 3.3). Sulardaki majör katyon ve anyon içeriklerinin yarı logaritmik Shoeller diyagramındaki dizilimleri incelendiğinde baskın olarak Ca, Mg ve Na+K katyon; HCO_3 , SO_4 ve Cl anyon diziliminde oldukları, akarsulardan ve Lâdik göletinden alınan suların ise açık bir şekilde K, Cl, SO_4 ve HCO_3 içeriği bakımından daha yüksek çözünürlükte oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 3.2).



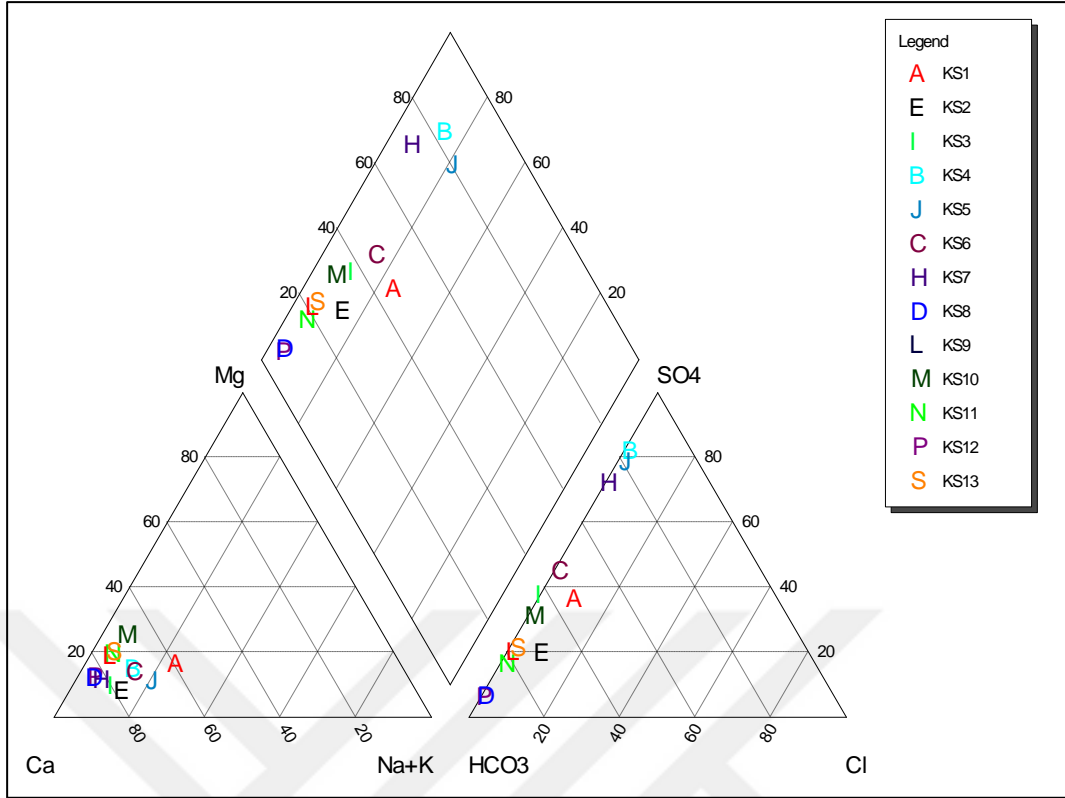
Şekil 3.2. İncelenen sulara ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı

İnceleme alanından alınan Suların Piper ve Durov (Şekil 3.3, Şekil 3.4) diyagramındaki yerlerine bakıldığında ise katyonlardan Ca ve Mg, anyonlardan ise HCO_3 ile SO_4 baskın olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle işletme sahası içinden ve yakınından alınan sularda

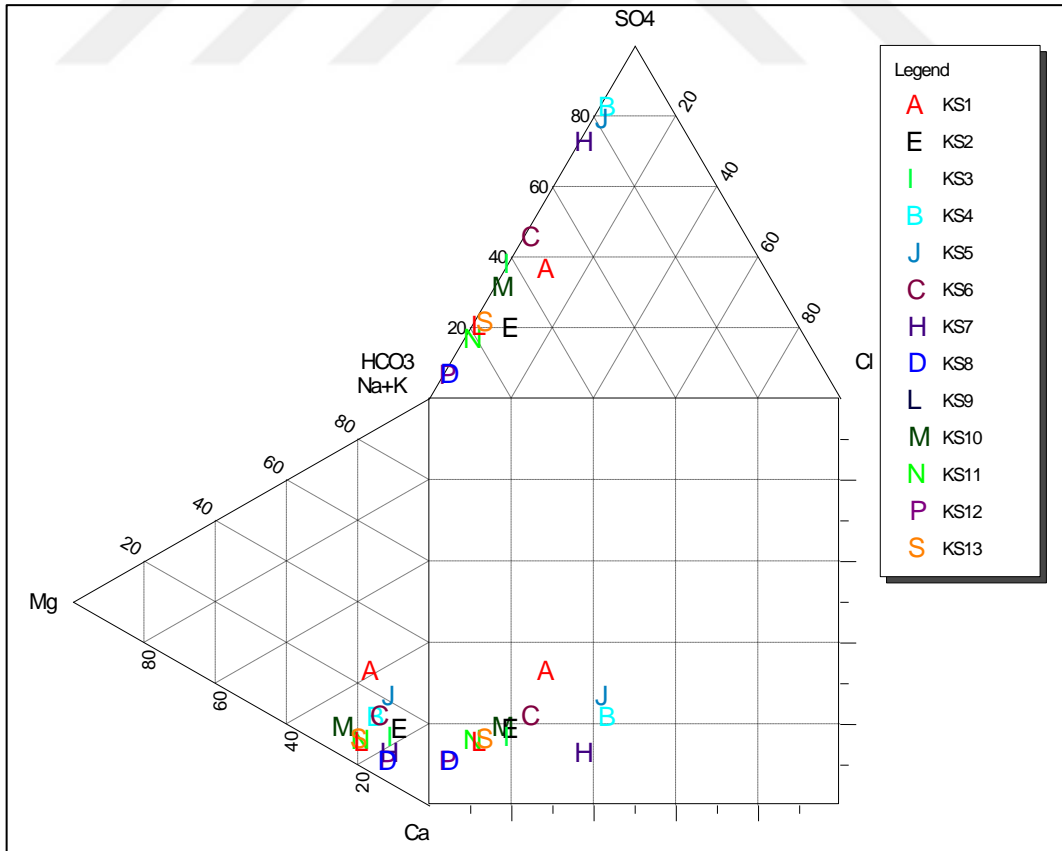
SO₄ ve HCO₃ baskın hale gelirken, akarsulardan, pınarlardan ve göletten alınan sular da ise Cl ve HCO₃ baskın olduğu gözlenmektedir. Bu farklılığın maden atıklarının içerdiği sülfütlü minerallerin zaman içerisinde çözünerek sular da özellikle SO₄ artışına neden olduğu söylenebilir. Sülfütlü minerallerin çözünmesi ile ortaya çıkan H₂SO₄ asit, yani asit maden drenaj oluşumu normalde suların daha asitik hale gelmesini sağlayacağı beklenmelidir. Fakat sular dan ölçülen pH değerleri ise oldukça nötr ve alkali özellikte olduğu görülmektedir (Çizelge 3.2).

Bu durum sulardaki alkanitedeki artışın yan kayaçlardan kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü cevher ve gang mineralojisine bakıldığında ve atıkların olduğu sahanın jeolojik birimlere bakıldığında, gerek cevher gang mineralleri, cevher ana kayacı ve jeolojik birimlerin oldukça reaktif olan CaCO₃ içeren yani gang olarak kalsit ve yan kayaçların ise kristalize kireç taşlarından oluştuğu görülmektedir. Bu durum, sülfütlü minerallerin ayrışması ile ortaya çıkan asitin cevher gang mineralleri ve yan kayaçtan çözünen HCO₃ ile nötralize edildiği anlaşılmaktadır.

Alkalinite sudaki çözünmüş toplam bikarbonat miktarı hakkında bilgi verdiği nden önemli bir parametredir. Özellikle sülfütlü minerallerinin oksitlenmesiyle ortaya çıkacak asidik suların nötralizasyonunu sağladığından, çözünürlüğü değişmekte, suların pH değerini değiştirmektedir. Kurşunlu işletme sahasında yer altı ve yüzey sularında ölçülen Alkalinite değerleri bu durumu doğrular niteliktedir (Çizelge 3.2).



Şekil 3.3. İnceleme alanındaki suların Piper diyagramındaki yerleri



Şekil 3.4. İnceleme alanındaki suların Durov diyagramındaki yerleri

Çizelge 3.3. Sulardaki fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarına ait temel istatistik parametreler ($p>0.05$)

	pH	Eh(eV)	EC	Na	Mg	K	Ca	Al	B	F	Cl	SO ₄	NO ₃
Örnek sayısı	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Ortalama	7,8	-42,5	647,2	8,8	9,8	11,8	89,5	1,2	83,6	1,0	7,6	167,2	1,6
Standart Hata	0,0	7,8	80,9	1,2	1,2	3,3	15,6	0,9	31,2	0,3	2,1	86,2	0,4
Ortanca	7,9	-53,0	535,0	8,8	8,3	13,2	80,8	0,1	52,1	0,5	4,9	59,6	0,9
Standart Sapma	0,2	28,1	291,8	4,4	4,5	11,7	56,2	3,3	112,4	1,0	7,5	310,8	1,6
Basıklık	0,6	9,3	5,2	-1,9	4,1	-1,6	7,7	12,4	7,4	1,8	0,6	10,9	3,8
Çarpıklık	-1,2	2,9	2,1	0,1	1,9	0,3	2,5	3,5	2,6	1,5	1,4	3,2	1,8
En Küçük	7,5	-60,4	388,0	3,6	6,2	0,3	39,9	0,0	17,7	0,3	1,5	14,0	0,4
En Büyük	8,0	45,3	1474,0	14,8	22,0	30,2	259,0	12,2	421,0	3,4	23,3	1167,7	5,9
P (95,0%)	0,1	17,0	176,3	2,7	2,7	7,1	34,0	2,0	67,9	0,6	4,6	187,8	1,0

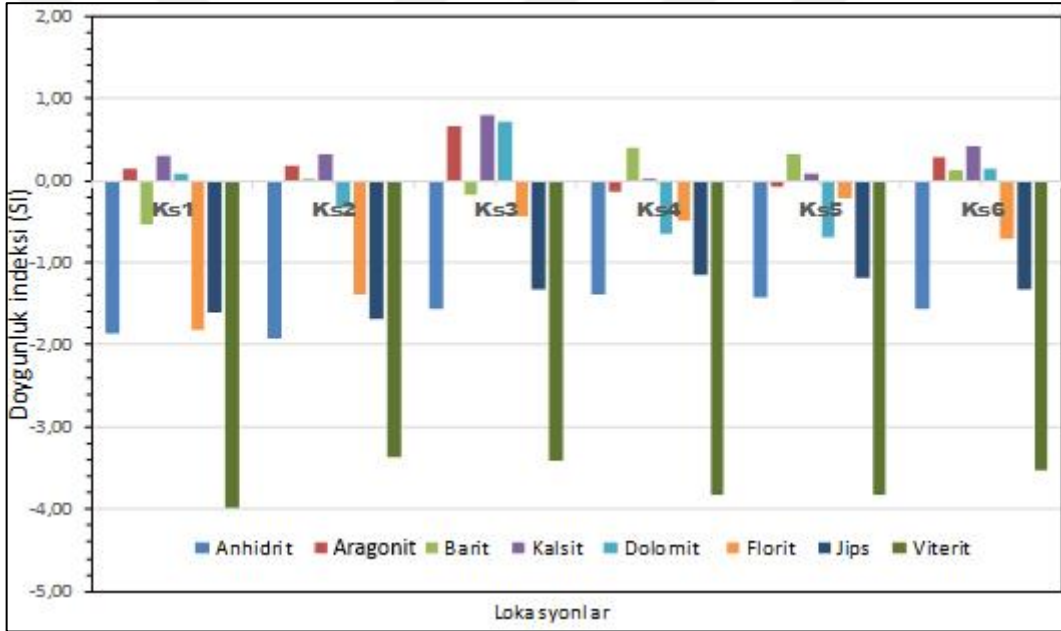
Sonuç olarak, bölgede örnekleme yapılan suların alkali karakter kazandığı (pH 7.48-8.2) ve işletme sahasına yakın olan ve atıklardan etkilenen sularda Ca-SO₄, Ca-HCO₃-SO₄, Ca-Mg-HCO₃-SO₄ tipte, işletmeden uzaklaştıkça suların Ca-HCO₃ ve Ma-Mg-HCO₃ tipte sular oldukları anlaşılmıştır.

3.5 Doygunluk İndekslerinin Hesaplanması

Yer altı suyu dolaşımı sırasında akifer sisteminde suyun etkileşime girdiği kayaç, maden veya maden atıklarında meydana gelen tepkimeler, suların geçmiş oldukları hidrojeokimyasal ortamı hakkında yorum yapma imkânı sağlamaktadır. Bunun belirlenebilmesi için suların kimyasal modellenmesi ve çeşitli mineraller bakımından doygunluk durumlarının belirlenmesiyle bu durum daha iyi anlaşılabilir. İncelenen yüzey, gölet ve pınar sularından arazide ve laboratuarda belirlenen fiziksel ve kimyasal parametreler kullanılarak doygunluk indeksleri Phreeqc 2.8 paket programında hesaplanmıştır (Parkhurst, 1995). İnceleme alanından alınan sulara ait doygunluk indeksi Çizelge 3.4'de verilmiştir. Araziden alınan yüzey sularının doygunluk indeksinin grafiksel değerlendirmesi Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir. Bölgede özellikle madenle direk temas halinde olmayan yüzey sularının Barit, Kalsit, Aragonit ve Dolomit bakımından aşırı doymun olması, bu suların bölgede örtülü olarak bulunan metamorfik temel kayalarının içerdiği kristalize kireçtaşları ve cevher gang minerallerinde bulunan Kalsit ve Barit gibi minerallerle etkileşime girdiğini göstermektedir (Şekil 3.5, Şekil 3.6). Su örneklerinin özellikle Barit (BaSO₄) ve Viterit (BaCO₃) mineralleri bakımından doygunluğa yakın olması, bu suların inceleme alanında bulunan maden atıklarından etkilendiği söylenebilir (Şekil 3.6).

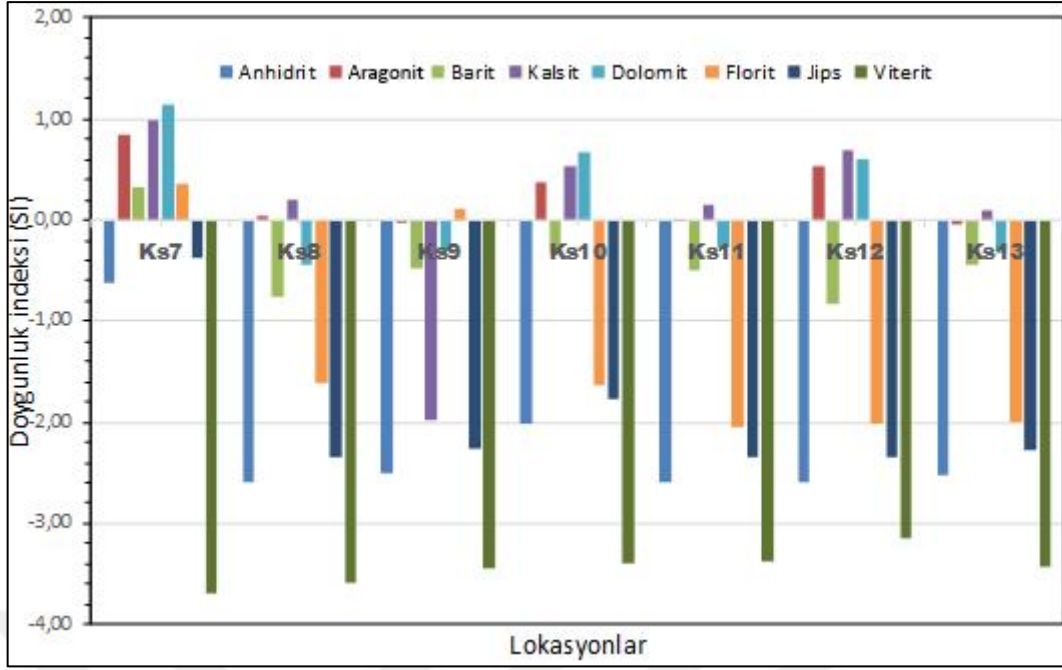
Çizelge 3.4. İnceleme alanındaki yüzey sularında PhreeqC paket programında hesaplanan doygunluk indeksleri

Örnek	Anhidrit	Aragonit	Barit	Kalsit	Dolomit	Florit	Jips	Halit	Viterit
Ks1	-1,85	0,14	-0,53	0,29	0,08	-1,82	-1,61	-8,06	-3,98
Ks2	-1,93	0,17	0,00	0,32	-0,34	-1,39	-1,68	-8,21	-3,38
Ks3	-1,56	0,65	-0,17	0,80	0,72	-0,44	-1,32	-9,06	-3,42
Ks4	-1,40	-0,14	0,39	0,01	-0,66	-0,49	-1,15	-8,69	-3,83
Ks5	-1,43	-0,08	0,33	0,07	-0,69	-0,21	-1,18	-8,58	-3,83
Ks6	-1,57	0,28	0,12	0,43	0,14	-0,71	-1,33	-8,73	-3,52
Ks7	-0,62	0,84	0,32	0,99	1,15	0,36	-0,37	-8,34	-3,69
Ks8	-2,60	0,05	-0,76	0,20	-0,44	-1,61	-2,35	-9,48	-3,60
Ks9	-2,50	-0,03	-0,48	-1,99	-0,31	0,12	-2,26	-9,59	-3,45
Ks10	-2,01	0,38	-0,34	0,53	0,67	-1,64	-1,77	-9,33	-3,40
Ks11	-2,60	0,01	-0,50	0,16	-0,26	-2,05	-2,35	-9,56	-3,38
Ks12	-2,60	0,54	-0,84	0,69	0,61	-2,02	-2,36	-9,72	-3,15
Ks13	-2,52	-0,04	-0,45	0,10	-0,32	-2,01	-2,28	-9,57	-3,44



Şekil 3.5. Kurşun Hg işletmesi sahasından alınan yüzey ve yeraltı sularında hesaplanan doygunluk indeksinin grafiksel görünümü

Beslenme alanından gelen yağışlar hem atmosfer hem de süzildikleri yerlerdeki kayaları da yıkadıklarından çözünen minerallerde farklıdır. Böylece suyun mineral içeriği artmaktadır. Bu da suyun çözünürlüğünün azalmasına neden olacaktır. Doymuluk indeksi değerlerine göre suların Kalsit, Aragonit ve Barit bakımından doymuk olduğu söylenebilir.



Şekil 3.6. İkinci periyot kuyu sularının doygunluk indekslerinin grafiksel görünümü

3.6 Suların İz Element İçerikleri

Çalışma alanından alınan su örneklerinin iz element hidrokimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.5 ve bu elementlere ait özet istatistik parametreler Çizelge 3.6'da verilmiştir. Analiz sonuçlarının daha anlaşılır olabilmesi için veriler SPSS 11.5 kullanılarak korelasyon ve faktör analizine tabi tutulmuş ve elde edilen veriler yorumlanmaya çalışılmıştır. Su jeokimyası sonuçlarından elde edilen çarpıklık katsayıları 0.3 ile 3.5 arasında değişim göstermiştir. Çarpıklık sonuçları çoğu bileşen için dar bir aralıkta değişim göstermiş, birkaç değişken yüksek çarpıklık katsayısı vermiştir. Genellikle değişkenlerin çoğu sağa çarpık normal bir dağılım sunmaktadırlar. Değişimin çoğunlukla dar bir alanda meydana gelmesi örnek azlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Verilerin ortalama etrafındaki dağılımının homojen olup olmadığını, bir başka deyişle, olasılık dağılımının sivriliği ve basıklığını ölçen diğer bir parametre kurtosis ise -1.5 ile 12.2 arasında değişim göstermektedir. Çoğu değişkenler 0 değerine yakın dağılım göstermekte bu da dağılımın normal olduğunu ne basık ne de sivri bir dağılım göstermediğini belirtir. Bir kısım değişken, Hg gibi (12.2), yüksek pozitif değere ulaşması dağılımın dar bir aralıkta değiştiğini oldukça sivri olduğunu göstermektedir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.5. Kurşunlu eski Hg işletme sahasından alınan su örneklerine ait iz element jeokimyasal analiz sonuçları (TED: Tavsiye Edilen Değer, İVMD: İzin Verilen Maksimum Değer)

Örnek No	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Cd	Sb	Ba	Pb	U	Rb	Sr	Hg	B	Se
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
ks1	0,11	0,15	0,32	3,25	1,88	3,42	25,90	0,60	0,009	<0,01	32,60	8,67	0,051	0,67	14,20	405	0,12	53	1,33
ks2	0,13	0,06	0,46	4,66	1,26	1,26	28,80	0,94	0,007	<0,01	35,70	49,30	<0,01	1,22	2,75	343	0,64	62	1,20
ks3	3,43	0,19	0,43	6,44	2,15	2,13	895	6,51	0,018	0,038	4670	20,70	0,03	3,75	18,80	344	5,01	186	43,30
ks4	1,08	0,10	0,34	3,55	1,25	0,67	102	6,31	<0,001	0,014	1660	36,30	<0,01	2,03	13,40	363	0,10	105	37,90
ks5	3,94	0,17	0,26	2,16	0,54	2,35	386	13,70	<0,001	0,037	6140	30,60	<0,01	1,91	39,90	246	0,08	89	205,00
ks6	4,19	0,39	0,26	2,54	0,84	0,95	174	6,25	<0,001	0,021	1550	26,30	<0,01	2,10	19,00	296	0,06	52	88,80
ks7	3,98	0,22	0,82	11,60	1,76	2,44	946	15,10	0,001	0,054	5370	17,20	<0,01	4,66	14,30	554	0,62	421	195,00
ks8	0,15	0,07	0,22	2,17	0,96	0,13	4,86	0,61	<0,001	<0,01	4,86	26,90	<0,01	1,67	0,13	268	0,04	19	1,15
ks9	0,14	0,02	0,19	1,96	0,63	0,22	4,70	0,88	<0,001	<0,01	6,42	30,10	<0,01	1,64	0,27	212	0,05	19	0,70
ks10	0,16	0,03	0,21	2,02	0,82	0,29	0,70	1,47	<0,001	<0,01	1,84	19,50	<0,01	2,82	0,17	336	0,04	24	0,99
ks11	0,24	0,03	0,21	2,17	0,56	<0,01	1,34	0,83	<0,001	<0,01	0,65	29,90	<0,01	1,95	0,17	230	0,03	19	0,37
ks12	0,25	0,04	0,25	2,47	0,49	<0,01	6,18	0,57	<0,001	<0,01	0,84	30,10	<0,01	1,45	0,30	216	0,03	18	0,45
ks13	0,27	0,03	0,20	2,53	0,66	<0,01	2,54	0,81	<0,001	<0,01	3,46	29,10	<0,01	1,92	0,21	234	0,02	19	0,51
TED					100	100						100							
İVMD		50		50	3000	5000	10		10	5	10	300	50				1		10

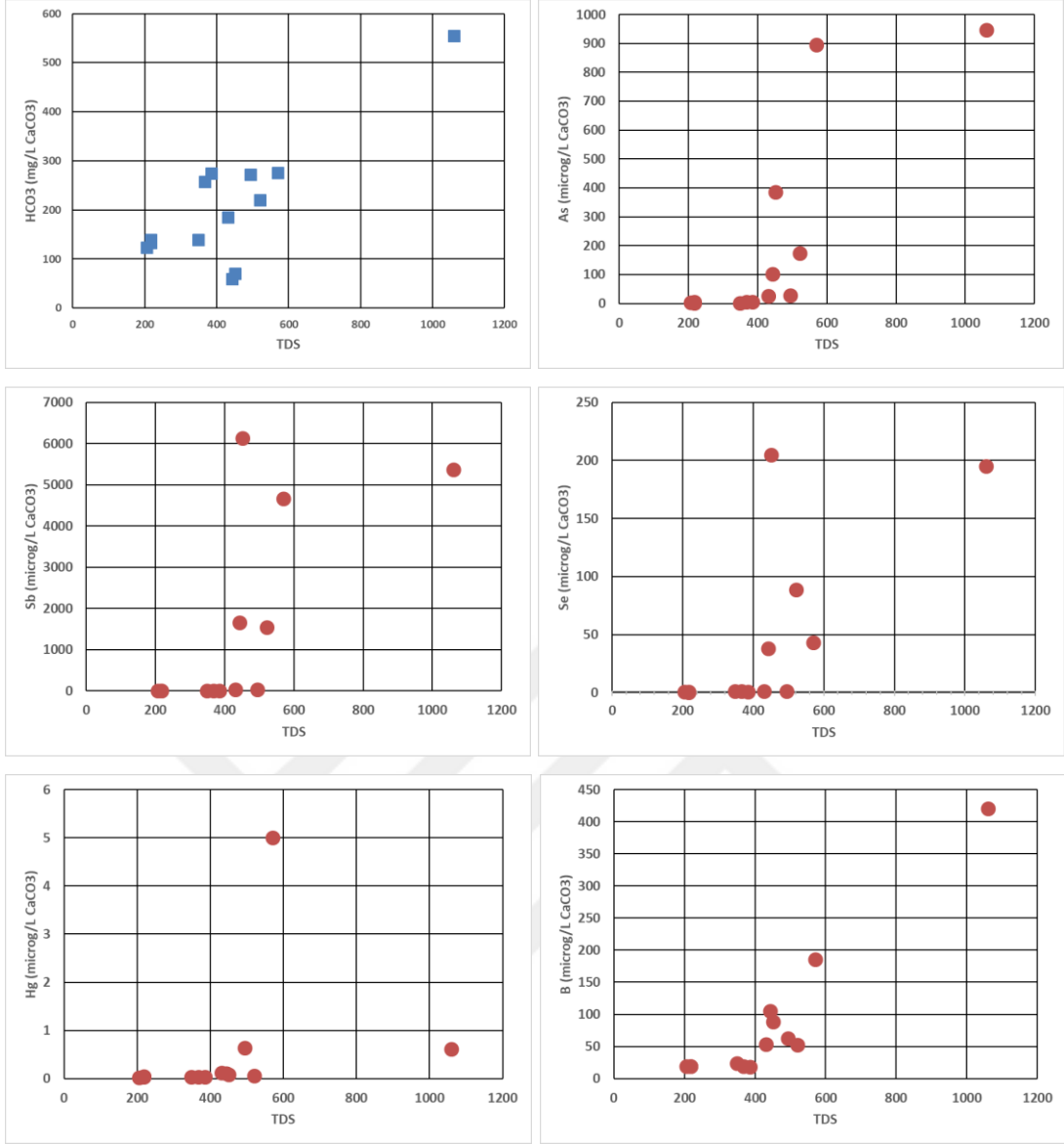
Çizelge 3.6. Su analizlerinden elde edilen iz elementlere ait temel istatistik parametreler

	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Cd	Sb	Ba	Pb	U	Rb	Sr	Hg	B	Se
Örnek sayısı	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
Ortalama	1,4	0,1	0,1	0,3	3,7	1,1	1,1	198,3	4,2	0,0	0,0	1498,2	27,3	0,0	2,1	9,5	311,3	0,5	83,6	44,4
Standart Hata	0,5	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2	0,3	93,9	1,4	0,0	0,0	642,1	2,7	0,0	0,3	3,3	26,7	0,4	31,2	20,5
Ortanca	0,2	0,1	0,0	0,3	2,5	0,8	0,7	25,9	0,9	0,0	0,0	32,6	29,1	0,0	1,9	2,8	296,0	0,1	52,1	1,2
Standart Sapma	1,8	0,1	0,1	0,2	2,7	0,6	1,2	338,6	5,1	0,0	0,0	2315,3	9,8	0,0	1,1	12,0	96,2	1,4	112,4	74,0
Basıklık	-1,3	2,3	2,5	5,7	6,5	-0,5	-0,5	1,9	0,8	5,6	1,5	0,1	1,7	8,3	1,9	2,2	2,3	12,2	7,4	1,7
Çarpıklık	0,9	1,5	1,8	2,3	2,5	0,9	0,9	1,8	1,4	2,4	1,6	1,3	0,3	2,9	1,3	1,4	1,3	3,5	2,6	1,7
En Küçük	0,1	0,0	0,0	0,2	2,0	0,5	0,0	0,7	0,6	0,0	0,0	0,7	8,7	0,0	0,7	0,1	212,0	0,0	17,7	0,4
En Büyük	4,2	0,4	0,3	0,8	11,6	2,2	3,4	946,0	15,1	0,0	0,1	6140,0	49,3	0,1	4,7	39,9	554,0	5,0	421,0	205,0
P (95,0%)	1,1	0,1	0,1	0,1	1,6	0,3	0,7	204,6	3,1	0,0	0,0	1399,1	5,9	0,0	0,6	7,2	58,1	0,8	67,9	44,7

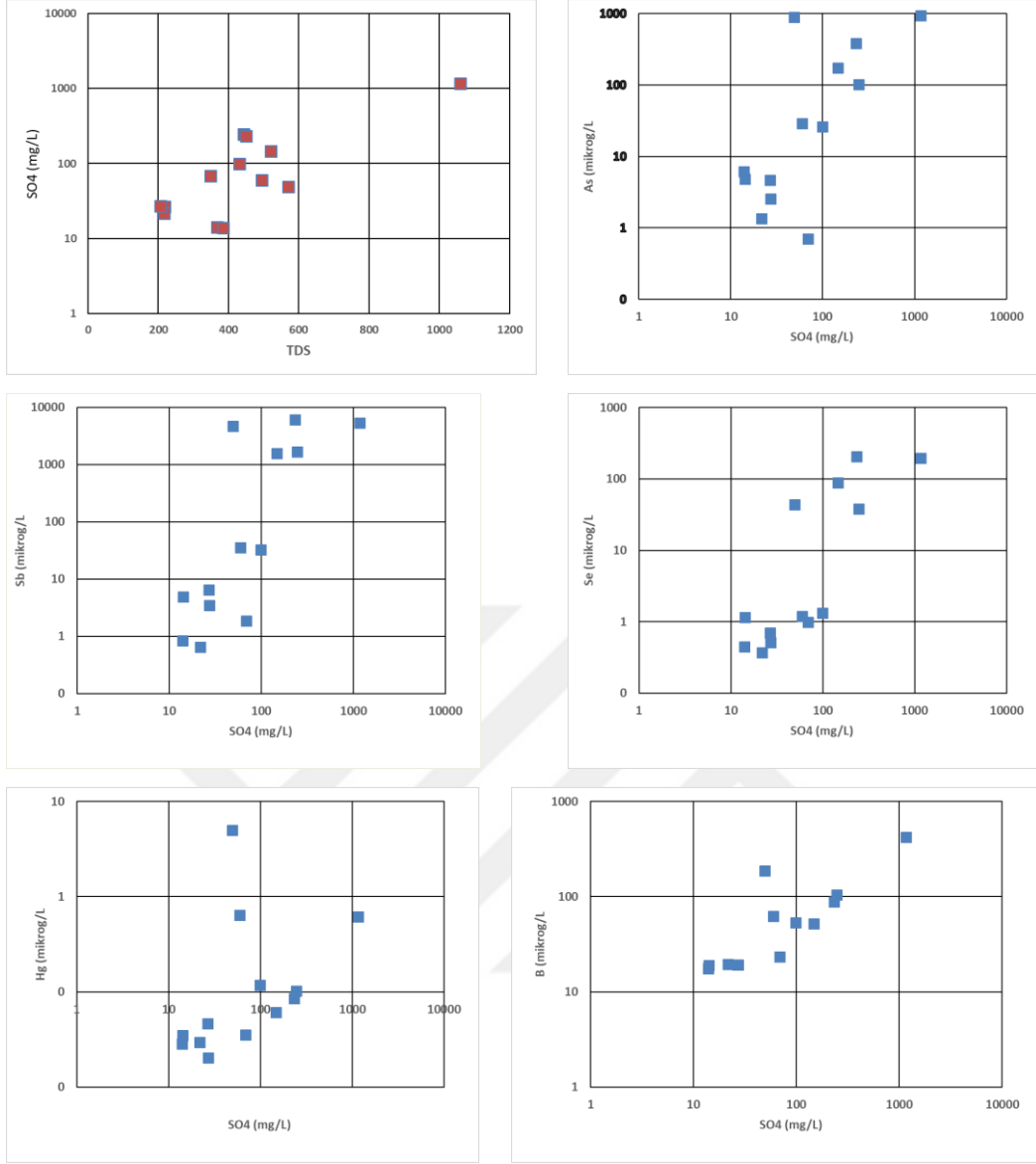
Sulardan ölçülen fiziksel ve kimyasal verilere ait değişkenlerin korelasyon matrisi hesaplanarak parametreler arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Hesaplanan Pearson korelasyon matrisleri Ek B'de verilmiştir. Hem yaz ve hem de kış mevsiminde sularda ölçülen alkalinite ile Ca^{2+} Mg^{2+} ve Na^{1+} iyonları arasındaki pozitif korelasyon, kayaçların sular tarafından yıkandığını iyonların kaynağının kayaç- su etkileşimi sonucu yan kayaçlar olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde bazı ana element çiftleri arasında benzer kuvvetli ya da çok kuvvetli korelasyonlar görülmektedir, buna Na- Mg ($r>0.80$) örnek olarak verilebilir.

SO_4 ile Ca, Mg, Na arasında çok zayıf ilgileşimin olması, bunun yanında Pb, Sb, As ve Zn arasında kuvvetli pozitif ilgileşim göstermesi, bölgedeki sularda bu elementlerin zenginleşmesi ya da kaynağının yan kayaç- su etkileşim reaksiyonlarından daha çok, antropojenik etkiler olduğunu göstermektedir (Ek B; Şekil 3.7, Şekil 3.8).

Kurşunlu eski Hg işletme sahası yakın civarından alınan yer altı ve yüzey sularından ölçülen parametreler arasındaki ilişkiler Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de verilmiştir. Sulardaki toplam çözülmüş madde miktarı özellikle fabrika sahasındaki eski havuzlardan alınan sularda ve atık saha içerisindeki birikinti havuzlarında daha yüksek olduğunu görmekteyiz. Bu durum özellikle sıcaklık değişimi ve az da olsa pH değişimine bağlanabilir. Ancak TDS ile iletkenlik arasında pozitif ve yüksek korelasyon görülmekte, bunun yanında sulardaki Sülfat, Bikarbonat, Mg ve Na artışı pozitif korelasyon göstermektedir (Şekil 3.7). Burada sulardaki Sülfat artışı, daha çok atık sahasına yakın atık ve birikinti havuzlarında yüksek olduğu gözlenmektedir. Sülfat artışına paralel olarak sulardaki asitliğin aşırı artmamış olmasını, ancak sularda oluşacak asitik ortamı nötralize etme kabiliyeti olan alkanitenin de artmış olmasıyla izah etmek mümkündür.



Şekil 3.7. Kurşunlu Hg işletmesi sahasından alınan sularda ölçülen, toplam çözülmüş maddenin bikarbonat ile iz elementler arasındaki ilişkileri gösterir diyagramlar



Şekil 3.8. Kurşunlu Hg işletmesi sahasından alınan sularda ölçülen, Sülfatın bikarbonat ile iz elementler arasındaki ilişkileri gösterir diyagramlar

Toplam iz element miktarı sülfat ile yüksek toksisiteye sahip elementlerden As, Sb, Se ve Hg arasında yüksek pozitif bir korelasyon gözlenmektedir. Bu durum iz elementlerin kaynağının yine bölgedeki sülfat minerali içeren ve her türlü dış etkilere açık olan maden atıkları olduğuna işaret etmektedir (Şekil 3.8).

3.7 Toprak Jeokimyası

Toprak, tortul, metamorfik ve volkanik kayalardan oluşan arz kabuğunun fiziksel ve kimyasal ayrışım olayları sonucunda meydana gelen ve bünyesinde son derece zengin flora ve fauna barındıran, sürekli olarak kimyasal olaylara (iyon alış verişi) sahne olan,

bitkilere durak vazifesi gören ve bitkilerin beslenmesini sağlayan ve yer yüzeyini birkaç mm ile birkaç m arasında saran bir örtü olarak tarif edilebilir (Akalan, 1988).

Olgun bir toprağın oluşabilmesi için her şeyden önce uzun bir zaman sürecinde ana kayanın çözülmesi, bunun içerisine çeşitli canlıların, bitkilerin yerleşmesi ve yıkanma ve birikme olaylarının meydana gelmesi gereklidir. Yani, bir ayrışma- çözülme ürünü olan toprakta bir taraftan ayrışan elementlerin bir bölümü toprağı terk ederken, diğer yandan özellikle bitki artıklarının humuslaşması ile de toprağı yeni maddeler ilâve olmaktadır. Suyun kayaların bünyesine girmesiyle başlıca oksidasyon, hidroliz ve hidrasyon olayları oluşmaktadır. Bitkilerin yaşam kaynağı olan topraklar, çeşitli şekillerde doğal ve yapay kirlenmeye her zaman açıktırlar. Dolayısıyla, kirlenen topraklarda yetişen bitkiler, onunla beslenen her türlü canlı, bu nedenle tehdit altındadır. Birçok element birçok canlı için temel besin maddesi iken, fazla miktarda alındığında toksin etki yapmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda ağır metallerin toprak ortamında bulunması gereken sınır değerleri belirlenmiş ve buna göre özellikle tarım amaçlı olarak işlenen topraklarda gerekli tedbirler alınması için kontrollü tarım yapılmalıdır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Topraklarda ağır metallerin bulunması gereken sınır değerleri (Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 2005)

Ağır Metal	Sınır Değer (mg/kg)	Ağır Metal	Sınır Değer (mg/kg)
Arsenik (As)	20	Nikel (Ni)	50
Kadmiyum (Cd)	3	Cıva (Hg)	2
Kobalt (Co)	20	Çinko (Zn)	300
Kurşun (Pb)	100	Molibden (Mo)	10
Krom (Cr)	100	Selenyum (Se)	3
Bakır (Cu)	100	Vanadyum (V)	50

3.7.1 Bölgedeki toprak profilinin gelişimi

İnceleme alanın, özellikle maden atık sahasındaki atıklardan etkilenmemiş olduğu düşünülen yaklaşık 1 km uzağında açtırılan 60 cm derinliğinde üç ayrı araştırma kuyusunda toprak profili ayrıntılı olarak incelenmiştir (Şekil 2.1; P1, P2, P3; Çizelge 3.8). Bölgedeki toprak profili genel bir toprak profili yapısına büyük benzerlik

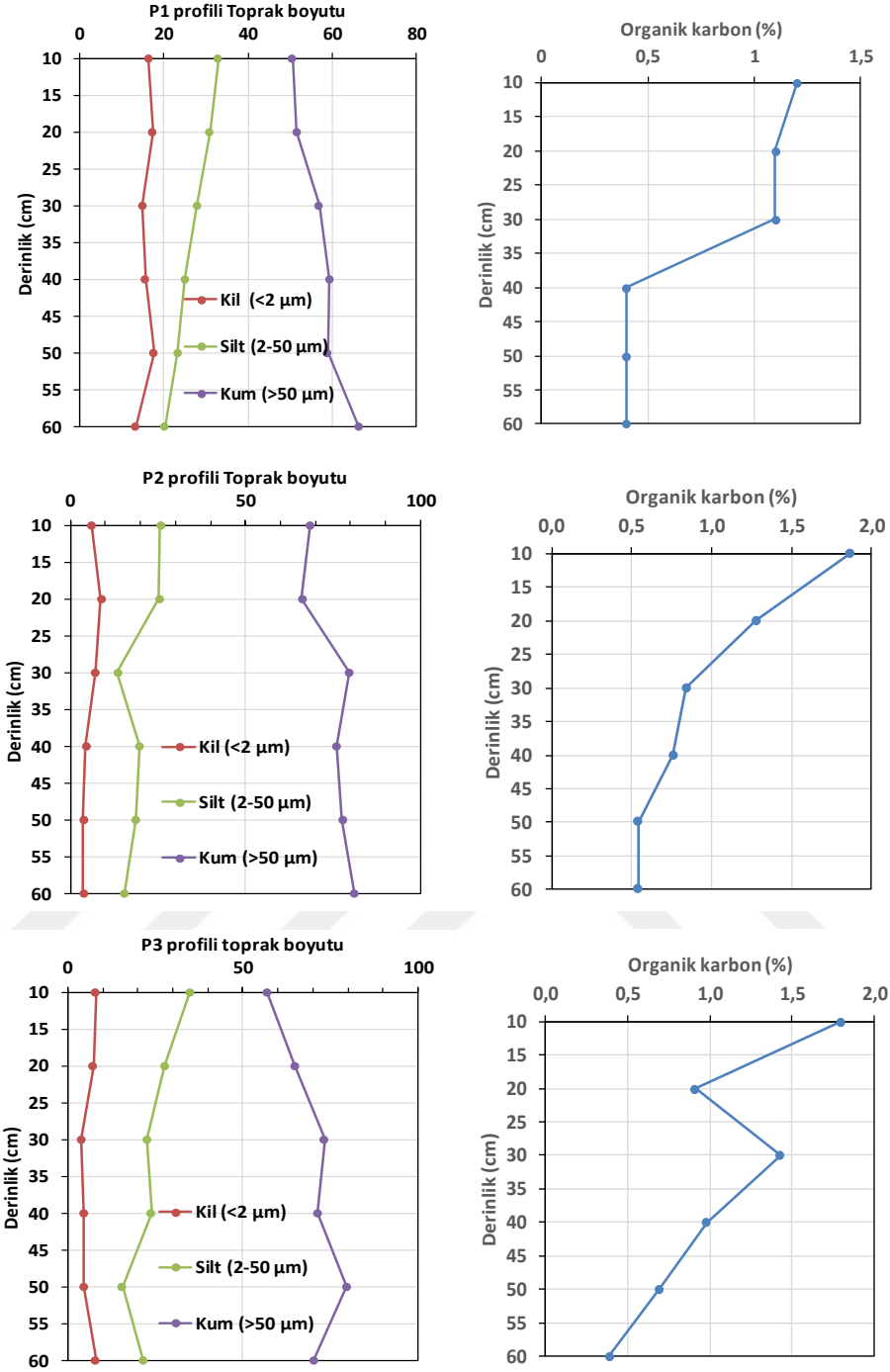
göstermektedir. Profilde humus içeren A horizonunun taneli yapı göstermesi, bu zondaki organik materyalin kısmen yıkandığını göstermektedir.

Çizelge 3.8. İnceleme alanında açılan üç ayrı toprak profillerinin organik karbon, pH analiz sonuçları ve tane boyu dağılımları

Örnekler	pH	Organic carbon (%)	Clay % (<2 µm)	Silt % (2-50µm)	Sand % >50µm)
<i>P1(cm)</i>					
10	7,1	1,2	16,33	33,00	50,67
20	7,5	1,1	17,33	31,00	51,67
30	7,2	1,1	15,00	28,00	57,00
40	7,6	0,4	15,67	25,00	59,33
50	8,1	0,4	17,67	23,33	59,00
60	8,0	0,4	13,33	20,33	66,33
<i>P2 (cm)</i>					
10	7,8	1,9	6,00	25,67	68,33
20	7,6	1,3	8,67	25,33	66,00
30	8,0	0,8	7,00	13,33	79,67
40	7,6	0,8	4,33	19,67	76,00
50	8,4	0,5	3,67	18,67	77,67
60	8,2	0,5	3,67	15,33	81,00
<i>P3 (cm)</i>					
10	7,8	1,8	8,00	35,00	57,00
20	7,7	0,9	7,33	27,67	65,00
30	8,1	1,4	4,00	22,67	73,33
40	7,9	1,0	4,67	24,00	71,33
50	8,3	0,7	4,67	15,67	79,67
60	8,1	0,4	8,00	21,67	70,33

Genel bir toprak profilinde B horizonu birikme kısmıdır. Üst katmandan yıkanan alkali maddeler bu zonda birikmişlerdir. Rengi A horizonuna göre açıktır. C zonu genellikle alttaki birimlerin özelliği göstermektedir. Kayaçların bulunduğu C zonu bölgede genellikle metamorfik ve metasedimanter kayaçlardan türemiş çakıl ve blok boyutunda malzemedden oluşmaktadır (Çizelge 3.8, Şekil 3.9).

İnceleme alanında yaklaşık 60- 65 cm civarında açılan toprak profilleri benzer özellik göstermekte, profilde yüzeyden tabana doğru toprak boyutunda benzer bir değişim görülmektedir (Çizelge 3.8, Şekil 3.9). Açılan profillerin bulunduğu alanlar genel olarak metamorfik kayaçlardan kalsit, kristalize kireçtaşı ve alüvyonların yaygın olduğu alanda açılmıştır. Her üç profilde de kilin A ve B zonunda zenginleştiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.9. İnceleme alanında açılan toprak profillerindeki örneklerden hazırlanan elek analizi sonucunda elde edilen toprak boyutları ve organik karbon içeriğinin profil boyunca dağılımı

Fakat, P1 profilinde kil oranı profil boyunca P2 ve P3 profiline göre daha fazladır ve yaklaşık %15- 18 arasında değişmektedir (Şekil 3.9). Derine inildikçe silt ve kum boyutunda artış gözlenmekte her üç zonda da yaklaşık %50 nin üzerinde kum ve blok boyutunda olduğu görülmektedir (Şekil 3.9). P1 profili boyunca A zonu ile B zonu diğerlerine göre daha kalındır. Bölgede toprak zonu kalınlığı işlenmiş topraklarda birkaç

cm den, işlenmemiş topraklarda ise yaklaşık 65- 80 cm kadardır. Açılan profillerde genel olarak B zonunda meydana gelen renklenme, bu kesimde bulunan kil minerallerinden, Mn- Fe gibi oksi- hidroksitlerden ve yer altı sularında hareket halindeki iz elementleri kil ve oksitlerin absorbe etme özelliğinden kaynaklanmaktadır.

3.7.2 Topraklarda düşey element dağılımı

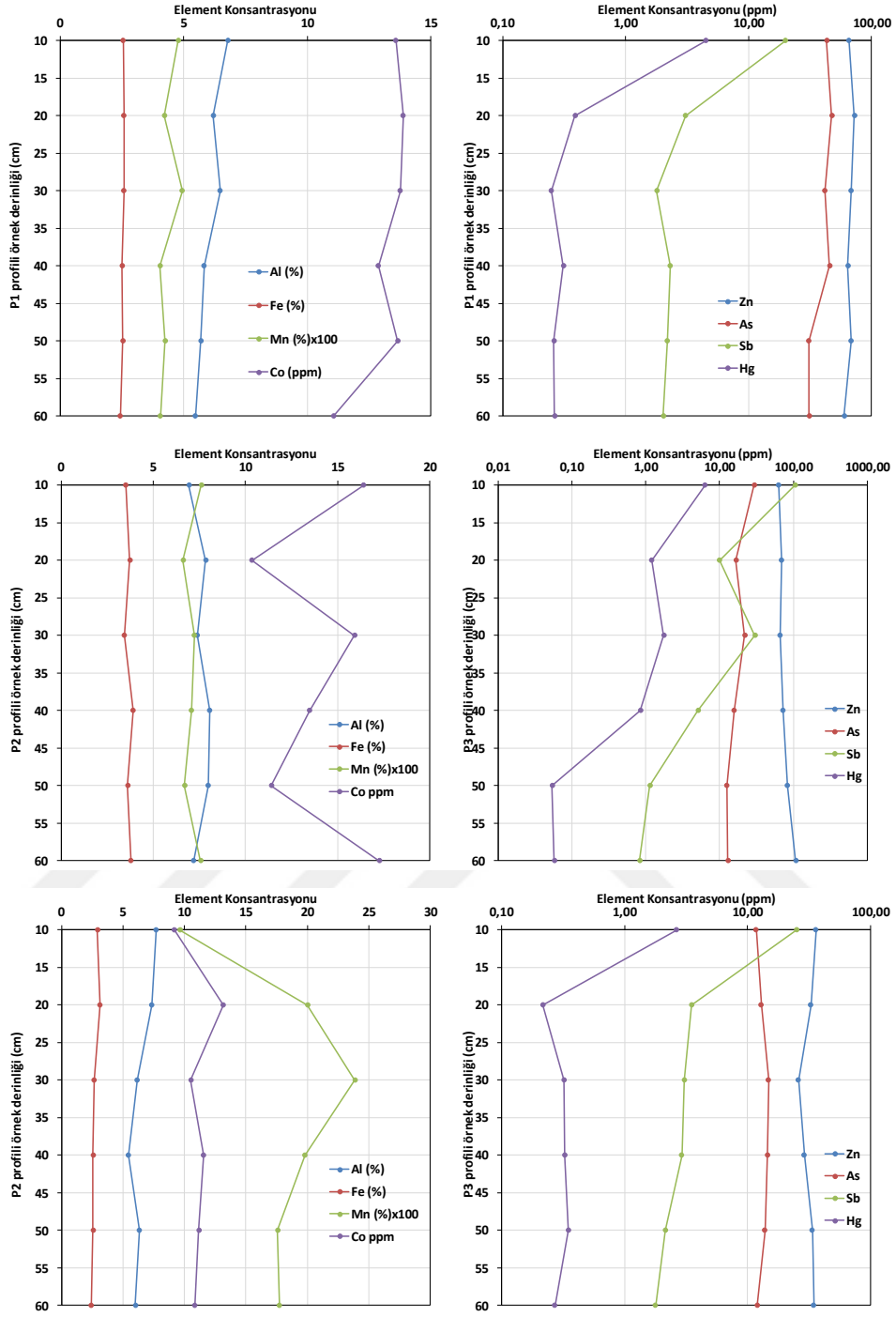
Atıkların yayılımı işletmeden etkilenme mesafesi de göz önünde bulundurularak açılan toprak profillerinin jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.9'da verilmiştir. Ana elementlerden Al, Fe ve Mn elementlerin dağılımına bakıldığında, Fe içeriğinin her üç profilde de fazla bir değişim göstermediği anlaşılmakta, Al ve Mn ise topraklarda özellikle üst A ve B zonunda zenginleştiği anlaşılmaktadır. Bu durum toprakların kil ve silt içerikleriyle paralel bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır (Çizelge 3.9, Çizelge 3.10). Dane boyu dağılımı ile özellikle Fe ve Mn elementlerinin paralellik göstermesi, elementlerin kaynağının antropojenik kirlilikten ziyade jeojenik olduğunu göstermektedir. Co dağılımı ise her üç profilde düzensiz bir dağılım gösterdiği, Hg işletmesine yakın P1 ve P2 profilinde P3 profiline göre özellikle A zonunda daha zengin olduğu görülmektedir. Ba, bölgedeki topraklarda oldukça yüksek konsantrasyonlara ulaştığı anlaşılmaktadır, bu durum bölgedeki kayaların özellikle feldspatların ayrışması ile ortaya çıktığı söylenebilir.

Çizelge 3.9. Kurşunlu Hg işletme sahasında açılan profillerden alınan örneklerin jeokimyasal analiz sonuçları

Örnek	Derinlik cm	Al	Ti	V	Mn	Fe	Cr	Mo	Be	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	Sb	Pb	Tl	Hg	Ba
		%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
P1 A-6	0-10	6,79	0,03	0,01	0,05	2,55	52	3,63	1,93	14	39	26	65	43	<0.01	0,25	0,40	19,85	28	0,62	4,49	1182
A-5	10-20	6,20	0,03	0,01	0,04	2,58	47	5,61	1,92	14	47	31	72	47	<0.01	0,28	0,45	3,07	32	0,67	0,39	1410
A-4	20-30	6,48	0,03	0,01	0,05	2,58	61	4,60	1,78	14	42	32	68	42	<0.01	0,25	0,41	1,78	21	0,63	0,25	1376
A-3	30-40	5,82	0,03	0,01	0,04	2,50	47	4,75	1,67	13	41	31	64	46	<0.01	0,26	0,46	2,30	35	0,60	0,31	1256
A-2	40-50	5,70	0,03	0,01	0,04	2,54	45	5,38	1,73	14	47	32	68	31	<0.01	0,27	0,46	2,18	35	0,59	0,26	1210
A-1	50-60	5,47	0,03	0,01	0,04	2,44	45	4,26	1,53	11	40	27	60	31	<0.01	0,25	0,45	2,01	21	0,50	0,26	1000
P2 B-6	0-10	6,94	0,19	0,01	0,08	3,51	124	0,55	1,56	16	62	28	63	29	<0.01	0,23	0,17	105,59	30	0,26	6,33	346
B-5	10-20	7,84	0,09	0,01	0,07	3,73	56	0,47	1,79	10	38	32	69	17	<0.01	0,16	0,08	9,95	11	0,29	1,20	446
B-4	20-30	7,39	0,18	0,01	0,07	3,43	96	0,55	1,72	16	56	28	66	22	<0.01	0,21	0,11	30,22	18	0,28	1,75	414
B-3	30-40	8,05	0,07	0,00	0,07	3,90	55	0,49	1,79	13	41	39	73	16	<0.01	0,16	0,08	5,10	10	0,30	0,85	466
B-2	40-50	7,97	0,04	0,00	0,07	3,60	46	0,34	1,84	11	51	31	82	12	<0.01	0,16	0,07	1,13	9	0,31	0,05	502
B-1	50-60	7,19	0,05	0,00	0,08	3,79	52	0,25	1,60	17	65	19	108	13	<0.01	0,18	0,08	0,82	5	0,26	0,06	427
P3 C-6	0-10	7,69	0,04	0,01	0,10	2,93	76	0,78	1,88	9	31	17	36	12	<0.01	0,14	0,15	25,15	14	0,38	2,66	491
C-5	10-20	7,33	0,04	0,01	0,20	3,14	79	1,49	2,06	13	34	21	33	13	<0.01	0,17	0,10	3,50	15	0,44	0,22	582
C-4	20-30	6,17	0,04	0,01	0,24	2,65	61	2,54	1,79	10	36	22	26	15	<0.01	0,22	0,15	3,07	21	0,37	0,32	522
C-3	30-40	5,45	0,03	0,01	0,20	2,56	68	2,80	1,68	12	36	24	29	15	<0.01	0,21	0,15	2,93	21	0,33	0,33	483
C-2	40-50	6,32	0,04	0,01	0,18	2,57	60	2,06	1,90	11	35	25	34	14	<0.01	0,22	0,13	2,15	18	0,39	0,35	564
C-1	50-60	6,00	0,04	0,01	0,18	2,41	60	1,72	1,79	11	33	25	35	12	<0.01	0,19	0,12	1,79	15	0,38	0,27	587

Ancak P1 profili, diğer profillere göre en az iki kat daha zenginleştiği özellikle üst A zonunda üç kata yakın birikim göstermesi, kirlilik kaynağının atıklar olduğuna işaret etmektedir (Çizelge 3.9).

Şekil 3.10'de görüldüğü gibi P1 profilinde Çinko ve Arsenik toprak profilinin ilk 60 cm seviyelerinde oldukça zenginleştikleri, tarım topraklarındaki kabul edilebilir seviyeyi aştıkları anlaşılmaktadır. Bu durum P2 ve P3 profili boyunca da benzerlik göstermektedir. Antimuan ve Civa dağılımı ise özellikle işletmeye yakın bölgede açılan P1 ve P2 profilindeki toprakların A ve B zonunda oldukça zenginleşmişlerdir. Benzer bir dağılım gösteren her iki element P3 profilinde daha az zenginleştikleri anlaşılmaktadır. Toprak profilleri boyunca Hg, Sb ve As kimyasal konsantrasyonlarının azalıyor olması, bu elementlerin kirlilik kaynağının bölgedeki kayalarından ziyade atıklar ve işletme prosesleriyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. P3 profilindeki ana element dağılımı diğer profillerle benzer olmasına karşın Hg, Sb ve As dağılımı bakımından oldukça farklıdır. İşletmeden uzakta açılan bu profilden alınan topraklar işletmeye yakın olan topraklardan oldukça farklı ve bahsi geçen elementler bakımından kirlenmediği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.10. İnceleme alanındaki toprak profillerindeki elementlere ait zenginleşme faktörlerinin düşey dağılımı

Kurşunlu fabrikasında işletilen Hg yatağının mineralojisi ve jeokimyasına bakıldığında Sb, As ve Hg gibi toksik kirleticilerin kaynağı daha iyi anlaşılmaktadır. Ağır metallerin ilk 30 cm de ani artış göstermesi, kirlenmenin kaynağının klastik ve hidromorfik yolla daha çok yatay yönde taşınmış olan maden atıklarından kaynaklı olduğunu göstermektedir.

3.7.3 Topraklarda yatay element dağılımı

Bölgede tarım yapılan alanda yüzey topraklarından sistematik olarak alınan toprak örnekleri birçok ana ve iz element için analiz edilerek, jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.3’de verilmiştir. Bu verilerden hesaplanan temel istatistik parametreler ile topraklarda iz elementlerin kabul edilebilir sınır değerleri Çizelge 3.10 ’da verilmiştir.

Bu topraklardan ölçülen pH (7.1- 8.4 saf suda) değerlerine göre, bölgedeki toprakların alkali karakterde olduğu belirlenmiştir. Önceki çalışmacılara göre toprağın pH’ının metal mobilitesi üzerinde önemli rol oynadığını, Pb’un nötr ve alkali topraklarda zayıf mobiliteye sahip olduğunu, ancak Cu, As ve Zn komplekslerinin alkali topraklarda daha yüksek birikime sahip olduğunu belirtmişlerdir (Lee vd., 2001; Fernandez- Turiel vd., 2001). Diğer yandan bazı araştırmacılar ise pH’ın Pb, Zn, Cd gibi elementlerin, bu tür topraklarda, bitkilerin bünyesine alınmasında oldukça etkili olduğunu belirtmişlerdir (Ullrich vd., 1999).

Çizelge 3.10. Bazı önemli elementlerin bölge topraklarındaki temel istatistik parametreleri (Al, Fe %, diğer ppm)

	N	Ortalama Mak.		Min.	Std.Sapma	Vayyans	Çapıklık	Basıklık	Yüdeler			CV
									25	50	75	
Al	43	6,55	10,43	0,49	1,74	3,04	-0,81	2,59	5,72	6,80	7,46	27
Fe	43	2,63	3,98	0,18	0,70	0,49	-1,19	2,73	2,35	2,79	3,08	27
Mn	43	68,17	163,86	3,57	29,40	864,47	0,82	2,47	47,68	68,34	85,23	43
Mo	43	0,64	3,63	0,07	0,58	0,34	3,31	16,41	0,29	0,49	0,77	91
Cu	43	12,37	27,90	1,78	6,51	42,32	0,92	0,46	7,92	11,42	15,13	53
Pb	43	15,52	87,37	4,21	12,87	165,60	4,31	23,84	9,68	12,49	16,26	83
Zn	43	31,40	65,25	4,15	13,02	169,61	0,85	0,73	22,30	28,46	37,11	41
Ag	43	0,12	0,75	0,03	0,12	0,01	3,72	19,43	0,06	0,08	0,15	98
As	43	20,33	127,59	3,79	23,03	530,46	3,09	11,80	9,15	13,44	17,87	113
Cd	43	0,12	0,87	0,02	0,15	0,02	3,39	14,88	0,05	0,07	0,12	121
Sb	43	64,19	1381,68	0,38	233,17	54367,75	4,77	26,01	1,73	3,92	10,11	363
Co	43	7,17	16,41	0,31	3,43	11,75	0,47	0,57	5,47	6,72	9,06	48
Ni	43	22,73	62,27	2,43	12,82	164,47	0,92	0,98	14,61	17,96	30,81	56
Cr	43	62,34	130,36	9,22	27,24	741,94	0,72	0,93	46,20	56,60	74,26	44
Hg	43	7,50	212,29	0,04	32,71	1070,02	5,93	38,99	0,17	0,42	1,86	436

Topraklarda ölçülen değişkenlerden özellikle As, Cd, Sb gibi ağır metallerin temel istatistiğine bakıldığında, jeolojik verilerin çoğunda olduğu gibi genellikle sağa çarpık pozitif bir dağılım sunmaktadırlar (Çizelge 3.10).

Bölgede atık sahasını da içine alan yaklaşık 2.25 km² lik araziden derlenen topraklarda elementlerin yatay yöndeki dağılımında Cu, Pb, Zn, As, Sb ve Hg (Şekil 3.13-3.18), atıkların kuzeydoğu ve batısındaki topraklarda ve çoğunlukla da Güney

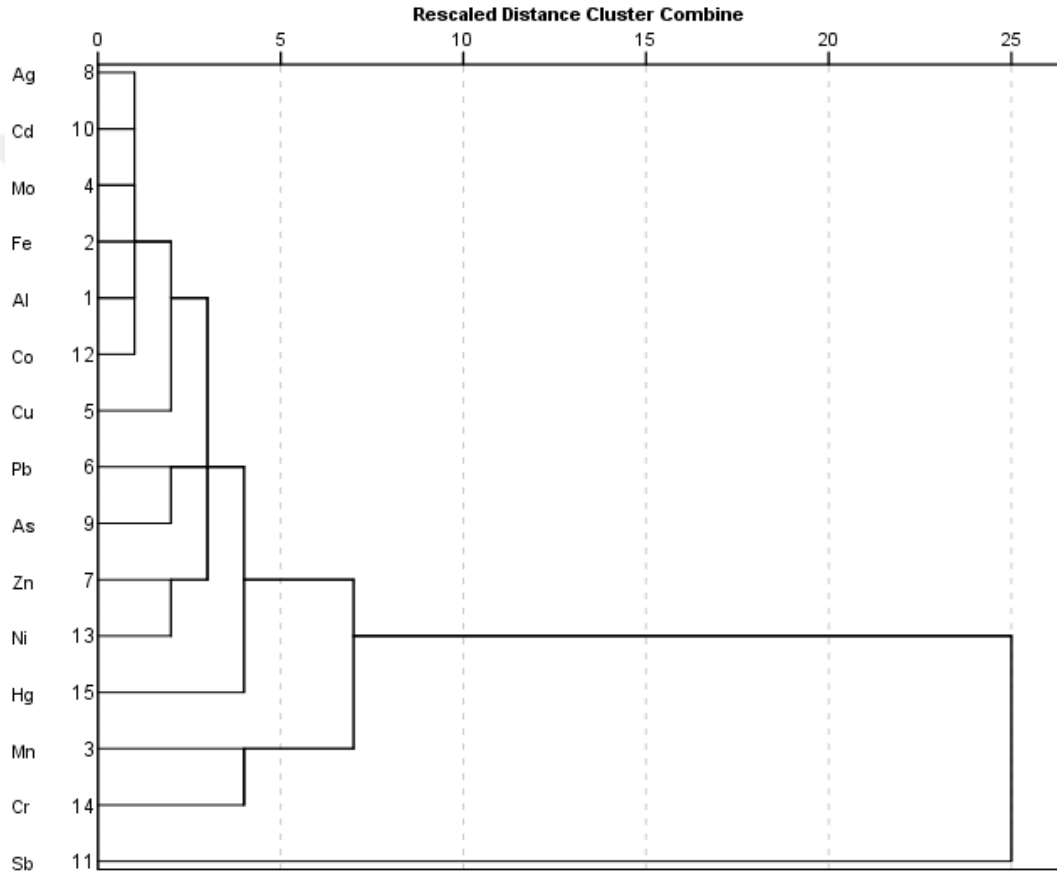
yöndeki tarım arazisinde anomali verdiği gözlenmektedir. Elementler arası korelasyonda genellikle ağır metaller arasında oldukça yüksek pozitif bir ilişki söz konusudur (Çizelge 3.10). Bunun yanında aynı elementlerin Fe ve Mn elementleriyle yine yüksek korelasyon göstermesi, bölgede yaygın olan oksihidroksitlerin elementleri absorbe etmiş olmalı yada primer cevherle birlikte bu elementleri taşıyan minerallerle birlikte hareket etmektedirler. Bu durum hazırlanan hiyerarşik klaster analizinde de açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.11). Zn, Cu, As, Sb ve Hg birlikte hareket etmekte, bunun yanında Ag ve Cd ise daha zayıf ancak aynı gruba oluşturmaktadırlar (Şekil 3.11). Bu durum bölgede yapılan tarım faaliyetleri ile Pb dağılımı arasında bir ilişki olabileceğini düşündürmektedir. Daha öncede bahsedilen ağır metaller, Fe ve Mn arasında yine benzer bir ilişki söz konusudur.

Çizelge 3.11. İnceleme alanından alınan yüzey toprakları analiz sonuçlarına ait Pearson korelasyon matrisi

	Al	Ti	Mn	Fe	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Sb	Pb	THg	Ba
Al	1,00															
Ti	0,22	1,00														
Mn	0,43	0,12	1,00													
Fe	0,82	0,47	0,53	1,00												
Cr	0,46	0,51	0,42	0,71	1,00											
Co	0,39	0,48	0,32	0,62	0,62	1,00										
Ni	0,27	0,39	0,30	0,49	0,71	0,91	1,00									
Cu	0,22	0,31	0,25	0,43	0,50	0,94	0,91	1,00								
Zn	0,25	0,18	0,13	0,32	0,29	0,83	0,78	0,85	1,00							
As	-0,51	-0,14	-0,30	-0,54	-0,19	-0,22	-0,09	-0,04	-0,03	1,00						
Ag	-0,41	-0,11	-0,28	-0,44	-0,10	0,04	0,14	0,22	0,20	0,85	1,00					
Cd	-0,52	-0,18	-0,33	-0,57	-0,22	-0,16	-0,05	0,03	0,03	0,91	0,93	1,00				
Sb	-0,51	-0,17	-0,36	-0,56	-0,20	-0,37	-0,24	-0,21	-0,27	0,82	0,86	0,90	1,00			
Pb	-0,36	-0,03	-0,23	-0,40	-0,12	-0,09	0,00	0,06	0,08	0,88	0,93	0,91	0,86	1,00		
THg	-0,34	-0,13	-0,19	-0,39	-0,27	-0,29	-0,22	-0,20	-0,17	0,57	0,29	0,41	0,31	0,43	1,00	
Ba	0,23	-0,13	0,04	0,08	-0,01	0,30	0,25	0,36	0,50	-0,10	0,02	0,00	-0,23	-0,03	-0,16	1

Faktör analizi topraklarda element dağılımını etkileyen faktörlerin belirlenmesinde oldukça etkili istatistik yöntemlerden biridir (Ajibade vd., 2012). Topraklardan elde edilen verilere Varimax döngüsü uygulanmış ve PCA sonuçları Çizelge 3.12 de verilmiştir. Araştırılan bütün elementlerin 1'den büyük Eigen değerleri element dağılımında 3 önemli faktörün etkili olduğunu göstermiş bu faktörlerin toplam varyanslarının örneklerin total varyansının %79'unu oluşturduğu anlaşılmıştır. Faktör yüklerine bakıldığında birinci faktörün %33,35 toplam varyansa sahip, genel olarak

kayaçların ayrışmasıyla ortaya çıkan elementler (Fe, Al, Cr ve Mn) jeojenik faktör olarak nitelendirilebilecek grubunu oluşturduğu anlaşılmaktadır. Toplam varyansı %25,23 olan ikinci faktör ise Co, Ni, Zn, Cu ve Mo birlikteliğini sunmaktadır. Bu dağılımda da etkili olan hem jeojenik hemde antropojenik etkilerin olduğu söylenebilir (Çizelge 3.12, Şekil 3.12). Toplam varyansı yaklaşık %22 olan üçüncü grupta ise Ag, Cd, As, Sb ve Hg toplanmakta, bu grubun bu topraklardaki bolluğunu etkileyen faktörün işletme ve atıklar olduğu ve bunların kaynağının antropojenik olabileceğini kuvvetle işaret etmektedir (Şekil 3.12).

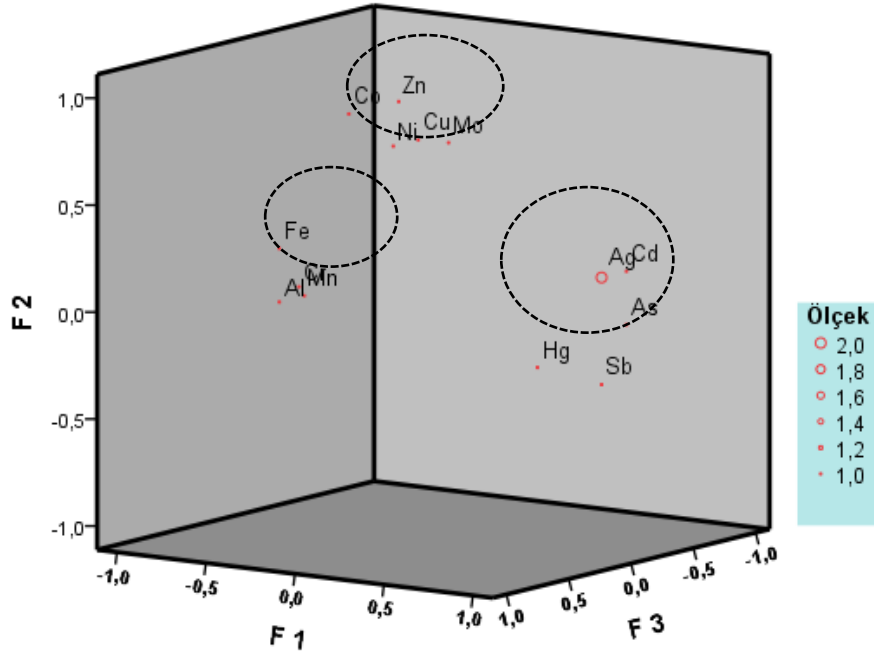


Şekil 3.11. Average Linkage (Between Groups) metodu kullanılarak hazırlanan hiyerarşik ayırma (cluster) analizi sonucu elde edilen dendrogram

Çizelge 3.12. Jeokimyasal verilerin Varimax döngüsü uygulanarak hesaplanan faktör analizi sonuçları

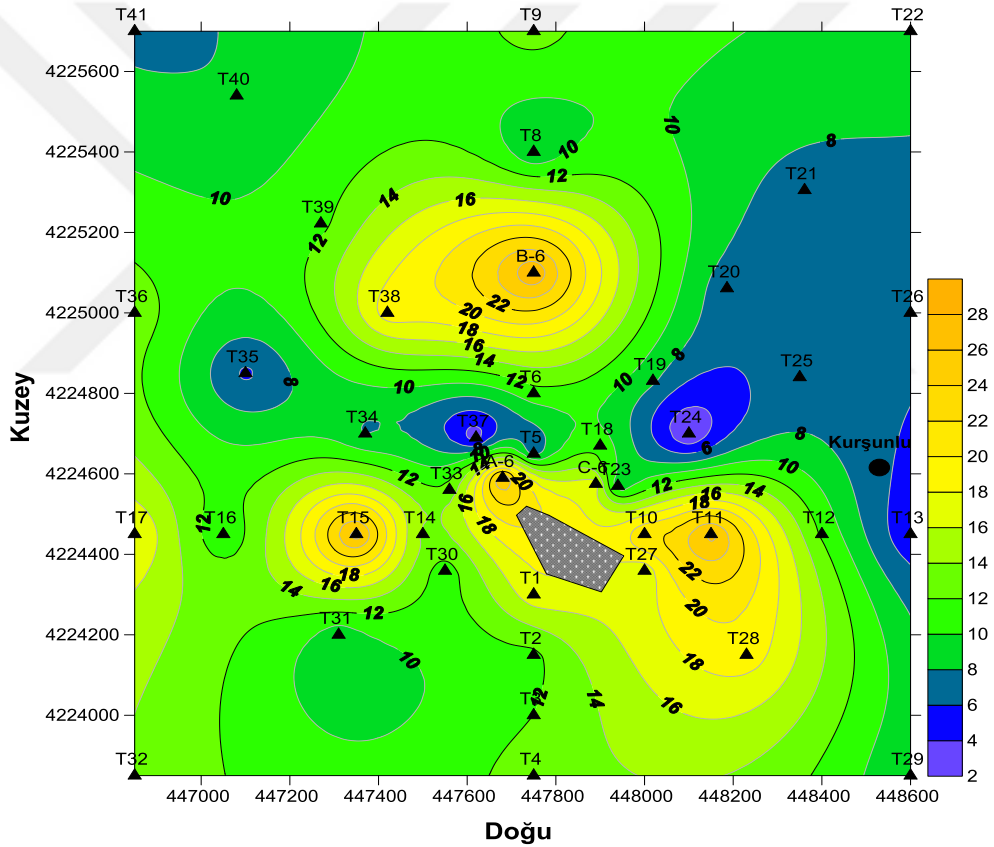
	F1	F2	F3
Al	,714	-,030	,337
Fe	,845	,110	,377
Mn	,535	,069	,320
Mo	,152	,500	-,632
Cu	,496	,813	-,161
Pb	-,712	,594	,238
Zn	,439	,745	-,335
Ag	-,663	,700	,110
As	-,798	,486	,160
Cd	-,794	,561	,068
Sb	-,847	,318	,304
Co	,668	,698	-,062
Ni	,559	,753	,041
Cr	,590	,377	,581
Hg	-,543	,064	,091
Eigenvalues	42,035	27,853	9,589
% variance	33,352	25,232	20,893
Küm.Variance	33,352	58,584	79,477

Extraction Method: Principal Component Analysis.



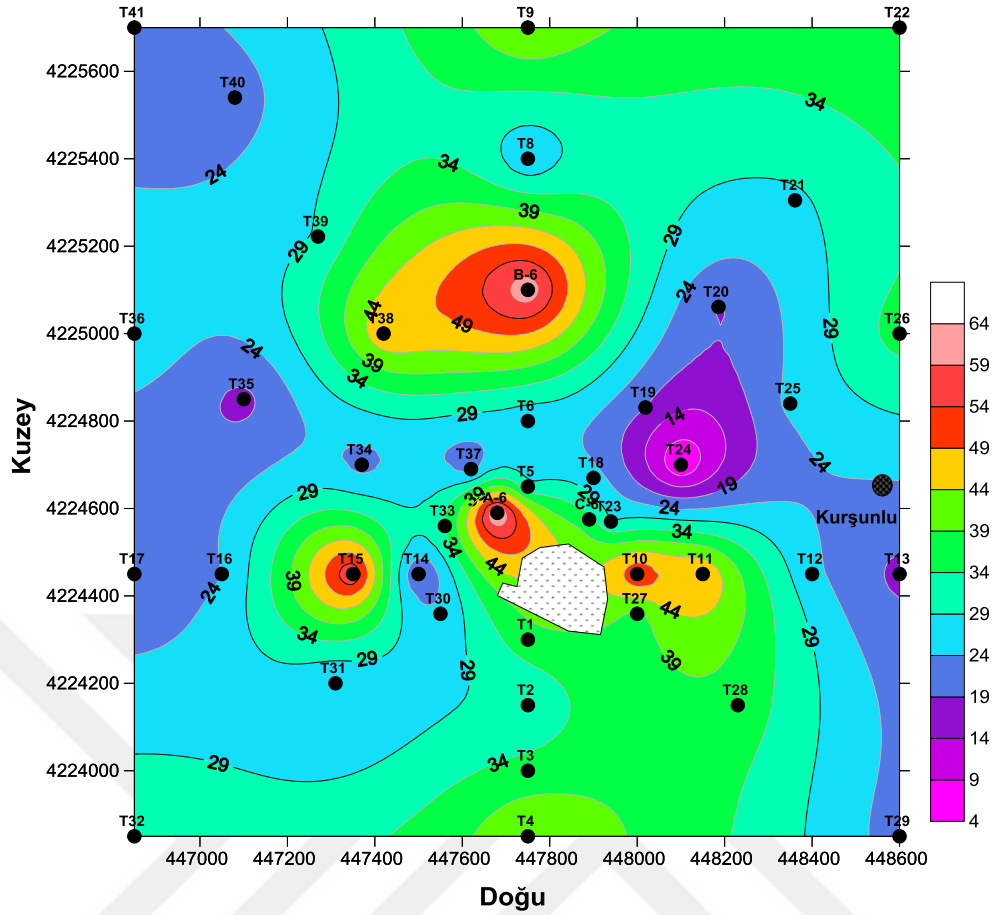
Şekil 3.12. İnceleme sahasındaki yüzey topraklarında faktör analizi sonuçlarını gösterir diyagram (F: Faktörler)

Cu Elementi: Bakır yerkabuğunda 2- 100 mg/kg civarında bulunur. Ayrıca, bakırın topraktaki kabul edilebilir sınırları 5,0- 5,6 mg/kg civarındadır. Çok çeşitli kullanım alanları olan bakır, çevreye endüstri tozları, maden zenginleştirme ve atık suları ile bırakılmaktadır. Cu inceleme alanındaki topraklarda 27,9- 1,78 ppm aralığında değişmekte ve 12.37 ppm ortalamaya sahiptir. Bu değerler ortalama yer kabuğu değerlerine yakındır. Buna rağmen çalışma sahasında işletme atıklarının kuzey kesiminde ve Kurşunlu köyü kısmında kısmında yoğunlaşmakta, özellikle yerleşim yeri olan Kurşunlu köy istikametinde anomali vermektedir. Cu elementinin genel dağılımı Şekil 3.13 verilmiştir. Cu değerleri, inceleme alanının batısında da özellikle atık sahasının yakın kesimine doğru dağılım göstermektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Cu (ppm) elementinin inceleme alanındaki yatay dağılım diyagramı (2 ppm)

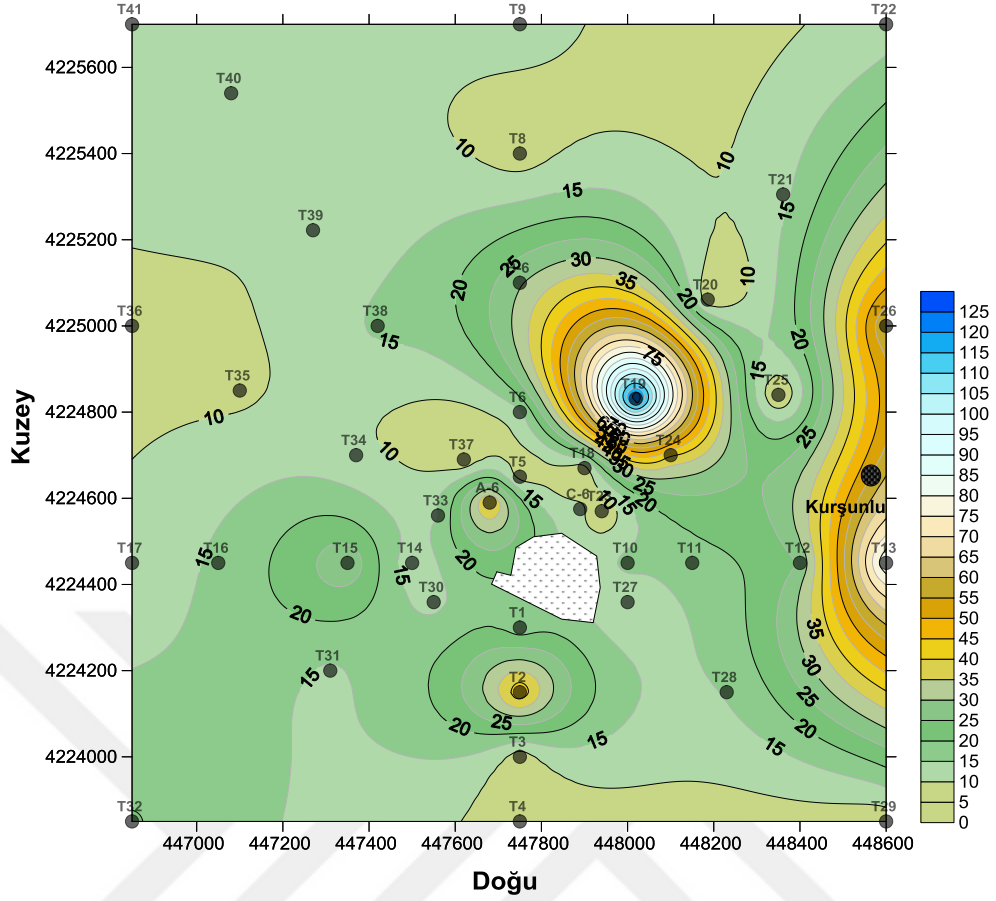
Pb Elementi: Kurşun elementi dünya ortalamalarında 17 ppm'dir. Çalışma alanında ise bu değer oldukça üzerinde bir durum gözlemlenmiştir. İnceleme alanındaki yüzey topraklarında 87,37- 4,21 ppm aralığında ve 15,52 ppm ortalamaya sahiptir (Çizelge 3.11). Özellikle Kurşunludaki atık sahasına hemen yakından başlayarak köyün bulunduğu bölgeye kadar olan tarım topraklarında oldukça yüksek Pb değerlerine



Şekil 3.15. Zn (ppm) elementinin inceleme alanındaki yatay dağılım diyagramı (konturlar arası değer 5 ppm'dir)

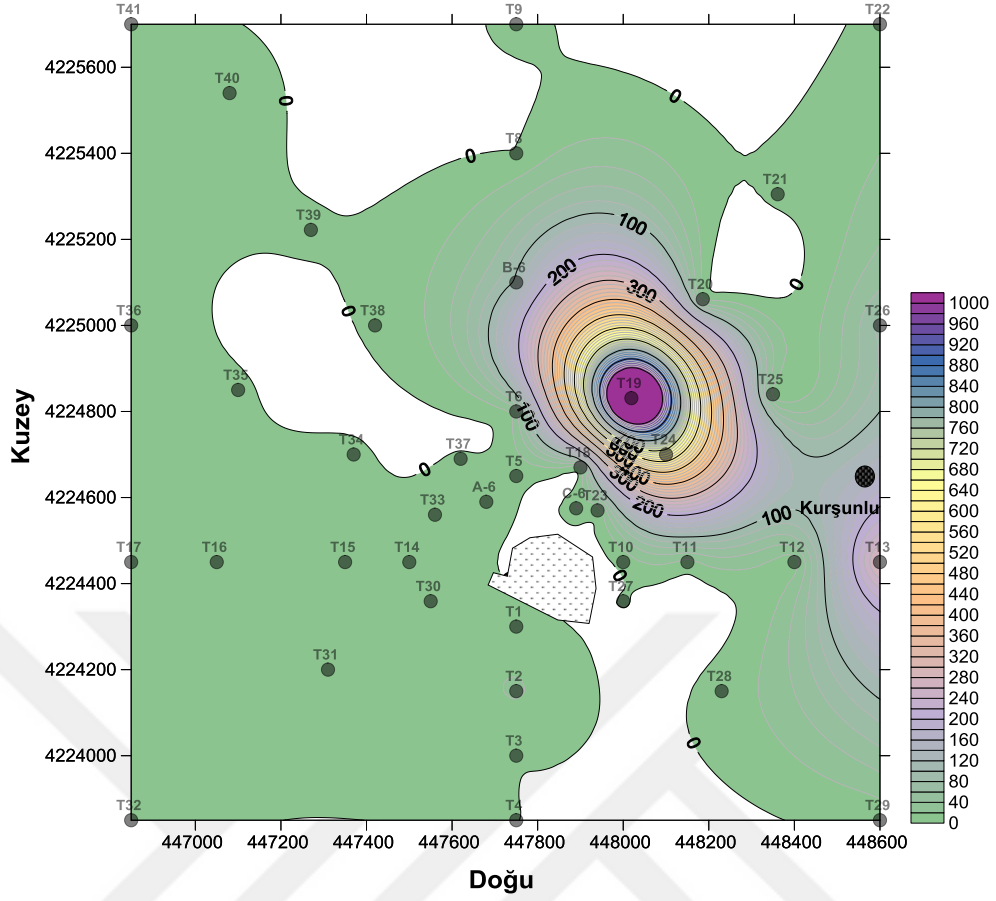
Bu durum işletme sahasındaki atıklarına yakın olan bölgede bu iki elementi içeren minerallerin bulunduğu madenlerde az da olsa kurşun ihtiva ettiği söylenebilir. Yine de inceleme alanında pek çok lokasyonda tarım topraklarındaki kabul edilebilirlik sınırı üzerine çıkmaktadır.

As elementi; canlı sağlığı için oldukça tehlikeli olan bir başka element olan As, bölgedeki atıklarda, bunların etkilediği tarım topraklarında en az 1 km²'lik bir alanda tehlikeli sınırlarda dağılım göstermektedir (Şekil 3.16). İnceleme alanındaki yüzey topraklarında 128- 3,79 ppm aralığında, 20,33 ppm ortalamaya sahiptir. Özellikle Kurşunlu köyü yakın civarında ve atıkların yaygın olduğu alanın kuzey doğu kesiminde topraktaki kabul edilebilir sınırları oldukça aşmış durumdadır (Şekil 3.16).



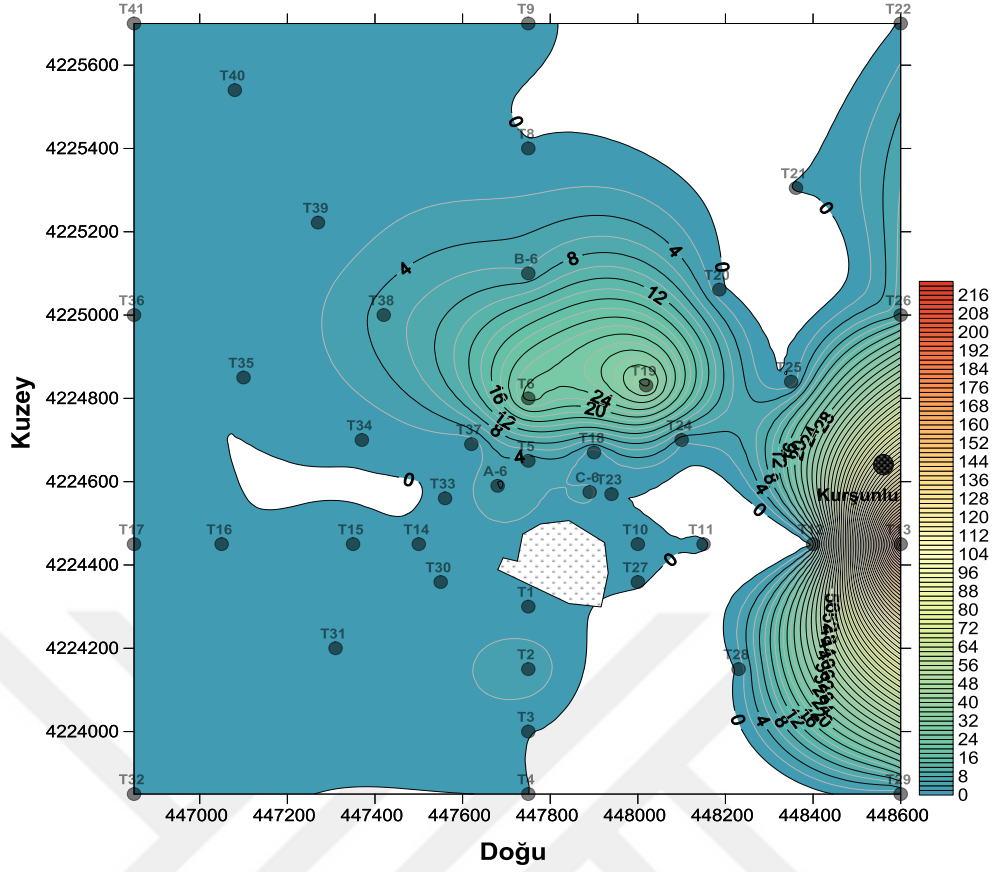
Şekil 3.16. As (ppm) elementinin yatay dağılım diyagramı (konturlar arası değer 500 ppm'dir)

Sb Elementi: Diğer elementlerden Sb, epitermal yataklarda oldukça yaygın olan ve inceleme alanından alınan örneklerde sülfat mineraline rastlanan bir elementtir. İnceleme alanındaki topraklarda 0,38- 1382 ppm aralığında değişmekte ve 64,19 ppm ortalamaya sahiptir. Topraktaki kabul edilebilir sınırların oldukça üzerindedir. Bölgedeki özellikle tarımsal topraklarda vermiş olduğu anomali değerleri, açıkça kirlenmenin kaynağının bu atıklar olduğunu göstermektedir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Sb (ppm) elementinin yatay dağılım diyagramı (konturlar arası değer 100 ppm'dir)

Hg Elementi: Hg, bölgede başlıca işletilen elementtir. İşletme üretilen bu element, bölgedeki topraklarda 0,04- 212,3 ppm aralığında ve 7,5 ppm ortalamaya sahiptir. Kuşunlu köyü civarında ve atıkların kuzey doğusunda oldukça yüksek değerlerde anomali vermektedir (Şekil 3.18). Oldukça toksik bir element olduğundan tarım topraklarında pek istenmeyen bir elementtir. Kabuk ortalaması 65 ppb olan bu element inceleme alanının pek çok yerde bu değerleri aşmakta, ve özellikle atıklara yakın kesimlerde ise zenginleşme onlarca kat olarak görülmektedir (Şekil 3.20).



Şekil 3.18. Hg (ppm) elementinin yatay dağılım diyagramı (konturlar arası değer 250 ppm'dir)

3.8 Biyojeokimya

Bir bölgede yaşayan canlılar, buldukları bölgede yetişen bitkilerle, o bölgede bulunan yer altı ve yüzey sularından faydalanarak hayatlarını sürdürürler. İnsanlarda da benzer şekilde bölgede yetişen bitkiler ve hayvansal gıdalarla beslenirler. O nedenle bir bölgede, maden arama, madenlerin çevreye etkisi gibi çalışmalar mutlaka yapılmalıdır. Bitki ve hayvanlar üzerinde kimyasal analize dayanan çalışmalar biyojeokimyanın konusunu oluşturur (Kabata ve Pendias, 2001). Bölgede bir çok meyve ve sebze, bunun yanında buğday, nohut, mısır tarımı yapılmaktadır. Bu çalışmada, maden atıklarının özellikle bahçe meyve bitkileri üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

3.8.1 Bölgede yetişen bitki çeşitleri

Bölgede özellikle ilgilenilen ve yaygın olan meyve çeşitleri Türkçe, İngilizce ve Latince isimleriyle aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Elma, apple, *Malus sylvestris* ssp. *orientalis*,

Armut, pear, *Pyrus communis*

Üzüm, Grape, *Vitis vinifera*

Ceviz, walnut tree, *Juglans regia*,

Kiraz, cherry tree, *Cerasus avium*

Kayısı, apricot tree, *Prunus armeniaca*

Erik, Plum, *Prunus domestica*

Bu bitkiler özellikle yaygın olan bitki türleridir. Bunların yanında, yaban armudu ve yaban eriği de daha yüksek kesimlerde mevcuttur. Bu bitkiler üzerinde yapılan incelemelerde şekilsel olarak atık sahasına yakın olan üzüm, armut ve elmaların yapraklarında erken sararma, bazı elma ve erik ağaçlarında yumru gelişimi tespit edilmiştir. Bu durum, özellikle yumru gelişimi bitkinin yetiştiği bölgeye adaptasyon ve yaşamını sürdürülebilmesi için toksik etki sınırını aşmış bazı elementlerin dışarı atılarak yaşamını sürdürme gayreti olarak algılanmalıdır (Brooks, 1972).

3.8.2 Biyojeokimyasal analiz sonuçları

Bitkiler genel olarak topraktaki iz elementlerden iyonik veya kompleks formlarını bünyelerine alırlar. Toprak özelliklerinden pH, organik madde miktarı, oksitlenme potansiyeli ve Ca, Mg ve P gibi ana elementlerin bolluğu iz elementlerin bitki bünyesine alınmasında etkili olan faktörlerdendir (Kabata-Pendias ve Pendias, 2001; Lermi, 2009; Lermi ve Kaya, 2013). Çalışma alanında yaygın olan meyve bitkileri örneklenmiş, analiz edilmiş, sonuçları Çizelge 3.13’de verilmiştir. Ayrıca bu bitkilerden elde edilen sonuçlara ait temel istatistik parametreler ise özet tablo halinde (Çizelge 3.14) verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere özellikle bütün bitkilerde aşırı bir Fe, Mn bakımından zenginleşme söz konusudur. Bunun yanında Armut, Üzüm ve Elma yapraklarında Sb ve As Hg elementlerini bünyelerine bitkilerde bu elementleri kabul edilebilir sınırların üzerinde almışlardır. Bu bitkiler toprak örnekleri ve su örnekleriyle aynı bölgeden alınmıştır (Şekil 2.1). O nedenle elementlerden Hg, Pb, Sb ve As özellikle yüzey topraklarında anomali verdiği yerlerden alınmıştır. Bitki analiz sonuçlarından hazırlanan korelasyonlara bakıldığında özellikle ağır metallere, Pb, Zn, Fe, Cu, As ve Sb kendi aralarında oldukça yüksek pozitif korelasyon göstermektedirler.

Özellikle Fe ve Mn ile diğer ağır metaller arasındaki yüksek korelasyon, bitkilerin bu metalleri beslenmesi esnasında topraktan bünyesine alabildiğini göstermektedir (Çizelge 3.9).

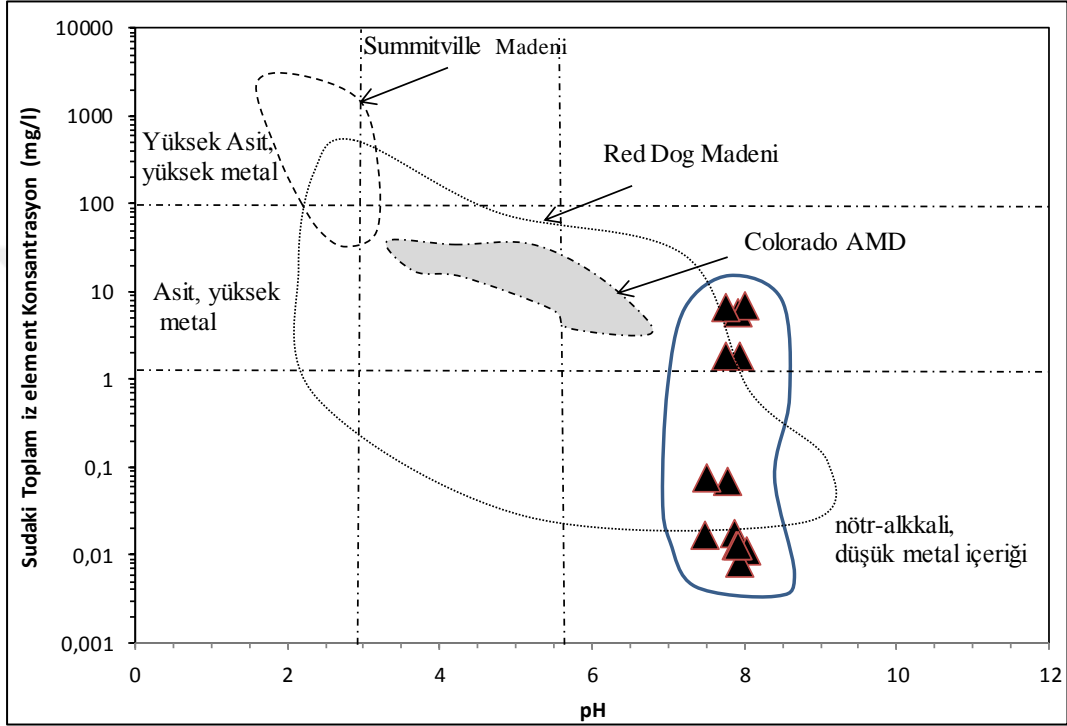
Çizelge 3.13. Bitki yapraklarından elde edilen biyokimyasal analiz sonuçları.

Örnek	Bitki türü	Mo98 ppm	Co59 ppm	Cr52 ppm	Ni60 ppm	Cu63 ppm	Zn66 ppm	As-175 ppm	Ag107 ppm	Cd111 ppm	Sb121 ppm	Pb208 ppm	Tl205 ppm	Hg ppm
E-1	Elma	0,35	0,16	0,19	2,73	10,48	14,07	0,65	0,009	0,03	0,81	3,96	<0,01	0,30
E-2	Elma	0,13	0,17	0,51	1,80	3,65	8,05	0,47	<0,01	0,01	1,64	1,08	<0,01	0,38
E-4	Elma	0,15	0,14	0,43	1,20	2,33	7,97	0,29	<0,01	0,01	0,44	0,95	<0,01	0,88
E-5	Elma	0,23	0,14	<0,01	0,58	3,76	10,27	0,29	<0,01	0,01	2,74	0,54	<0,01	0,28
E-6	Elma	0,05	0,22	<0,02	0,27	2,82	3,75	0,00	<0,01	0,01	0,72	0,57	<0,01	1,81
A7	Armut	0,23	0,26	<0,03	0,65	2,76	18,58	0,08	<0,01	0,04	2,41	0,47	<0,01	0,82
A8	Armut	0,16	0,15	<0,04	0,85	2,31	17,04	0,19	<0,01	0,12	4,30	0,63	<0,01	0,89
ER-9	Erik	0,44	0,10	<0,05	0,93	3,34	10,17	0,00	<0,01	0,01	0,46	0,33	<0,01	0,54
ER-10	Erik	0,23	0,16	<0,06	0,95	4,39	14,95	2,34	<0,01	0,02	3,59	0,54	0,01	0,41
K-11	Kayısı	1,27	0,07	<0,07	0,43	2,87	5,75	0,09	<0,01	0,02	3,21	0,46	<0,01	0,30
U13	Üzüm	1,23	0,15	<0,08	0,57	4,71	9,07	1,41	0,02	0,02	2,81	1,95	<0,01	1,61
U-14	Üzüm	0,15	0,08	<0,09	0,35	5,24	11,93	0,00	0,003	0,01	0,13	0,35	<0,01	0,55
U-15	Üzüm	0,33	0,12	<0,10	0,33	2,34	8,58	0,18	<0,01	0,01	0,29	0,91	<0,01	1,05
E-12	Elma	2,35	0,11	0,19	0,58	5,56	15,62	0,00	<0,01	0,02	0,52	0,52	<0,01	0,26
K-3	Kayısı	0,55	0,11	<0,10	0,73	3,64	8,21	0,00	<0,01	0,01	0,44	0,34	<0,01	0,72

Çizelge 3.14. İnceleme alanından alınan meyve bitkilerinin yapraklarından elde edilen ortalama element bollukları (mg/ kg) ve bu sonuçlardan hesaplanan biyokonsantrasyon faktörü(BCF) (KES: Kabul edilebilir sınır)

Bitki Türü	Ö.Sayısı	Fe	Mn	Ni	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Cd	Sb	Hg
E	6	174,02	38,08	1,19	4,77	1,27	9,96	0,00	0,28	0,01	1,15	0,65
A	2	224,07	44,12	0,75	2,53	0,55	17,81	0,00	0,13	0,08	3,35	0,86
ER	2	149,89	68,20	0,94	3,87	0,44	12,56	0,00	1,17	0,02	2,02	0,48
K	2	243,46	99,35	0,58	3,25	0,40	6,98	0,00	0,04	0,01	1,82	0,51
U	3	173,4	95,76	0,41	4,10	1,07	9,86	0,01	0,53	0,01	1,08	1,07
Yap. Toksik Sınır ¹		200,0	300,0	10,0	20,0	30,0	100,0		5,0	5,00		
Bitkilerde KES ²				1,0	5,0	10,0	50,0		0,2	0,02	0,02	0,01
Ort. Su bileşimi (µg/L)*		46,8	81,3	10,7	8,6	15,7	85,5		66,4	0,43	10,52	10,50
BCF ³		3.5-3.7	2.7-3.1	1.6-2.0	2.4-2.7	1.4-1.9	1.9-2.3		0.3-1.2	1.5-2.3	3.0-3.5	2.7-3.0

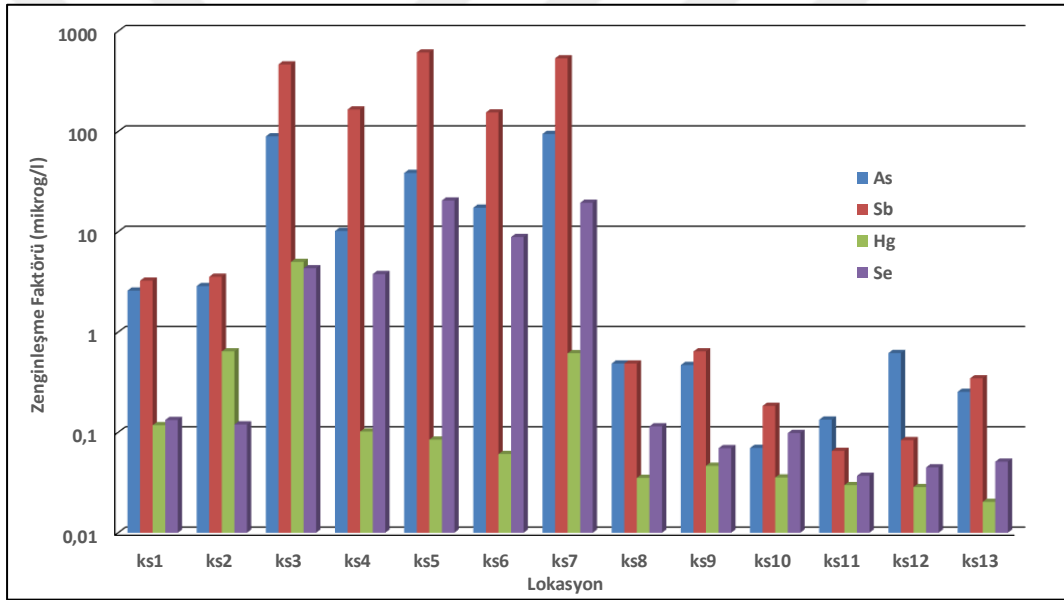
Burada yüksek tuzluluk değerlerini ise majör katyonların yanında, yüksek değerlerde çözülmüş iz element miktarına da bağlanabilir. Sulardaki çözülmüş toplam iz element-pH diyagramındaki yerleri, özellikle atık sahasına yakın yerlerden alınan suların nötr-alkali fakat yüksek metal içeriğine sahip olduğunu ve bu suların dünyada bilenen AMD sıvılarıyla karşılaştırıldığında Reddog madeni atıkları ile Kolorado AMD sularına yakın çözülmüş metal içerdikleri anlaşılmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. İnceleme alanındaki yüzey sularının toplam iz element miktarı- pH diyagramındaki yerleri

Sulardan ölçülen pH değerleri genel olarak nötr hatta bazik değerlerdedir. Bu durum Ulukışla bölgesinde maden atıklarında yapılan çalışmada olduğu gibi konya bölgesinde de yaygın olan atıkların başlangıçta asit maden drenajı oluşturmadığı şeklinde yorumlanabilir (Lermi, 2009; Lermi ve Kaya, 2013). Ancak inceleme alanında yapılan gözlemler ve alınan örneklerde yapılan mineralojik tayinler jarosit, hematit, limonit gibi ikincil minerallerin varlığı, bu atık sahasında pirit ve antimonit gibi minerallerin oksitlendiğini göstermektedir. Karbonat minerallerinin bol olduğu yan kayaçların nötrleştirme kapasitesi yüksek olduğundan, başlangıçta oluşan asitik suları nötrleştirmesine rağmen birikinti suları ve yüzey sularında belirlenen iz element miktarları özellikle bazı kuyuların ve pınarların, uluslararası sağlık örgütü (WHO, 1999) ve Türkiye Su Kalite Kontrol Yönetmeliğine (SKKY, 1991) göre kirli su sınıfına

girdikleri anlaşılmaktadır. Sulardan ölçülen yüksek Alkalinite değerleri bunu destekler niteliktedir. Birikinti ve yüzey sularının iz element içeriklerinin SKKY ne göre 2. Kalite suyla karşılaştırılmıştır (Şekil 4.3). İz elementlerden As ve Sb sırasıyla KS1- KS7 lokasyonlarından alınan sularda 2 - 100 kat zenginleştiğini göstermektedir. As ve Sb dere ve Lâdik su bendinde alınan sularda ise 2. Kalite suya göre zenginleşmediği, daha temiz olduğu anlaşılmaktadır. Ölçüm yapılan 13 su örneğinden 7 tanesinde aşırı zenginleşme göze çarpmaktadır (Şekil 4.3). Bu lokasyonlarda As ve Sb ile birlikte Hg (1,5 kat zenginleşme) ve Se (1-11 kat zenginleşme) kirlilik düzeyi yüksek olan elementlerdir. Fe, Cu ve Mn yeraltı sularında kabul edilebilir düzeylerde görülmektedir. Yüzey sularında ise Cu ve çinko 1 kat, ve Mn ise 0,5 kat zenginleşme göstermişlerdir.



Şekil 4.3. İnceleme alanındaki sularının SKKY (1991) 2. Kalite su standardına göre zenginleşme faktörü grafiği

Civa ve diğer toksik metaller bakımından kirlenmiş alanlarda sadece yeraltı suları kirlenmemekte, bu sularla sulanan tarım arazileri, yetiştirilen bitkiler ve hatta havuzlarda ve bendlerde yetiştirilen balıklar da bu kirlenmeden nasibini almaktadır (Rahman vd., 2008; Karahalil & Ulukaya, 2012). Kronik arsenik ve Hg zehirlenmesi kanser, melanosis, hiperkeratosis gibi ciğer hastalıkları, kangren, hipertansiyon gibi pek çok ciddi rahatsızlıklara neden olmaktadır (Josef vd., 2007). Bu nedenle uluslararası sağlık örgütü, sularda özellikle kabul edilebilir sınırları As için 10 µg, Hg için ise 1 µg olarak kabul etmektedir.

İnceleme alanındaki sulara kirlilik düzeylerini belirlemek için çeşitli indeksler geliştirilmiştir. Bunlardan Mohan vd. (1996)'nin geliştirmiş olduğu ağır metal kirlilik indeksi (HPL), Metal kirlilik indeksi (MPI) ve Backman vd. (1997) geliştirmiş olduğu kirlilik düzeyi indeksi (Cd), sulara izin verilen minimum ve maksimum kabul edilebilir metal düzeyleri göz önünde bulundurularak hesaplanmış ve Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere yüzey sularındaki ağır metal kirlilik düzeyleri KS1-KS7 suları yüksek değerlerde, dere ve Lâdik Su bendinde ise kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Bölgedeki sulardan özellikle işletme sahasına yakın olarak alınan suların metal kirlilik ve kirlilik derecesi indeksleri kabul edilebilir sınırların oldukça üzerinde olduğu ve bu suların aşırı kirli sınıfına girdikleri söylenebilir.

Çizelge 4.1. Kurşunlu civa işletmesi sahasından alınan sulara hesaplanan kirlilik indeksleri (HPI: Ağır metal kirlilik indeksi, MPI: Metal kirlilik indeksi ve Cd: Kontaminasyon derecesi, KD: Kritik değer 100 olarak alınmıştır).

Örnek	HPI	KD Sapma %	MPI	Ort. sapma %	Cd	Ort. sapma %
ks1	618	5	6	-169	-6	-169
ks2	731	6	7	-167	-5	-167
ks3	56598	565	566	391	554	391
ks4	18017	179	180	5	168	5
ks5	67324	672	673	499	661	499
ks6	18140	180	181	7	169	7
ks7	65196	651	652	477	640	477
ks8	117	0,2	1,2	-174	-11	-174
ks9	127	0,3	1,3	-173	-11	-173
ks10	43	-0,6	0,4	-174	-12	-174
ks11	31	-0,7	0,3	-174	-12	-174
ks12	83	-0,2	0,8	-174	-11	-174
ks13	72	-0,3	0,7	-174	-11	-174
Ortalama	17469	173,69	174,69		162,69	
Düşük değer	<200		<150		<40	
Orta değer	200-400		150-300		40-80	
Yüksek değer	>400		>300		>80	

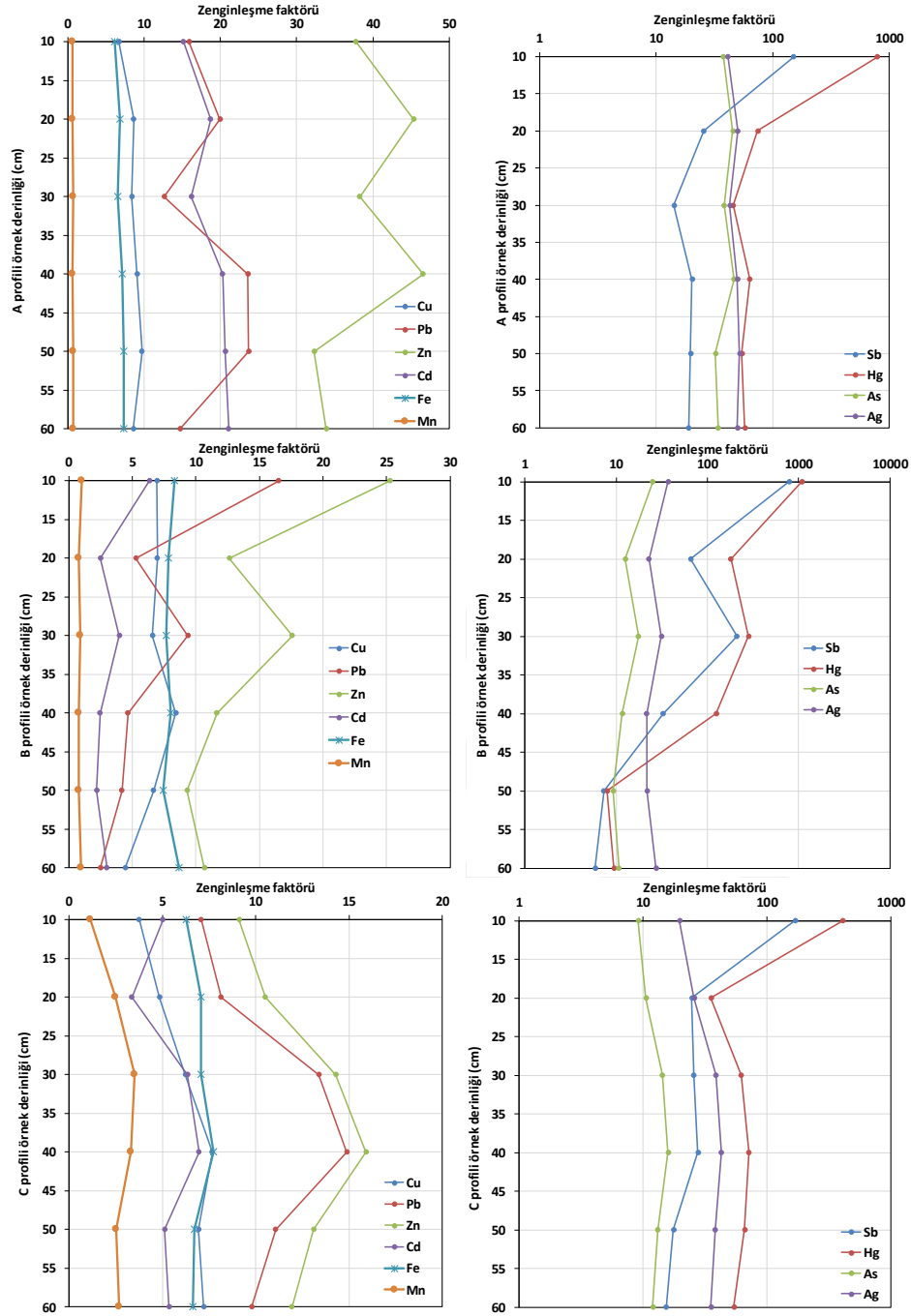
4.2 Topraklarda Meydana Gelen Kirlilik Düzeyleri

İnceleme alanı ve yakın etrafındaki çoğunlukla tarım arazilerinden oluşan alandan derlenen yüzey toprakları analiz edilmiş ve bu analiz sonuçlarına ait temel istatistik parametreler Çizelge 3.11'de verilmiştir. Bu topraklardan ölçülen pH değerlerine göre (6.9- 8.4 saf suda) bu toprakların alkali karakterde olduğu göstermiştir. Önceki çalışmacılar toprağın pH'ı ile metal mobilitesi üzerinde önemli rol oynadığını, Pb'un nötr ve alkali topraklarda zayıf mobiliteye sahip olduğunu ancak, Cu, As ve Zn

komplekslerinin bu tür topraklarda daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Lee vd., 2000; Fernandez-Truel vd., 2001). pH Pb, Zn, Cd, Hg ve Sb gibi elementlerin bu tür topraklarda bitkilerin bünyelerine alınmasında oldukça etkili olduğunu belirtmişlerdir (Ullrich vd., 1999).

Atıkların yayılımının bittiği kuzey kesiminde toprak profilini görecekte şekilde açtırılan 65 cm derinliğindeki 3 ayrı kuyudan dikey yönde alınan örneklerde yapılan analizler, bu elementler bakımından zengin zonun A_h ve FE zonu olduğunu, kirlenmesinin maksimum 40- 45 cm derinliğe kadar indiğini, element dağılımının B_v ve C_v zonlarında profil boyunca normal konsantrasyonda devam ettiğini göstermektedir (Şekil 3.9, 3.10). Üç ayrı toprak profilinde ortalama şeyl konsantrasyonuna göre her bir element için hesaplanan ağır metal zenginleşme faktörlerine bakıldığında, işletme sahasına yakın açılan A ve B profili (P1 ve P2) boyunca Zn elementinin 30 kat, Cu ve Cd elementinin ise 10 katın üzerinde zenginleştiği, bunun yanında profil boyunca C zonuna kadar Sb, As ve Ag elementlerinin 11- 40 kat Hg elementinin ise 40- 100 kat daha zenginleştiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.4). Profiller boyunca meydana gelen element zenginleşmeleri, bu profillerin organik karbon içeriği ve Mn ile benzerlik sunması, ağır metallerin organik karbon ve oksitler tarafından absorbe edildiği ve toprak zonu boyunca oldukça zenginleştiği söylenebilir.

Atık sahasını da içine alan yaklaşık 2.5 km² lik bir alandan sistematik olarak derlenen örneklerde hesaplanan zenginleşme faktörü, jeobirikim (Igeo) indeksi ve kirlilik yükü indeksi (PLI) Çizelge 4.2 'de verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere yüzey topraklarında tarım topraklarında izin verilen sınırlara göre Ag ortalama 33 kat daha zengin hale gelmiş atıklara yakın kesimlerde 400 kata ulaşmıştır (Çizelge 4.2). Sızma yöresindeki Hg yataklarında bol bulunan Hg, Sb ve As oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Türkiye'deki ve dünyadaki önemli civa işletmelerinin yakınlarındaki topraklarla karşılaştırıldığında Türkönü, Halıköy civa yatağı (Gemici ve Tarcan, 2009; Gemici, vd, 2009), Washan Hg yatağı (China, Tersic vd. 2009), İdrija Hg yatağı (Slovenya, Gnamus vd. 2000), Almaden Hg yatağı (İspanya, Grey, vd., 2004) benzer şekilde gerek atıklarda gerekse tarım topraklarında özellikle Hg, Sb ve As elementlerine ait kirlilik düzeylerinin Türkiye'deki ve bu çalışmada olduğu gibi oldukça yüksek seviyelere ulaştığı belirlenmiştir.



Şekil 4.4. İnceleme alanındaki toprak profillerindeki (P1 ve P2 atık sahası ve işletmeye yakın, P3 profili ise uzak kesimde açılmıştır) elementlere ait zenginleşme faktörlerinin düşey dağılımı

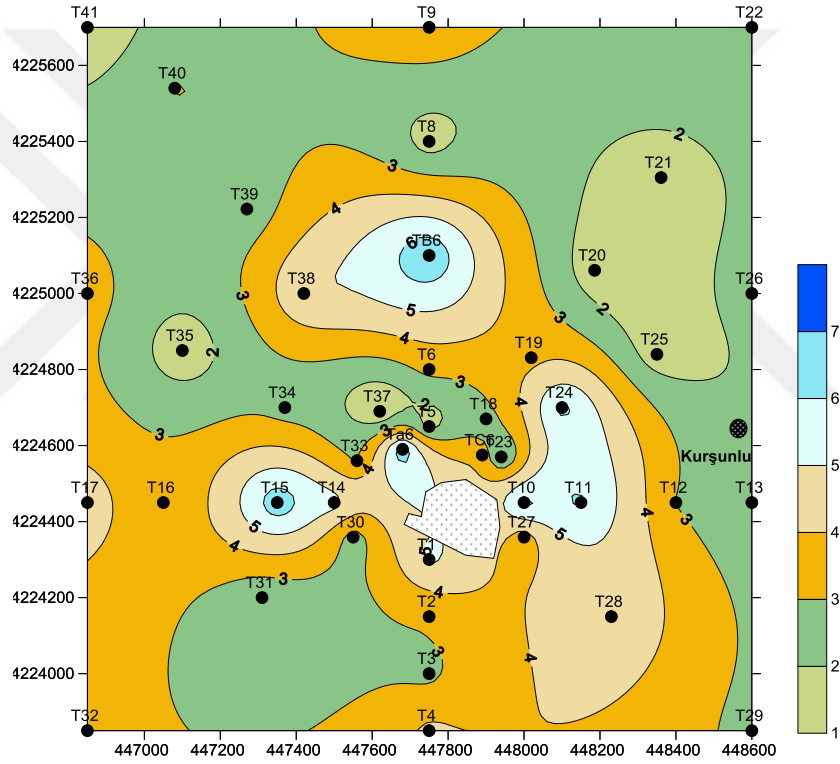
Topraklarda hesaplanan zenginleşme faktörü dağılımları %50'a yakın kesiminde Cu, Pb, As, Sb, ve Hg değerleri toprak kontrol yönetmeliğinde belirlenen kabul edilebilir sınırlardan oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır (Şekil 4.4- 4.10). Topraklarda elementlerin yatay yöndeki dağılımında As, atıkların doğu ve batısındaki topraklarda ve çoğunlukla da kuzey yöndeki tarım arazisinde anomali verdiği gözlenmektedir.

Çizelge 4.2. İnceleme alanındaki tarım topraklarından hesaplanan çeşitli kirlilik indeksleri

Örnek	Zenginleşme Faktörü														Igeo (jeobirikim indeksi)				PLI
	Fe	Mn	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Cd	Sb	Co	Ni	Cr	Hg	Ag	As	Sb	Hg	
Ta6	6,2	0,6	6,7	6,7	15,9	8,3	41,2	37,8	15,1	150,9	7,7	6,6	6,6	788,3	1,27	1,14	3,14	5,53	3,04
T1	8,8	1,1	0,8	5,2	14,5	5,6	19,5	17,8	5,2	114,1	7,4	6,1	11,5	46,3	-0,06	-0,19	2,49	1,19	1,14
T2	6,6	1,0	1,3	3,2	12,0	4,1	26,4	42,9	5,2	193,5	4,9	4,9	9,7	744,7	0,48	1,18	3,36	5,30	1,94
T3	7,1	0,7	0,4	2,8	5,3	4,1	12,0	5,2	1,5	4,4	4,4	6,6	13,9	9,6	-0,37	-1,56	-1,83	-0,70	0,40
T4	8,8	0,7	1,4	4,2	7,5	7,1	20,3	9,5	3,3	3,6	5,4	4,6	9,1	26,7	-0,10	-1,19	-2,57	0,30	0,47
T5	5,7	1,8	0,8	1,6	7,9	3,5	11,5	6,0	2,3	69,3	3,1	1,9	4,4	398,3	-0,45	-1,38	2,14	4,67	1,03
T6	7,3	0,9	1,0	3,3	8,2	3,7	15,0	13,9	3,6	226,6	4,3	3,3	7,7	5164,2	-0,40	-0,51	3,52	8,03	1,89
T8	5,8	0,6	0,2	1,5	3,1	2,2	7,6	4,6	1,1	4,6	2,9	2,1	5,4	10,7	-0,70	-1,44	-1,44	-0,21	0,37
T9	6,0	0,7	1,5	3,8	10,9	6,5	38,8	12,5	4,0	34,3	5,9	4,3	5,1	129,6	0,97	-0,67	0,79	2,71	0,97
T10	5,8	0,6	1,5	6,3	10,0	7,7	33,3	16,5	3,8	50,3	7,4	6,7	6,6	219,0	0,79	-0,22	1,38	3,51	1,28
T11	6,4	1,1	1,3	6,1	7,4	5,6	26,7	14,7	3,7	64,2	5,9	7,2	8,2	82,1	0,80	-0,07	2,06	2,42	1,29
T12	7,0	1,3	0,8	3,0	4,4	3,2	9,9	22,4	2,0	45,3	3,8	3,9	9,2	28,3	-0,79	0,39	1,40	0,72	0,72
T13	5,6	1,1	0,8	2,2	43,9	4,5	72,9	151,0	29,2	4557,1	1,6	2,1	4,2	75319,4	1,08	2,13	7,04	11,09	5,68
T14	9,3	1,6	3,3	5,4	11,2	3,5	19,9	16,4	2,7	18,2	5,4	4,2	8,8	57,3	-0,42	-0,70	-0,55	1,10	0,56
T15	6,8	1,1	2,5	6,7	10,2	7,3	36,5	25,1	6,7	59,1	7,9	7,8	8,7	71,8	1,14	0,59	1,83	2,11	1,50
T16	7,9	1,2	3,3	3,1	7,3	3,6	10,8	16,9	2,8	9,2	4,3	3,6	7,4	19,5	-0,91	-0,27	-1,14	-0,06	0,50
T17	9,5	1,1	0,2	4,5	2,4	2,5	6,6	9,0	1,8	19,7	6,9	5,3	16,3	147,8	-1,36	-0,90	0,23	3,13	0,66
T18	6,7	1,0	0,8	2,7	4,6	3,1	8,3	5,6	1,5	13,7	3,4	3,6	9,9	32,1	-0,95	-1,51	-0,22	1,01	0,51
T19	5,6	0,7	1,2	3,8	88,3	4,3	216,1	198,3	58,5	18607,4	2,2	3,5	11,9	11874,2	2,83	2,71	9,26	8,61	8,27
T20	5,3	0,5	0,6	1,4	3,5	1,9	7,3	4,6	1,1	63,4	2,1	1,3	4,6	76,4	-0,92	-1,60	2,19	2,46	0,62
T21	5,1	0,6	1,7	1,7	8,8	3,4	10,1	11,7	4,1	42,1	2,0	1,6	5,2	27,5	-0,71	-0,49	1,35	0,74	0,76
T22	7,9	0,8	1,8	2,5	8,7	4,8	13,9	10,5	2,0	29,8	3,8	2,9	6,4	22,8	-0,30	-0,71	0,80	0,42	0,67
T23	6,4	0,7	0,3	1,7	5,4	3,0	4,6	3,4	1,2	2,3	3,2	1,6	6,4	8,6	-1,58	-2,02	-2,58	-0,67	0,33
T24	6,2	0,7	2,5	6,3	135,8	7,3	552,2	488,7	215,1	70410,8	2,5	5,7	23,4	6014,8	1,21	1,04	8,21	4,66	1,95
T25	5,8	0,4	0,1	1,4	4,7	2,4	3,5	2,5	0,5	22,7	2,3	1,3	4,6	24,8	-1,85	-2,36	0,83	0,96	0,44
T26	6,3	0,8	1,0	2,6	14,2	6,6	30,7	77,4	12,8	954,5	3,1	2,7	8,2	1962,3	0,30	1,64	5,26	6,30	2,78
T27	6,2	1,0	0,9	3,5	6,1	3,9	14,7	7,3	2,4	14,0	4,4	4,6	12,8	43,0	0,06	-0,96	-0,01	1,61	0,75
T28	6,7	0,8	2,1	4,9	5,8	4,7	24,6	13,5	4,4	74,1	5,3	5,1	7,4	90,9	0,53	-0,34	2,12	2,41	1,11
T29	6,7	1,2	1,5	2,6	6,9	3,6	12,1	7,5	3,0	42,1	3,6	3,2	7,5	39,9	-0,87	-1,57	0,92	0,85	0,55
T30	6,9	1,0	0,5	2,5	4,5	2,9	5,6	10,7	1,5	7,9	3,2	3,7	10,0	100,6	-1,46	-0,54	-0,98	2,69	0,61
T31	6,7	1,3	0,8	2,2	5,6	3,0	8,2	12,3	2,5	25,2	3,4	3,6	10,4	80,6	-1,05	-0,46	0,57	2,25	0,72
T32	6,3	1,3	1,1	3,4	6,3	4,2	16,9	17,4	3,6	14,6	4,0	5,5	11,7	213,6	0,02	0,07	-0,19	3,69	0,98
T33	6,2	0,7	1,2	2,9	6,5	3,9	13,0	11,8	3,0	27,2	3,5	2,4	5,3	52,6	-0,27	-0,41	0,80	1,75	0,83
T34	6,9	1,2	1,1	2,6	8,2	3,7	14,2	12,8	4,2	21,7	4,1	3,9	8,6	81,7	-0,67	-0,81	-0,06	1,86	0,64
T35	5,4	0,6	0,3	1,3	4,8	2,1	4,6	7,6	1,4	5,2	2,1	2,4	6,4	11,0	-1,82	-1,10	-1,64	-0,56	0,34
T36	7,3	0,9	0,5	3,5	9,9	3,7	12,5	8,3	2,1	9,6	4,9	4,7	10,5	53,0	-0,49	-1,09	-0,88	1,59	0,63
T37	4,8	0,3	0,6	1,0	7,2	3,7	12,7	6,4	2,4	29,7	1,0	0,8	1,6	76,4	-0,89	-1,87	0,34	1,70	0,45
T38	6,7	1,2	1,6	5,0	9,5	6,4	28,7	14,7	8,5	20,6	6,1	6,1	8,1	900,2	0,69	-0,28	0,21	5,66	1,55
T39	6,2	1,7	1,4	2,3	6,7	3,0	8,2	7,1	2,1	7,2	3,1	2,4	6,4	15,0	-0,73	-0,93	-0,92	0,15	0,55
T40	8,4	1,8	2,6	3,0	6,7	4,0	12,1	18,7	3,7	45,3	3,6	3,8	9,2	296,3	-1,04	-0,41	0,87	3,58	0,81
T41	5,8	0,6	0,4	1,2	3,4	1,8	5,9	6,7	1,1	4,0	2,3	1,6	5,7	4,3	-0,91	-0,73	-1,48	-1,39	0,36
TB6	8,3	1,0	1,0	6,9	16,5	7,8	37,2	25,3	6,3	785,8	9,2	10,2	15,4	1086,4	1,15	0,59	5,55	6,02	3,43
TC6	6,3	1,1	1,3	3,8	7,1	4,0	19,7	9,1	5,0	168,9	4,6	4,6	8,5	412,5	0,38	-0,73	3,48	4,77	1,64
Şeyl _{ort.}	4,7	850	6,2	45	20	90	0,07	13	0,3	1,5	20	68	90	0,065					
Maksimum	9,5	1,8	6,7	6,9	135,8	8,3	552,2	488,7	215,1	70410,8	9,2	10,2	23,4	75319,4	2,834	2,71	9,2623	11,0884	8,27
Minimum	4,8	0,3	0,1	1	2,363	1,8	3,529	2,474	0,479	2,3063	1	0,8	1,6	4,25197	-1,85	-2,363	-2,579	-1,3891	0,33
Ortalama	6,7	1,0	1,3	3,4	13,4	4,3	35,0	33,1	10,4	2257,5	4,2	4,0	8,6	2485,2	-0,2	-0,4	1,3	2,6	1,3

Bu topraklarda As 135 mg/kg, Hg 212,4 mg/kg, Sb ise 1381 mg/kg gibi yüksek bir miktarlara ulaşmaktadırlar (Çizelge 3.11). Bu elementlerin özellikle atıkların kuzey ve doğusunda ve Kurşunlu mahallesi civarında topraktaki zenginleşmesi oldukça yüksektir. Zira diğer elementlerden Cu, Pb ve Zn zenginleşme faktörleri düşük olmasına rağmen benzer bir dağılım ve zenginleşme göstermektedirler (Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7). Atıklarda içeriği yüksek olan iz elementler topraklarda da hemen hemen aynı yüksek değerlere ulaşmaktadır. Dikkat çeken diğer bir husus ise elementlerin toprak üst zonunda zenginleşmesi ve kirlenmenin büyük bir kısmının bu bölüme

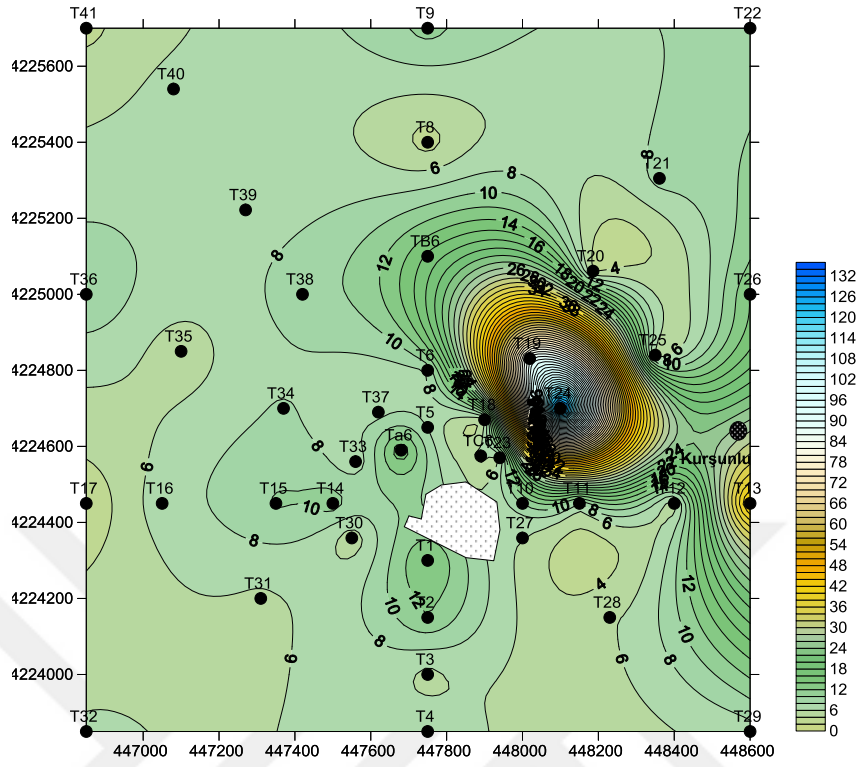
olmasıdır. Elementlerin yanal yöndeki dağılımında hidromorfik dağılımın etkisinin yanında klastik dağılımın büyük bir rol oynadığı görülmektedir. Elementlerin dağılım yönü ve derinliği, tarımsal faaliyetlerin uzun yıllar devam etmesi, son yıllarda bu atıkların yeniden değerlendirmeye tabi tutulmaları ve bu nedenle yapılan zenginleştirme işlemleri ile atıkların küçük parçacıklarının katı halde veya özellikle düşük sıcaklıklarda bile buhar fazda kalabilen Hg, uzak mesafelere taşınmasına yol açmış olmalıdır. Meksika'daki bazı fabrikalardan çıkan parçacıkların uzun mesafelerde taşındığı ve bu taşınmanın hakim rüzgar yönünde olduğu bilinmektedir (Razo vd., 2004). Ayrıca atık sahasındaki toz ve Hg buharının hâkim rüzgâr yönü KB-GD istikametinde taşınmış olabileceği de düşünülmelidir.



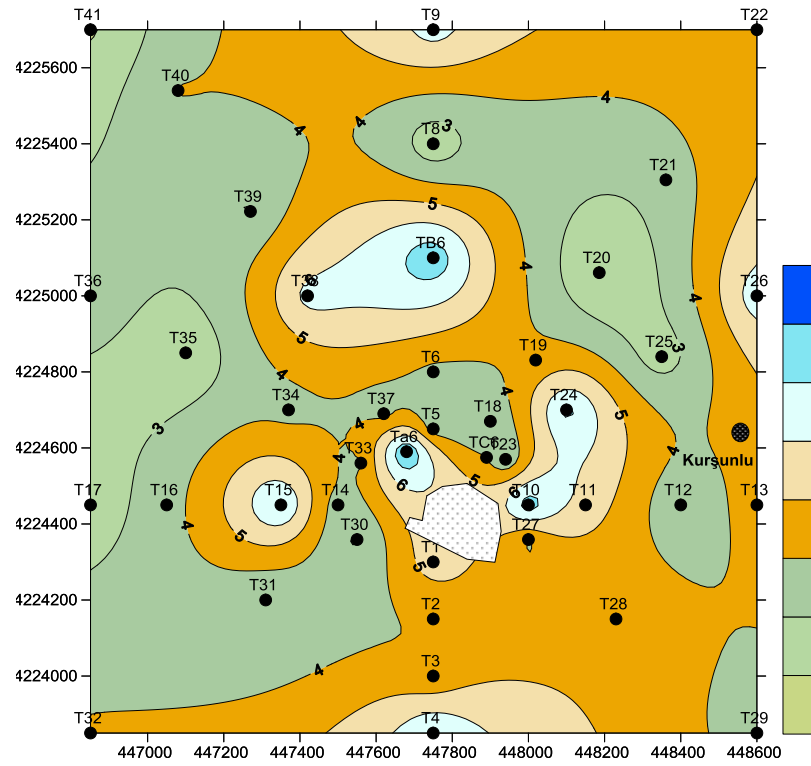
Şekil 4.5. Cu elementinin ortalama Şeyl Cu içeriğine göre hazırlanan zenginleşme faktörü yatay dağılımı

İnceleme alanındaki topraklarda hesaplanan PLI (kirlilik yükü) indeksi dağılımına bakıldığında atık sahası ve civarı, kurşunlu köyü yönü ve atıkların kuzeydoğusu olmak üzere atıklardan kaynaklı $PLI > 2$ olan alan inceleme alanının yaklaşık %50 sini oluşturmaktadır (Şekil 4.10). PLI değeri $2 < PLI < 3$ ve daha yukarısı olan indeks değerlerine sahip toprakların aşırı derecede kirlendiğini ifade etmektedir. Benzer bir durum da Igeo değerlerinde gözlenmekte, kimi yerlerdeki topraklarda aşırı miktarda

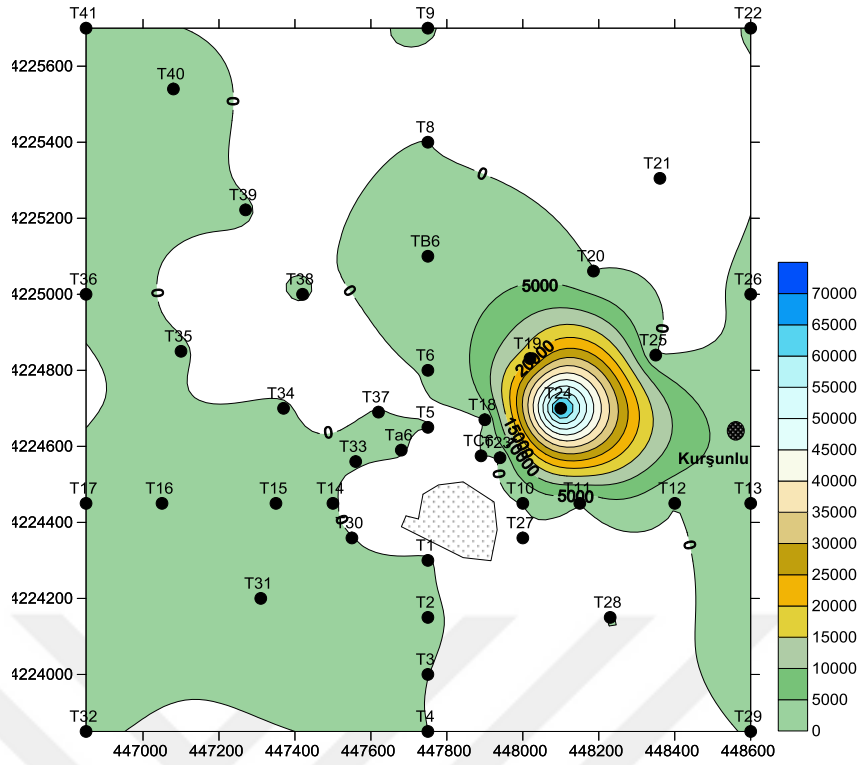
ağır metal birikimi olduğunu göstermektedir.



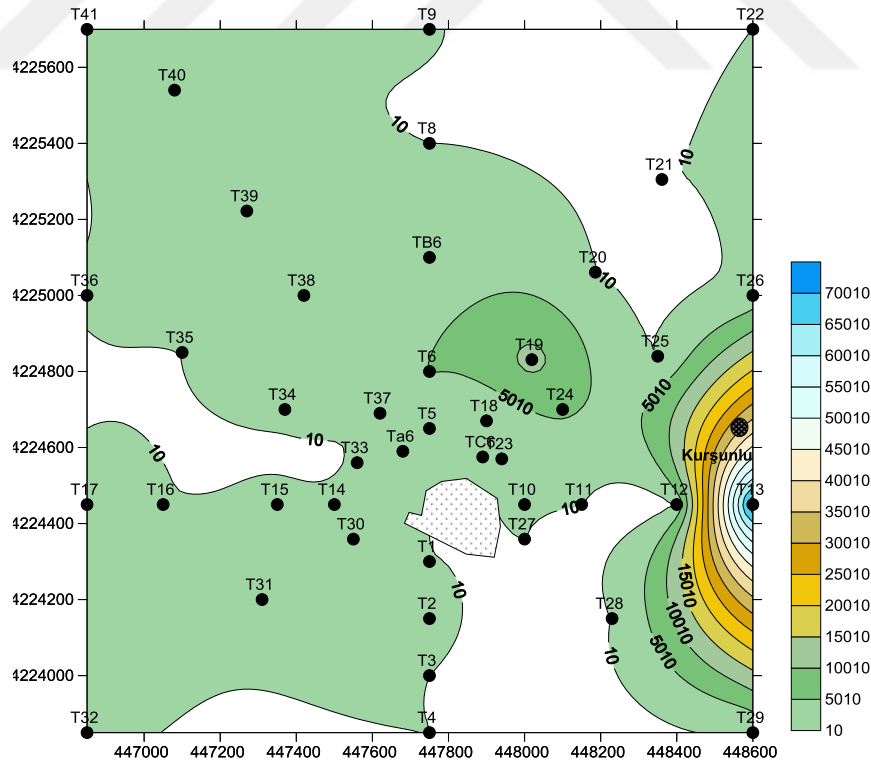
Şekil 4.6. Pb elementinin ortalama Şeyl Pb içeriğine göre hazırlanan zenginleşme faktörü yatay dağılımı



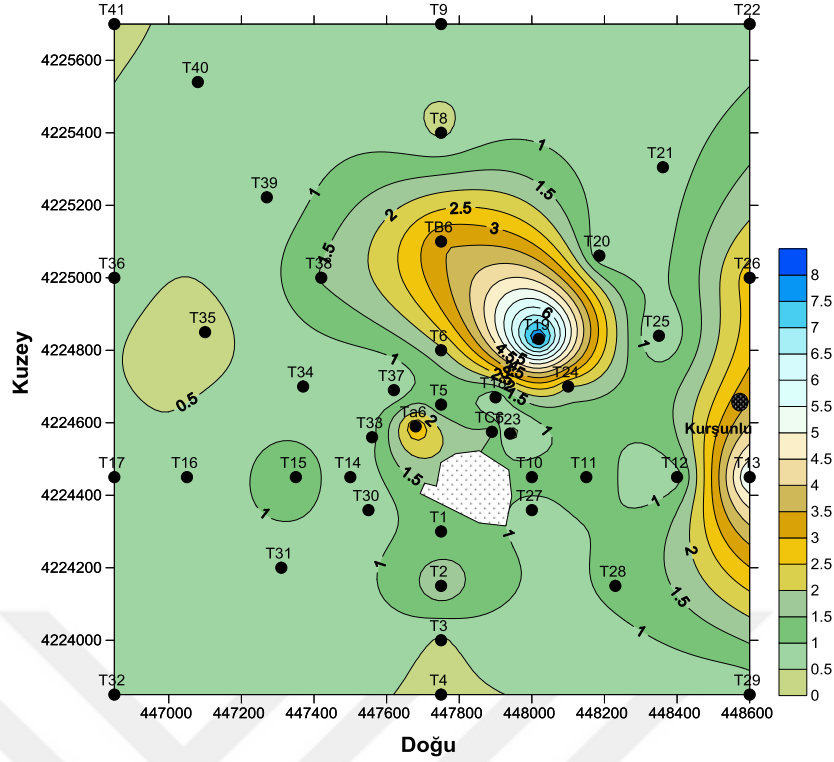
Şekil 4.7. As elementinin ortalama Şeyl As içeriğine göre hazırlanan zenginleşme faktörü yatay dağılımı



Şekil 4.8. Sb elementinin ortalama Şeyl Sb içeriğine göre hazırlanan zenginleşme faktörü yatay dağılımı



Şekil 4.9. Hg elementinin ortalama Şeyl Hg içeriğine göre hazırlanan zenginleşme faktörü yatay dağılımı



Şekil 4.10. Kurşunlu işletme sahasındaki topraklarda hesaplanan kirlilik yük indeksi (PLI) yatay dağılımı

4.3 Biyokonsantrasyon Faktörü

Bitkiler topraktaki iz elementleri iyonik veya kompleks formlarda bünyelerine alırlar. Toprağın pH'ı, organik madde miktarı, redoks şartları ve Ca, Mg ve P gibi ana elementlerin bolluğu iz elementlerin bitki bünyesine alınmasında etkili faktörlerdir (Brooks, 1972). Bölgedeki meyve bitkilerinin hemen hemen hepsinde Cd, As, Sb ve Hg, hemen hemen kabul edilebilir seviyeyi aşmış durumdadır (Kabata- Pendias ve Pendias, 2001). Üzüm ve armut ağaçlarında Sb ve Hg kabuledilebilir seviyenin hayli üzerinde bulunurken As ise sadece Erik ağacında oldukça yüksektir.

Bitkiler toprakta bulunan elementlerin tamamını değil sadece bir kısmını katyon değişim yoluyla bünyeye alabilmektedirler. Bazı yazarlar elementlerin biyolojik beslenmeye en uygun miktarının yer altı sularında olan miktarlarla eşdeğer olduğunu belirtmektedirler (Nguyen, vd., 2005). Biyokonsantrasyon faktörü (BCF) olarak isimlendirilen bu faktör, bitkinin etraftaki yüzey ve yeraltı sularından iz elementi bünyesine alma derecesini gösterir bir faktördür (Nguyen vd., 2005). İnceleme alanında yaygın olan meyve bitkilerine ait BCF değerleri, ortalama yer altı suyu

bileşimine göre hesaplanmış ve Çizelge 4.1'de verilmiştir. Buna göre, bölgedeki bitkiler As, Sb ve Hg elementlerini bünyelerine aldıkları, adeta birer akümülatör gibi davrandıkları görülmektedir. İz elementlerin bitkiler tarafından biyoakümülyasyonu bu bitkilerin yapraklarıyla ve meyveleriyle beslenen canlılar açısından potansiyel olarak zararlıdır ve uzun vadede istenmeyen rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Bu nedenle bölgede gerekli önlemlerin alınması konusunda ilgililer uyarılmalıdır.



BÖLÜM V

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada verilerin değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. İncelenen sahada kalsine edilmiş veya ocaktan çıkarıldığı hammadde şeklinde oldukça büyük miktarda atık bulunmaktadır. Oldukça geniş bir alana yayılmış olan bu atıklar, uzun süredir her türlü yağmur, kar ve bakteriyolojik etkiye açıktırlar ve AMD ve çevre kirliliği oluşturabilecek potansiyele sahiptirler.
2. Özellikle atık sahasına yakın yer altı suları beklenenden daha bazik karakterdedir. Yani AMD etkisi bu sulara izlenmemektedir. Ancak kirlilik boyutları, atıklarda belirlenen ikincil mineraller, özellikle limonit, hematit, antimonit ve pirit bu atık sahasında pirit ve antimonitin oksitlendiğini ve başlangıçta AMD oluşturduğunu göstermektedir. Ancak yan kayaçta aşırı karbonat içeren dolomit, kalsit, bulunduğundan nötralize potansiyeli oldukça yüksek bir ortam oluşmuş olmalıdır.
3. Toprak profili boyunca organik madde miktarı, üst zonlarda, As, Sb ve özellikle de Hg ve Zn gibi elementlerin A ve B zonunda zenginleştiği görülmektedir. Toprak profili boyunca en büyük kirlenmenin ya da ağır metal zenginleşmesinin 10- 40 cm derinlikte, yani yüzeye yakın kesimlerde olduğu belirlenmiştir.
4. Bölgeden derlenen sulara genelde Ca ve Mg baskın katyon, HCO₃ ve SO₄ ise baskın anyon olarak bulunmaktadır. İşletme sahasına yakın olan ve atıklardan etkilenen sulara Ca-SO₄, Ca-HCO₃-SO₄, Ca-Mg-HCO₃-SO₄ tipte, işletmeden uzaklaştıkça suların Ca-HCO₃ ve Ma-Mg-HCO₃ tipte sular olduğu anlaşılmıştır.
5. SAR-EC sulama suyu sınıflandırma tablosuna göre, inceleme alanından alınan sular C2-S1 ve C3-S1 sınıfına yani düşük Na tehlikesine ve orta yüksek tuzluluk sınıfına sahip sular olduğu belirlenmiştir.
6. İnceleme alanındaki sulara As, Sb, Hg ve Se kirliliği mevcuttur. Pınar (kaynak) sularında Cu, Pb, Zn, As ve elementleri, derelerde Sb elementi ve birikinti elle açılan havuz sularında ise As, Sb, Hg, Se ve Ba yüksek düzeyde kirliliği

oluşturmaktadırlar. Su kirliliği kontrol yönetmeliği kriterlerine göre As, Hg, Sb, Se ve F sularda kirletici olarak tespit edilmiştir.

7. İncelenen 3 ayrı toprak profilinde özellikle atık sahasına yakın olan iki profilde Sb, As, ve Ag elementlerinin 11- 40 kat Hg elementinin ise 40- 100 kat daha zenginleştiği tespit edilmiştir. Zenginleşme A ve B zonlarında organik karbon ve oksitlerin dağılımına bağlı olarak ilk 10- 40 cm lik derinlikte daha yüksek olduğu ortaya konmuştur.
8. İnceleme alanında toprak ve suda görülen Cu, Pb, Zn, As, Sb ve Hg elementlerine ait zenginleşme faktörüne bakıldığında topraklarda yer yer; Pb 85 kat, Zn 20 kat, As 200 kat kata kadar zenginleştiği görülmüştür.
9. Bölgedeki sularda ve topraklarda bölgesel temel değerlere göre oldukça büyük zenginleşme görülmektedir. Cu, Zn ve Pb gibi elementlerin zenginleşmesinde özellikle metamorfik temel birime ait kayaçların ayrışmasının rolü olmasına karşın, As, Sb, Hg ve Cd gibi elementlerin kirlilik kaynağının eski işletme faaliyetlerinin ve atıkların olduğu açıkça ortadadır.
10. Bölgedeki toprakların üst zonlarında kirlilik boyutunun yüksek olması, elementlerin hidromorfik yayılımının yanında klastik yayılımında oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Kirlilik dağılımının topoğrafik eğime uyumlu olması ve aynı bölgelerde uzun yıllardır tarımsal faaliyetlerin sürdürülmüş olması bunu destekler niteliktedir.
11. İnceleme alanındaki topraklarda hesaplanan PLI (kirlilik yükü) indeksi dağılımına bakıldığında atık sahası ve civarı, Kurşunlu mahallesi yönü ve atıkların kuzeydoğusu olmak üzere atıklardan kaynaklı $PLI > 2$ olan alan inceleme alanının yaklaşık %50 sini oluşturduğu tespit edilmiştir.
12. Bölgedeki meyve bitkileri As, Sb, Cd ve Hg elementlerini bünyelerine aldıkları adeta birer akümülatör gibi davrandıkları belirlenmiştir. İz elementlerin bitkiler tarafından biyoakümülyasyonu bu bitkilerin yapraklarıyla ve meyveleriyle beslenen canlılar açısından potansiyel olarak zararlıdır ve uzun vadede istenmeyen rahatsızlıklara neden olabilecektir.

13. Bölgedeki yan kayaçlar ve toprakların doğal nötrale özelliğe sahip olmasına karşın, topraklarda ve sularda meydana gelen bu aşırı kirlenme bölgede yaşayan canlılar açısından bir tehdit oluşturmaktadır. Ayrıca atıkların açık alanda her türlü etkiye açık olması, yeniden zenginleştirmeye tabi tutulmaları çevre kirliliğini artırmaya devam edeceğinden gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.
14. Atık ve işletme sahasının yakın kesimlerinde özellikle tarımsal faaliyetlerden uzak durulmalı, bölgeye yakın kuyu suları, içme ve tarımsal faaliyetlerde kullanılmamalıdır.



KAYNAKLAR

Akalan, İ., “Toprak Bilgisi” , *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 1058*, Ankara, 1988.

Akcil A. ve Koldas S., “Environmental contamination in the mining industry: the case of Acid Mine Drainage (AMD)” , *Journal of Cleaner Production*, 14, 5-6, 2006.

Akçay, M., Lermi, A. ve Van, A., “Biogeochemical exploration for massive sulphide deposits in areas of dense vegetation: an orientation survey around the Kanköy Deposit” , *Journal of Geochemical Exploration*, 63: 173- 187, 1998.

Alloway B.J., “Heavy metals in soils” , *Glasgow: Blackie Academic & Professional*, s. 339, 1990.

Aydın, Y., “Karadağ- Sızma (Konya) yöresindeki mavişist metamorfizmasının kökeni: S. Korkmaz ve M. Akçay (ed.)” , *Jeoloji Müh. Böl. 30. Yıl Sempozyumu Bildirileri*, 1,186-194, KTÜ- Trabzon, 1996.

Baroni, F., Boscaglia, A., Protano, G. and Ricobbono, F., “Antimony accumulation in *Achillea ageratum*, *Plantago lanceolata* and *Silene vulgaris* growing in an old Sb-mining area” , *Environmental Pollution*, 109: 347- 352, 2000.

Baroni, F., Boscaglia, A., Dilella, L. A., Protano, G. and Ricobbono, F., “Arsenic in soil vegetation of contaminated areas in southern Tuscany (Italy)” , *Journal of Geochemical Exploration*, 81:1-14, 2004.

Barnes, J.W., Nackowski, M.P. and Bailey, E H., “Geology and ore deposits of the Sızma- Lâdik mercury district” , *CENTO*, 53 s., Ankara, 1971.

Bayıç, A., “Sızma- Konya metaporfiritleri hakkında” , *MTA Dergisi*, 70, 214-229, 1968.

Brooks, R.R., “Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration”, **Harper & Row Publisher**, 290 s., London, 1972

Brooks, W. E., Öztürk, H., and Cansu, Z., “Amalgamation and Small- Scale Gold Mining at Ancient Sardis, Turkey”, **Archaeological Discovery**, 5, 42-59, 2017.

Broughton, L.M. and Robertson, MacG. , “Acid Rock Drainage From Mines”, **Where Are We Now, Minerals, Metals and the Environment Conference**, 92, Manchester, England, 1992.

Çelik, M. ve Arslan, M., “The chemistry of Illite minerals in the vicinity of mercury deposits (Sizma-Konya)”, **Tr. J. of Earth Sciences**, 3, 17-23, 1994.

Çubukçu, A. ve Tüysüz, N., “Trace element concentrations of soils plants and waters caused by a copper smelting plant and other industries”, **Northeast Turkey, Environ Geol.** 52, 93- 108, 2007.

Costello, C., “Acid Mine Drainage Innovative Treatment Technologies, U.S. Environmental Protection Agency (EPA)”, **Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office**, Washington, DC, USA, 2003.

Dunn, C.E., Brooks, R.R., Edmondson, J., Leblanc, M. and Reeves, R.D., “Biogeochemical Studies of Metal- Tolerant Plants from Southern Morocco”, **Journal of Geochemical Exploration**, 56:13-22, 1999.

Doğan, A., “Sızma- Lâdik (Konya) civa sahasının jeolojisi ve maden yatakları sorunlarının incelenmesi”, **İstanbul Üniv. Fen Fak. Yük. Müh. Dipl. Çalış.** 39 s., 1975.

Edraki, M, Golding, S.D, Baublys, K.A., and Lawrence, M.G., “Hydrochemistry, mineralogy and sulfur isotope geochemistry of acid mine drainage at the Mt. Morgan mine environment”, **Queensland, Australia, Applied Geochemistry v. 20** p.789– 805. , 2005.

Eren, Y., “Eldeş- Derbent- Tepeköy- Sögütözü (Konya) arasının jeolojisi”, **Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi**, 224 s. , 1993.

Fernandez- Turiel, J. L., Acenolaza, P., Medina, M. E., Llorens, J. F. and Sardi, F., “Assessment of smelter impact area using surface soils and plants”, **Environ. Geochem. Health**, 23, 65–78., 2001.

Gonzalez, I., “Estimation Potantial Pollution of Waste Mining Dumps at Pena del Hierro as a bas efor future mitigation actions”, **Elsevier, Science Direct Presss**, 2006.

Hekimbaşı, E. B., “Sızma- Kadınhanı dolayı petrografi incelemesi”, **Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi**, 217 s., 1997.

Holl, R., “Türkiye civa ve antimon yatakları”, **Doktora tezi (yayınlanmamış)**, 1965.

Josef G., Thundiyil, Yuan Y., Smith A.H. and Steinmaus C., “Seasonal variation of arsenic concentration in wells in Nevada”, **Environ Res 104**: 367- 373, 2007.

Kaaden, W. G., “The significance and distribution of glaucophane rocks in Turkey”, **Maden Teknik ve Arama Bült.**, 67, 36-67, 1966.

Kababata- Pendias, A. and Pendias, H., “Trace elements in soils and plants”, **CRC Press, Boca Raton, Florida, 2nd edn.** , 1995.

Kabata-Pendias, A., and Pendias, H., “Trace Elements in Soils and Plants”, **CRC Press, Boca Raton, Florida, third ed.**, 413 p., 2001.

Karahalil, B., Ulukaya, M. and Alp, O., “Pilot Study of Environmental Monitoring of Konya Region near Abandoned Mercury Mine in Turkey”, **Bull Environ Contam Toxicol**, 88, 150-153, 2011.

Kuru, D. ve Yıldız, M., “Sızma- Konya civa madeni”, **Maden Teknik ve Arama Rap. No: 3837**, 49 s., 1963.

Kurt, H., “Petrography and geochemistry of the Kadınhanı (Konya) area, Central Turkey”, *Glasgow Univ, PhD Thesis*, 191 p., 1994.

Kuyucak, N., “Role of Microorganisms in Mining: Generation of Acid Rock Drainage and its Mitigation and Treatment”, *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*, 2, 3, 179-196, 2002.

Kovenko, V., “Konya mıntıkasındaki Sızma köyü cıva madeninde yapılan gezintiye dair kısa not”, *Maden Teknik ve Arama Rapor No: 919*, 9 s., Ankara, 1939.

Lee, C., Chon, H. and Jung, M., “Heavy metal contamination in the vicinity of the Daduk Au- Ag- Pb- Zn mine in Korea”, *Appl. Geochem.* **16**, 1377–1386., 2001.

Lermi, A., ve Kelebek, G., “Gümüşköy Curuflarının Asit Maden Drenajı Oluşturma Potansiyelinin ve Çevreye Etkisinin İncelenmesi”, *Niğde Üniv. Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi*, 94 s., 2007.

Lermi, A., “Gümüşköy Maden (Ulukışla- Niğde) Bölgesindeki Toprak, Su ve Bitkilerde Maden Atıklarından Kaynaklanan Ağır Metal Kirlilik Düzeyleri”, *1. Tıbbi jeoloji Çalıştayı, Bildiriler Kitabı*, s. 94-109, Ürgüp- Nevşehir, 2009.

Lermi, A. ve Kaya, T.E., “Ladik- Sızma (Konya) Bölgesi Hg Yatakları Çevresinde Toprak ve Bitkilerde Ağır Metal Dağılımı: Çevresel Değerlendirme”, *2. Tıbbi jeoloji Çalıştayı, Bildiriler Kitabı*, s. 281-282. Antalya, 2013.

Lopez- Archilla, A.I. and Amils, R., “A comparative ecological study of two acidic rivers in southwestern Spain”, *Microbial Ecol.* **38**, 146–156., 1999.

Maucher, A., “Konya vilayeti Ladik ve Sızma çevrelerinde bulunan cıva zuhurlarının gezilmesine ait rapor”, *M.T.A. Rapor No: 3695*, 1964.

Masunaga, T., Kubota, D., Hotta, M. and Wakatsuki, T., “Nutritional characteristics of mineral elements in leaves of tree species in tropical forest, West Sumatra, Indonesia”, *Soil Sci Plant Nutr* **44**:315-329, 1998.

McInnes B.I.A., Dunn, C.E., Cameron E.M. and Kameko, L., “Biogeochemical Exploration for Gold in Tropical Rain Forest Regions of Papua New Guinea”, *Journal of Geochemical Exploration*, 57:227-243, 1996.

Monachi, F. P., “Cinnabar mines in Turkey: *London Mining Jour.*, v. 83, 1908.

Murdock, T. G., 1958, “Mercury deposits of the Konya region”, *U. S. Bur. Mines. Mineral Trade Notes*, 47, 3, 47-57., 1908.

Nagaraju, A. and Karimulla, S., “Accumulation of elements in plants and soils in and around Nellore mica belt, Andhra Pradesh, India” - *A biogeochemical study. Environ Geol. Vol. 41*, pp. 852-860., 2002.

Nguyen, H.L., Leermakers, M., Elskens, M., Ridder, F.D., Doan, T.H. and Baeyens, W., “Correlations, partitioning and bioaccumulation of heavy metals between different compartments of Lake Balaton”, *Sci. Total Environ.* 341,211-226., 2005.

Nordstrom, D.K. and Alpers C.N., “Geochemistry of the acid mine waters”, in *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A. Processes, Techniques, and Health Issues*”, Plumlee, G.S., and Logsdon, M.J. (eds.), *Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology*, v. 6A, 371 pp., 1999.

Nicholson, R.V., “Iron- sulphide Oxidation Mechanisms”, *Laboratory Studies In Environmental Geochemistry of Sulphide Mine Wastes, Short Course Handbook, Chapter 6, Mineralogical Association of Canada*, 22, 163-183, 1994.

Ochei, L.S, F.C. Eze and B.F. Ajibade, “Analysis of Unbalanced Fixed- Effect Non-Interactive Model, An intra-Factor Approach”, *Journal of the Nigerian Association of Mathematical Physics*, 22: 199- 206, 2012.

Özdemir, Z. ve Sağiroğlu A., “Maden Çayı (Maden- Elazığ) Boyunca Fe Elementi İçin Biyojeokimyasal Anomalilerin İncelenmesi”, *Türkiye Jeoloji Bülteni*,49-54, 1998.

Özdemir, Z. ve Sağiroğlu A., “*Salix acmophylla*, *Tamarix smyrnensis* and *Phragmites australis* as biogeochemical indicators for copper deposits in Elazığ, Turkey”, *Journal of Asian Earth Sciences*, 18:595-601, 2000.

Özdemir, Z. ve Sağiroğlu A., “Biogeochemical Zinc Anomalies along the Maden Çayı Valley, Maden- Elazığ, Turkey”, *Z. angew. Geol.*, 46(4):218-222, 2000.

Özcan, A., Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Uysal, Ş., Şentürk, K. and Işık, A., “Late Paleozoic evaluation of the Kütahya- Bolkardağ Belt”, *METU J. of Pure and Appl. Sci. Series A “Geosciences”*, I, 21, 1-3, 211-220, 1988.

Parkhurst, D.L., “User’s guide to PHREEQC -a computer program for speciation, reaction-path, advective- transport, and inverse geochemical calculations”, *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report*, 95-4227, 143 p., 1995.

Pehlivan, A. N., “Etibank Konya civa işletme Sızma- Lâdik sahalarına ait rapor”, *Maden Teknik ve Arama Raporu, No: 5757*, 28 s., 1976.

Petrascheck, W.E., “Konya vilayeti Ladik civa madeninin 1/25.000 ölçekli harita etüdü hakkında ara rapor” *Maden Teknik ve Arama Raporu, No: 3788*, 111 s., 1964.

Pilz, R., “Konya- Sızma civa ve bakır madenleri hakkında rapor”, *Maden Teknik ve Arama Raporu No: 544*, 12 s, Ankara, 1937.

Rahman M.A., Hasegawa H., Rahman M.M., Miah M.A.M. and Tasmin A., “Arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.): Human exposure through food chain” , *Ecotox and Environ Safety*, 69:317–324, 2008.

Razo, I., Carrizales, L., Castro, J., Diaz- Barrica, F. and Monroy, M. “Arsenic and heavy metal pollution of soil, water and sediments in a semi- arid climate mining area in Mexico” , *Water, Air and Soil Pollution*, 152, 129-152., 2004.

Schumacher, F., “Sızma madenindeki civa zuhurlarına ait rapor”, *Maden Teknik ve Arama Raporu, No: 545*, 73 s, Ankara, 1937.

Sharpless, F.F., “Anadolu Konya civa madenleri”, *Maden Teknik ve Arama Raporu, No: 542*, 1908.

Singer, P.C. and Strumm, W., “Acidic Mine Drainage”, *The Rate- Determining Step, Science*, 167, 1121-1123, New York, 1970.

TKKY, “Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği”, *2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazetede*, 31 Mayıs, Ankara, 2005.

Ullrich, M. S., Ramsey, H. M. and Helios- Rybicka, E.;, “Total and exchangeable concentrations of heavy metals in soil near Bytom, an area of Pb/Zn mining and smelting in Upper Silesia, Poland”, *Appl. Geochem.* 14, 187–196, 1999.

Üstündağ, A., “Sızma- Kurşunlu- Meydan- Bağrıkurt köyleri arasında Karadağ çevresinin jeolojisi”, *Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi*, 65 s., 1987.

Wiesner, K., “Konya civa yatakları ve bunlar üzerindeki etüdüler”, *Maden Teknik ve Arama Derg.*, 70, 178-213, 1968.

Wiesner, K. ve Lehnert, T.K.L., “Sızma - Ladik civa yatakları” *Maden Teknik ve Arama Raporu, No: 551*, 60 s., 1964.

Winland, R.L., Traina, S.J., Bigham, J.M., “Chemical composition of ochreous precipitates from Ohio coal mine drainage” *J. Environ. Qual.* 20, 452–460, 1991.

Yıldız, M., “Türkiye'de bazı civa madenlerinin oluşum ve mukayesesi”, *MTA Yayınlan*, Ankara, 1978.

EKLER

Ek A- Su kalitesi sınıflarına göre belirlenen parametreler (SKKY, 2005).

Su Kalite Parametreleri	Su Kalitesi Sınıfları			
	I	II	III	IV
A- Fiziksel ve Kimyasal Parametreler				
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6,5-9.0	6.0-9.0
Çözünmüş Oksijen(mg/lt)	8	6	3	<3
Sülfat İyonu (mg/lt)	25	200	400 a	>400
Klorür İyonu(mg/lt)	200	200	400	>400
Amonyum Azotu (mg/lt)	0,2 b	1 b	2 b	>2
Nitrit Azotu (mg/lt)	0,002	0,01	0,05	>0,05
Nitrat Azotu (mg/lt)	5	10	20	>20
Toplam Fosfor (mg/lt)	0.02	0,16	0,65	>0,65
Toplam Çözünmüş Madde (mg/lt)	500	1500	5000	5000
Sodyum(mg/lt)	5	50	300	>300
B- İnorganik Parametreler				
Civa (µg/lt)	0,1	0,5	2	>2
Kadmiyum (µg/lt)	3	5	10	>10
Kurşun (µg/lt)	10	20	50	>50
Arsenik (µg/lt)	10	20	50	>100
Bakır (µg/lt)	20	50	200	>200
Krom (µg/lt)	-	20	50	>50
Kobalt (µg/lt)	10	20	200	>200
Nikel (µg/lt)	20	50	200	>200
Çinko (µg/lt)	200	500	2000	>2000
Siyanür (µg/lt)	10	50	100	>100
Florür (µg/lt)	1000	1500	2000	2000
Serbest Klor (µg/lt)	10	10	50	>50
Sülfür (µg/lt)	2	2	10	>10
Demir (µg/lt)	100	500	5000	>5000
Mangan (µg/lt)	1000 c	1001 c	1002	>1000
Selenyum (µg/lt)	10	10	c	>20
Baryum (µg/lt)	0,3	0,3	20	>2000
Aliminyum (µg/lt)				

Ek B- İnceleme alanından alınan sularda fiziksel ve kimyasal parametreler arası korelasyon matrisi (p<0,001).

	NO3	pH	Eh	EC	B	F	Cl	SO4	TDS	HCO3-	Na	Mg	K	Ca	Al	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Cd	Sb	Ba	Pb	U	Rb	Sr	Hg	B	Se			
NO3	1,0																																					
pH	-0,3	1,0																																				
Eh	0,8	-0,5	1,0																																			
EC	0,2	-0,1	0,1	1,0																																		
B	0,0	-0,1	-0,1	1,0	1,0																																	
F	0,2	0,1	0,0	0,9	0,9	1,0																																
Cl	0,0	-0,5	0,1	0,4	0,4	0,2	1,0																															
SO4	0,0	-0,1	0,0	0,9	0,9	0,8	0,4	1,0																														
TDS	0,1	-0,2	0,1	0,9	1,0	0,8	0,4	1,0	1,0																													
HCO3-	0,1	-0,5	0,2	0,7	0,7	0,5	0,4	0,7	0,8	1,0																												
Na	0,4	0,0	0,3	0,5	0,4	0,6	0,6	0,4	0,4	0,1	1,0																											
Mg	0,0	0,1	0,1	0,8	0,8	0,7	0,3	0,9	0,8	0,6	0,5	1,0																										
K	0,3	-0,1	0,1	0,5	0,5	0,6	0,7	0,4	0,4	0,2	0,9	0,3	1,0																									
Ca	0,2	-0,2	0,1	1,0	1,0	0,9	0,4	0,9	1,0	0,8	0,5	0,8	0,5	1,0																								
Al	0,1	0,1	-0,1	0,3	0,4	0,4	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,2	0,2	1,0																							
V	0,6	0,1	0,4	0,7	0,6	0,8	0,1	0,6	0,6	0,3	0,6	0,5	0,6	0,6	0,4	1,0																						
Cr	0,8	-0,1	0,7	0,5	0,4	0,6	0,2	0,4	0,4	0,3	0,7	0,5	0,6	0,5	0,2	0,9	1,0																					
Mn	-0,1	-0,6	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,9	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,5	0,2	-0,1	-0,3	0,0	1,0																				
Co	0,0	-0,3	0,0	0,9	0,9	0,8	0,6	0,9	0,9	0,8	0,4	0,7	0,5	0,9	0,3	0,5	0,4	0,3	1,0																			
Ni	0,0	-0,2	0,0	0,9	1,0	0,8	0,5	0,9	0,9	0,8	0,3	0,7	0,4	0,9	0,4	0,5	0,4	0,2	1,0	1,0																		
Cu	0,0	-0,2	0,0	0,6	0,6	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,3	0,4	0,5	0,7	0,7	1,0																		
Zn	0,1	-0,1	0,0	0,5	0,6	0,6	0,7	0,4	0,5	0,3	0,8	0,4	0,9	0,5	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	1,0																
As	0,2	0,1	0,0	0,8	0,9	0,9	0,2	0,7	0,8	0,6	0,4	0,6	0,5	0,8	0,7	0,8	0,5	-0,1	0,8	0,8	0,6	0,6	1,0															
Mo	0,4	0,2	0,0	0,8	0,8	0,9	0,2	0,8	0,7	0,3	0,6	0,6	0,6	0,7	0,2	0,9	0,6	-0,2	0,6	0,6	0,3	0,5	0,8	1,0														
Ag	0,0	-0,1	-0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	-0,1	0,0	0,2	0,2	-0,1	0,5	0,1	0,9	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,8	0,5	0,5	0,0	1,0													
Cd	0,3	0,1	0,0	0,9	0,9	1,0	0,2	0,8	0,8	0,6	0,5	0,6	0,6	0,8	0,5	0,9	0,6	-0,1	0,7	0,8	0,5	0,6	1,0	0,9	0,2	1,0												
Sb	0,3	0,2	-0,1	0,7	0,7	0,9	0,1	0,6	0,6	0,3	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	0,9	0,6	-0,2	0,6	0,6	0,4	0,6	0,9	0,9	0,2	0,9	1,0											
Ba	0,1	-0,2	0,1	-0,2	-0,3	-0,2	0,0	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,5	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	1,0										
Pb	-0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,5	-0,1	0,0	0,0	0,4	0,1	0,5	-0,1	0,3	-0,1	0,2	0,6	0,1	0,1	0,7	0,7	0,1	-0,1	0,7	0,0	0,0	-0,6	1,0									
U	0,1	0,2	-0,1	0,8	0,8	0,8	-0,1	0,7	0,7	0,6	0,1	0,7	0,1	0,7	0,5	0,6	0,3	-0,4	0,7	0,8	0,4	0,2	0,8	0,7	0,2	0,8	0,7	-0,3	-0,2	1,0								
Rb	0,5	0,3	0,1	0,4	0,4	0,7	0,2	0,3	0,3	-0,1	0,8	0,2	0,8	0,3	0,2	0,8	0,7	0,0	0,2	0,2	0,2	0,7	0,5	0,8	0,2	0,7	0,8	-0,2	0,2	0,2	1,0							
Sr	0,0	-0,2	0,0	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,9	0,6	0,8	0,2	0,4	0,4	0,5	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,6	0,4	-0,4	0,3	0,6	0,2	1,0						
Hg	0,1	0,1	-0,1	0,3	0,4	0,4	0,1	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	0,3	0,3	1,0	0,4	0,2	-0,1	0,3	0,4	0,7	0,3	0,7	0,2	0,9	0,5	0,5	-0,2	0,3	0,5	0,2	0,2	1,0					
B	0,0	-0,1	-0,1	1,0	1,0	0,9	0,4	0,9	1,0	0,7	0,4	0,8	0,5	1,0	0,4	0,6	0,4	0,1	0,9	1,0	0,6	0,6	0,9	0,8	0,2	0,9	0,7	-0,3	0,0	0,8	0,4	0,8	0,4	1,0				
Se	0,4	0,1	0,1	0,7	0,7	0,9	0,2	0,7	0,7	0,3	0,6	0,6	0,6	0,7	0,1	0,9	0,6	-0,1	0,5	0,5	0,1	0,5	0,7	1,0	-0,1	0,9	0,9	-0,2	-0,2	0,5	0,8	0,4	0,1	0,7	1,0			

Ek C- Kurşunlu Hg işletme sahasından alınan topraklardan elde edilen jeokimyasal analiz sonuçları.

Örnek No	X	Y	Al %	Ti %	Mn %	Fe %	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	As ppm	Ag ppm	Cd ppm	Sb ppm	Pb ppm	THg ppm	Ba ppm
T1	447750	4224300	5,72	0,14	0,07	3,05	76,71	10,88	30,63	17,25	37,14	17,13	0,10	0,11	12,65	21,40	0,22	139
T2	447750	4224150	6,15	0,06	0,07	2,45	69,00	7,71	26,68	11,48	29,64	44,32	0,15	0,12	23,05	19,07	3,84	396
T3	447750	4224000	7,49	0,04	0,06	3,21	120,80	8,59	43,72	12,01	35,95	6,60	0,08	0,04	0,63	10,26	0,06	246
T4	447750	4223850	5,36	0,03	0,04	2,87	56,60	7,46	21,60	13,16	44,05	8,57	0,10	0,07	0,38	10,35	0,12	414
T5	447750	4224650	7,41	0,04	0,15	2,55	37,99	5,93	12,50	6,93	30,00	7,51	0,08	0,06	9,95	15,10	2,48	277
T6	447750	4224800	5,88	0,04	0,06	2,59	52,71	6,54	17,14	11,31	25,59	13,74	0,08	0,08	25,79	12,49	25,47	155
T8	447750	4225400	9,41	0,10	0,06	3,30	59,33	7,01	17,01	8,18	24,50	7,19	0,06	0,04	0,83	7,49	0,08	275
T9	447750	4225700	5,87	0,05	0,05	2,12	34,76	8,95	21,99	12,83	44,07	12,29	0,21	0,09	3,89	16,45	0,64	502
T10	448000	4224450	6,03	0,03	0,04	2,11	46,43	11,47	35,69	22,12	53,65	16,74	0,18	0,09	5,88	15,51	1,11	678
T11	448150	4224450	7,55	0,04	0,09	2,92	71,73	11,47	47,61	26,80	49,33	18,60	0,18	0,11	9,39	14,53	0,52	605
T12	448400	4224450	6,79	0,04	0,10	2,88	72,45	6,60	23,19	11,65	25,21	25,51	0,06	0,05	5,95	7,80	0,16	310
T13	448600	4224450	3,36	0,02	0,04	1,15	16,24	1,36	6,11	4,30	17,69	85,11	0,22	0,38	296,41	38,05	212,29	79
T14	447500	4224450	4,36	0,02	0,07	2,46	44,79	6,09	15,95	13,55	17,69	12,03	0,08	0,05	1,53	12,57	0,21	142
T15	447350	4224450	6,99	0,04	0,09	2,88	70,41	14,34	47,98	27,30	59,15	29,44	0,23	0,18	8,00	18,47	0,42	799
T16	447050	4224450	5,71	0,04	0,08	2,74	49,21	6,30	17,96	10,36	23,86	16,22	0,06	0,06	1,02	10,70	0,09	274
T17	446850	4224450	6,90	0,16	0,08	3,98	130,36	12,21	31,81	18,21	19,99	10,47	0,04	0,05	2,63	4,21	0,86	52
T18	447900	4224670	7,26	0,03	0,08	2,93	83,31	6,35	23,13	11,42	26,20	6,82	0,05	0,04	1,93	8,67	0,20	346
T19	448019	4224831	3,83	0,02	0,03	1,30	52,92	2,15	11,90	8,36	19,08	127,59	0,75	0,87	1381,68	87,37	38,21	54
T20	448186	4225061	8,35	0,07	0,04	2,66	44,19	4,63	9,81	6,66	18,63	6,42	0,06	0,03	10,27	7,46	0,54	161
T21	448361	4225305	7,04	0,05	0,05	2,17	42,33	3,71	9,97	7,08	28,07	13,85	0,06	0,11	5,74	16,08	0,16	2098
T22	448600	4225700	6,79	0,05	0,06	3,26	50,41	6,72	17,56	9,85	38,21	11,92	0,09	0,05	3,92	15,30	0,13	535
T23	447940	4224570	8,43	0,04	0,06	3,27	62,71	6,91	11,81	8,39	29,03	4,82	0,04	0,04	0,38	11,86	0,06	264
T24	448100	4224700	0,49	0,00	0,00	0,18	13,28	0,31	2,43	1,78	4,15	39,99	0,24	0,41	664,83	17,10	2,46	5
T25	448350	4224840	9,13	0,03	0,04	3,21	49,19	5,46	10,56	7,40	25,40	3,79	0,03	0,02	4,01	10,99	0,19	133
T26	448600	4225000	4,67	0,05	0,04	1,79	44,76	3,70	10,89	6,92	36,11	60,68	0,13	0,23	86,39	17,12	7,70	111
T27	448000	4224359	8,24	0,04	0,09	3,12	122,73	9,30	32,96	16,53	37,09	10,03	0,11	0,08	2,24	13,06	0,30	600
T28	448230	4224150	6,80	0,03	0,06	2,79	58,35	9,28	30,21	19,18	37,23	15,40	0,15	0,12	9,77	10,18	0,52	636
T29	448600	4223850	5,24	0,04	0,07	2,12	45,98	4,82	14,56	8,05	21,64	6,59	0,06	0,06	4,27	9,41	0,18	252
T30	447550	4224359	7,48	0,03	0,09	3,11	86,53	6,09	24,03	10,96	24,77	13,44	0,04	0,04	1,14	8,72	0,63	282
T31	447310	4224200	6,85	0,04	0,09	2,79	82,67	6,08	21,63	8,66	23,93	14,17	0,05	0,07	3,34	9,96	0,46	258
T32	446850	4223850	7,00	0,04	0,10	2,66	95,29	7,19	33,92	13,72	33,78	20,45	0,11	0,10	1,97	11,40	1,25	425
T33	447560	4224560	7,44	0,04	0,06	2,82	45,69	6,79	15,67	12,55	33,80	14,72	0,09	0,09	3,92	12,45	0,33	613
T34	447370	4224700	5,15	0,05	0,07	2,15	51,37	5,49	17,70	7,78	22,22	11,10	0,07	0,08	2,16	10,92	0,35	166
T35	447100	4224850	7,16	0,04	0,04	2,33	53,63	3,93	15,02	5,55	17,48	9,12	0,03	0,04	0,72	8,92	0,07	153
T36	446850	4225000	6,60	0,15	0,07	2,92	80,27	8,37	27,43	13,35	28,46	9,17	0,07	0,05	1,23	16,89	0,29	139
T37	447620	4224690	4,95	0,04	0,02	1,44	9,22	1,23	3,47	2,78	21,37	5,35	0,06	0,05	2,84	9,19	0,32	142
T38	447420	4225000	6,53	0,05	0,08	2,65	61,21	10,25	34,75	19,09	48,19	16,07	0,17	0,22	2,60	15,99	4,93	590
T39	447270	4225222	8,56	0,05	0,16	3,20	63,50	6,75	17,75	11,44	29,50	10,25	0,06	0,07	1,19	14,82	0,11	365
T40	447080	4225540	4,67	0,03	0,09	2,38	49,74	4,40	15,52	8,27	21,97	14,68	0,05	0,07	4,10	8,14	1,16	279
T41	446850	4225700	10,43	0,06	0,07	3,68	68,97	6,22	14,65	7,44	22,39	11,80	0,06	0,04	0,81	9,28	0,04	265
A-6	447680	4224590	6,79	0,03	0,05	2,55	52,42	13,58	39,22	26,43	65,25	43,08	0,25	0,40	19,85	27,85	4,49	1182
B-6	447750	4225100	6,94	0,19	0,08	3,51	124,40	16,41	62,27	27,90	62,81	29,43	0,23	0,17	105,59	29,59	6,33	346
C-6	447890	4224575	7,69	0,04	0,10	2,93	76,06	9,17	30,98	16,82	36,05	11,77	0,14	0,15	25,15	14,05	2,66	491

ÖZ GEÇMİŞ

Tuğrul Emre Kaya 28.07.1987 tarihinde Konya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğretimini Sarayönü’de tamamladı. 2005 yılında girdiği Niğde Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden Haziran 2009’de mezun oldu. 2009’da Niğde Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. O tarihten beri yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2010-2011 yılları arasında Yıldızlar SSS Holding Maden Arama Grubu’nda Arama Jeologu olarak çalıştı. 2011-2013 yılları arasında Alacer Gold şirketi Arama Grubu’nda Arama Jeologu olarak çalıştı. 2015 yılından beride Centerra Gold- Öksüt Madencilik şirketinde Halkla İlişkiler Uzmanı olarak çalışmaya devam etmektedir.

