



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

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YER ALTI OCAĞI GALERİLERİNDE OLUŞAN DRENAJ SULARININ
KARAKTERİZASYONU VE ARITILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burcu TÜRKTEN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Mustafa IŞIK

AKSARAY, 2023

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 202301410 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Burcu TÜRK TEN tarafından hazırlanan “**YER ALTI OCAĞI GALERİLERİNDE OLUŞAN DRENAJ SULARININ KARAKTERİZASYONU VE ARITILMASI**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mustafa IŞIK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Şükrü DÜRSUN

Konya Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Doç. Dr. Ahmet KILIÇ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 20/01/2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr. Mehmet Ali HİNİS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Burcu TÜRK TEN



TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı destekleyen, tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli yardım ve yol göstericiliklerinden dolayı Aksaray Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünden Danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa IŞIK'a, içten teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez çalışmamı destekleyen Gümüştaş Madencilik Bolkardağ İşletme Müdürü Sayın Ercan ÇETİN'e katkı ve yol göstericiliklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm yaşamımda her türlü desteklerini esirgemeyen aileme, sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Burcu TÜRKTEN
AKSARAY, 2023

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİSİ.....	3
2.1 Maden Suları	3
2.2 Sülfürlü Maden Atıkları	4
2.3 Asit Üreten Reaksiyonlar	6
2.3.1 Pirit	6
2.3.2 Asit maden drenajının alan göstergeleri	8
2.3.3 AMD'nin çevresel etkileri.....	9
2.3.4 AMD'yi izleme	10
2.3.5 AMD giderimi	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1 Maden Sahasının Tanıtımı.....	17
3.1.1 Maden sahasının yeri	17
3.1.2 Çalışma alanının jeolojisi	20
3.1.3 Proje sahası ve çevresinin hidrolojik ve hidrojeolojik özellikleri	28
3.2 İşletme Yöntemi	33
3.2.1 Dolgulu üretim sistemi (rambleli):	33
3.2.2 Kes-doldur yöntemi	33
3.2.3 Püskürtme beton uygulaması.....	35
3.3 Su Durumu	36
3.4 Arıtım Çalışmaları.....	38
3.4.1 Jar testi.....	38
3.4.2 Kullanılan kimyasallar.....	41
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
4.1 Atık Su Karakterizasyonu	43
4.2 Alüminyum Sülfat Arıtım Çalışmaları	45
4.3 Demir Sülfat Arıtım Çalışmaları	49
4.4 Anyonik Polimer Arıtım Çalışmaları	51
4.5 Maliyet Analizi.....	54
4.6 Arıtma Tesisinin Akım Şeması ve Tasarımı	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR	63
EKLER.....	67
EK-1. Laboratuvar çalışmaları ile ilgili görseller.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	69

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YER ALTI OCAĞI GALERİLERİNDE OLUŞAN DRENAJ SULARININ KARAKTERİZASYONU VE ARITILMASI

Burcu TÜRKTEN

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mustafa IŞIK

ÖZET

Madencilik insanoğlunun vazgeçemediği endüstriyel faaliyetlerinden bir tanesidir. Bu faaliyet içerisinde drenaj suları oluşmakta ve yaygın su kirliliğine neden olmaktadır. Su kirliliğinin önüne geçebilmek için farklı seçenekler ve arıtım teknolojileri uygulanabilmektedir. Bu çalışmada altın, gümüş, kurşun, çinko yer altı ocağı faaliyeti yapılan bir maden ocağında oluşan drenaj suyunun karakterizasyonu ve arıtılabilirliği çalışılmıştır. Belli periyotlarda alınan atık sular ilgili sektör parametreleri dikkate alınarak karakterize edilmiştir. AKM, KOI ve serbest kükürt parametreleri alıcı ortam deşarj standartlarının üzerinde çıkmıştır. Bu parametreleri alıcı ortam deşarj standartlarına getirebilmek için jar testi uygulanarak optimum pH ve koagülant dozu tespit edilmiştir. Alüminyum sülfat, demir sülfat, ve anyonik polimer kullanıldığında optimum pH'lar sırasıyla; 9,00, 8,00 ve 4,00 olarak tespit edilmiştir. Daha sonra her bir koagülant için optimum pH'da optimum koagülant dozu sırasıyla; 15,0, 25,0 0,160 mg/L olarak elde edilmiştir. En iyi giderim verimleri genel olarak alüminyum sülfat koagülantının, kullanılması durumunda AKM, KOI ve serbest kükürt değerleri deşarj standartlarının altına düşürülerek elde edilmiştir. Maliyet açısından da karşılaştırıldığında anyonik polimer koagülantının uygulanması ekonomik olarak daha avantajlı olduğu değerlendirilmiştir. Arıtılabilirlik çalışması sonuçlarına göre maden ocağında oluşan drenaj atık suları için bir arıtma sistemi akış şeması önerilmiş ve boyutlandırma hesapları verilmiştir. Çalışma sonucu halihazırda oluşan atık sular bölgedeki jeolojik formasyonların türüne ve işletme teknolojisine göre oluşan atık suların karakteristiği değerlendirildiğinde çevresel açıdan çok fazla problemlili bir atık su olmadığı ve kısmen basit bir arıtım işlemi ile alıcı ortam deşarj standartlarına getirileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arıtılabilirlik, Drenaj suları, Madencilik.

Ocak, 2023; 69 sayfa

M.Sc. THESIS

CHARACTERIZATION AND TREATABILITY OF DRAINAGE WATER FORMED IN UNDERGROUND MINE GALLERIES

Burcu TÜRK TEN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa IIK

ABSTRACT

Mining is one of the industrial activities that mankind cannot give up. In this activity, drainage waters are formed and cause widespread water pollution. Different technologies and options can be applied to prevent water pollution. In this study, the characterization and treatability of the drainage water formed in a mine where gold, silver, lead, zinc underground quarry activities were carried out were studied. Wastewater samples taken in certain periods has been characterized by considering the relevant sector parameters. SS, COD, and free sulfur parameters were above the receiving environment discharge standards. In order to meet these parameters to the discharge standards of the receiving environment, the optimum pH and coagulant dose were determined by applying the jar test. pH was determined as 9.00, 8.00, and 4.00 for aluminum sulphate, ferric sulphate, and anionic polymer, respectively. After then, the optimum coagulant concentrations obtained as 15.0, 25.0, 0.160 mg/L at optimum pH of each one, respectively. Generally, the best removal efficiencies were obtained by reducing the SS, COD, and free sulfur values when the aluminum sulphate coagulant is used. When compared in terms of coast, the application of anionic polymer coagulant was considered to be more economically advantageous. According to the results of the treatability study, a treatment system flow chart was proposed for the drainage wastewater formed in the mine and sizing calculations were given. As a result of the study, when the characteristics of the wastewater generated according to the type of geological formations and operating technology in the region are evaluated, it is concluded that it is not a very problematic in terms of environment standards in the receiving environment with a partially simple treatment process.

Keywords: Treatability, Drainage water, Mining.

January, 2023; 69 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bir metal madeninde asit maden drenajı kaynakları	4
Şekil 3.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası	17
Şekil 3.2. İşletme izin sahasının 1/25000 ölçekli Niğde n33-a2 paftasındaki konumu	18
Şekil 3.3. Niğde ili maden haritası	19
Şekil 3.4. Bölgesel stratigrafik kolon kesit	25
Şekil 3.5. Çalışma alanı ve çevresinin bölgesel jeoloji haritası	27
Şekil 3.6. Saha içerisinde bulunan dereler, kaynaklar	28
Şekil 3.7. Teke Deresi (arıtılacak olan suyun deşarj edilmesi planlanan alıcı ortam)	29
Şekil 3.8. Hidrojeoloji haritası	32
Şekil 3.9. İş akım şeması	34
Şekil 3.10. Kireçtaşı (Bolkar mermeri) cevherleşmeler.....	35
Şekil 3.11. Jumbo ile delme işlemi yapılması.....	35
Şekil 3.12. Beton püskürtme uygulaması	36
Şekil 3.13. Ocak içerisi su atımı	37
Şekil 3.14. Ocak içerisindeki çöktürme havuzlarından görünüm	38
Şekil 3.15. Jar testi düzeneği.....	40
Şekil 4.1. Galeri içerisinden çöktürme havuzundan alınan su numunesi	44
Şekil 4.3. Farklı Alum dozları parametre değişimleri.....	48
Şekil 4.4. Jar testi düzeneği arıtım çalışmaları örnekler	48
Şekil 4.5. Demir sülfat ile farklı pH değerlerinde jar testi sonuçları	50
Şekil 4.6. Farklı demir sülfat dozları parametre değişimleri	51
Şekil 4.7. Anyonik polimer ile farklı pH değerlerinde Jar testi sonuçları	52
Şekil 4.8. Farklı Anyonik polimer dozları parametre değişimleri	53
Şekil 4.9. Jar testi düzeneği arıtım çalışmaları örnekler	54
Şekil 4.10. Arıtma tesisi dizaynı tipik akım şeması.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. AMD oluşumunda rol oynayan önemli sülfat mineralleri.....	6
Çizelge 3.1. Kullanılan kimyasallar.....	41
Çizelge 4.1. Galerilerin içerisinde son çöktürme havuzunda oluşan atık suyun özellikleri.....	43
Çizelge 4.2. Galerilerde kaynak noktasında oluşan atık suyun özellikleri	44
Çizelge 4.3. Alüminyum sülfat optimum pH değerinin belirlenmesi.....	46
Çizelge 4.4. Optimum alüminyum sülfat koagülant dozunun belirlenmesi	48
Çizelge 4.5. Demir sülfat optimum pH değerinin belirlenmesi	49
Çizelge 4.6. Optimum demir sülfat koagülant dozunun belirlenmesi	51
Çizelge 4.7. Anyonik polimer optimum pH değerinin belirlenmesi.....	52
Çizelge 4.8. Optimum anyonik polimer koagülant dozunun belirlenmesi	53
Çizelge 4.9. Kimyasal maliyet tablosu	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

AKM	Askıda Katı Madde
ALUM	Alüminyum Sülfat
AMD	Asit Maden Drenajı
ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
NTU	Nefelometrik Bulanıklık Birimi
RPM	Dakikadaki Devir Sayısı
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TÇKM	Toplam Çözünmüş Katı Madde
ZSF	Zehirlilik Seyreltme Faktörü



1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetleri yer kabuğundaki jeolojik hammaddelerin ekonomik olarak değer elde edilmesi amacıyla bulundukları yerden verimli ve güvenli bir şekilde çıkarılmasını kapsayan işlemlerdir. Ancak aynı zamanda çevre kirliliğinin önemli kaynaklarından biridir. (Mitchell, 2009). Sanayi devrimi çevre problemlerini artırmıştır. Madencilik faaliyetleri esnasında birtakım çevre problemleri oluşur.

Ülkemiz çok çeşitli ve büyük maden kaynaklarına ev sahipliği yapmaktadır. Altın - gümüş-kurşun - çinko gibi değerli madenlerin çıkarıldığı yer altı maden ocakları bulunmaktadır. Yer altı maden işletmelerinde en önemli çevresel sorunlardan birisi yer altı ocağından gelmesi muhtemel kar suları, kaynak suları vs. suların alıcı ortama deşarj edilmesidir. Başta pirit olmak üzere sülfürlü metalik mineral içeren kömür, sülfür formundaki bazı metaller, uranyum ve değerli metal içeren madenlerde görülen asit kaya / maden drenajı sülfürlü minerallerin nemli ortamda bazen de mikrobiyolojik organizmaların katkısıyla oksitlenmesi sırasında drenaj sularının asidik özellik kazanmalarına ve geçtikleri formasyonlar içerisindeki bazı ağır ve toksik elementleri çözerek drenaj suyuna karıştırmalarına asit kaya/maden drenajı denilmektedir (Anıl, 2014). Maden ocakları faaliyetlerini sonlandırdıklarında ve terk edildiklerinde dahi drenaj sularının oluşum potansiyeli tehlikeyi daha da artırmaktadır (Ojonimi vd., 2019). Günümüzde kömür madenlerinden asit drenajının büyük ölçekte başlatıldığında durdurulabileceğini gösterebilecek hiçbir teknolojinin bulunmadığını bildirilmiştir (Ojonimi vd., 2019).

Aktif ve özellikle terk edilmiş madenlerden drene edilen sular ve maden atıkları genellikle net asidiktir (bazen aşırı derecede). Bu tür sular, genellikle yüksek konsantrasyonlarda metal (demir, alüminyum ve manganez ve muhtemelen diğer ağır metaller) ve metaloidler (genellikle arsenik en büyük endişe kaynağı olan) içermeleri nedeniyle çevre için ek bir risk oluşturur (Johnson ve Hallberg, 2005).

Asidik kükürt bakımından zengin atık sular, enerji santrallerinde galvanik işleme ve baca gazlarının temizlenmesi gibi çeşitli endüstriyel işlemlerin yan ürünleridir (Johnson, 2003). Bununla birlikte, bu tür atıkların ana üreticisi madencilik endüstrisidir (Johnson ve Hallberg, 2005).

Madencilik, yer altındaki maden cevherlerinin araştırılması, çıkarılması ve işletilmesiyle ilgili teknik ve yöntemlerin bütünüdür. Yer altından cevherin çıkarılması yer üstü ve / veya yer altı madenciliği yöntemleri kullanılarak iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Açık ocak madenciliği ya da diğer bir deyişle yerüstü madenciliği, cevherin yer yüzeyine yakın bulunduğu alanlarda, gerektiğinde maden üzerindeki örtü tabakasının (pasa) alınarak ekonomik şekilde çıkarılması için uygulanan üretim şeklidir. Yüzeye yakın olan cevherin yayılımı ve boyutu açık ocak madenciliğinin de kendi içinde çeşitlenmesini sağlamıştır. Yer altı madenciliği ise cevherin derinde ve açık ocak yöntemiyle ekonomik olarak çıkarılamaması durumunda galeri ve / veya kuyular oluşturularak madenin çıkartıldığı üretim şeklidir (Anonim, 2022).

Yer altı madenciliğinde en önemli sorunlardan biri galerilerde oluşan yer altı sularıdır. Yer altı ocaklarında galerilerde çıkarılan cevherlerin üretimi esnasında derin kotlara inilmesinden dolayı yer altı suyu problemi oluşmaktadır. Ocak içerisinde gelen suları büyük çapta depolamak mümkün değildir. Yer altı ocağında oluşan sular uygun şekilde dışarıya verilmezse galerilerde su baskınına neden olabilir. Bu yüzden yer altı ocağında oluşan suların galerilerden atılması gerekmektedir. Galerilerden deşarj edilen sular alıcı ortama verilmeden önce Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo7.1' e göre deşarj standartlarını sağlaması gerekmektedir. Aksi halde, galerilerden deşarj edilen sular, alıcı ortamın su kalitesini bozarak, sucül ekosisteme ve çevreye zarar verebilir.

Maden ocaklarında oluşan suların karakteristiklerini tespit etmek ve kontrol altına almak çevresel açıdan önem taşımaktadır. Ülkemizde 31.12.2004 Tarih ve 25687 Sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Madde 4 j bendi gereğince (Resmi Gazete, 2004) “Atık suların arıtılmadan alıcı ortama verilmesi yasak olup, arıtılmış atık suyun verileceği alıcı ortam için belirlenmiş kalite standartlarının olumsuz yönde etkilenmemesi esastır”. Hükmü yer almaktadır.

Yer altı sularının arıtımı konusunda literatüre bakıldığında çok fazla kaynak bulunmamaktadır. Ülkemizde madencilik faaliyetlerinin gelişmesiyle birlikte yer altı sularının arıtımı önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında Gümüştaş Madencilik ve Tic. A.Ş. firmasına ait yer altı ocağında oluşan drenaj sularının karakterizasyonu ve arıtılabilirliği ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİSİ

2.1 Maden Suları

Maden sahalarında toz bastırma, mineral işleme, kömür yıkama ve hidrometalurjik ekstraksiyon için suya ihtiyaç vardır. Bu uygulamalar için su, yüzey su kütlelerinden ve yer altı suyu akiferlerinden çıkarılır veya maden susuzlaştırma işleminin bir yan ürünüdür. Açık ocaklar ve yer altı madenciliği operasyonları genellikle bölgesel su tablasının altına uzanır ve madencilik sırasında susuzlaştırmayı gerektirir. Özellikle, önemli yer altı suyu akiferleriyle kesişen madenler veya yağışlı bölgelerde bulunan madenler yer altı çalışmalarının taşmasını önlemek için dakikada 100.000 litreden fazla pompalamak zorunda kalabilir. Madencilik operasyonunun bir aşamasında, su istenmez ve operasyonlarda gerekli değildir. Aslında, madencilik, maden işleme ve metalurjik ekstraksiyon sırasında istenmeyen veya kullanılmış suyun sürekli olarak atılması gerekir (Lottermoser, 2007).

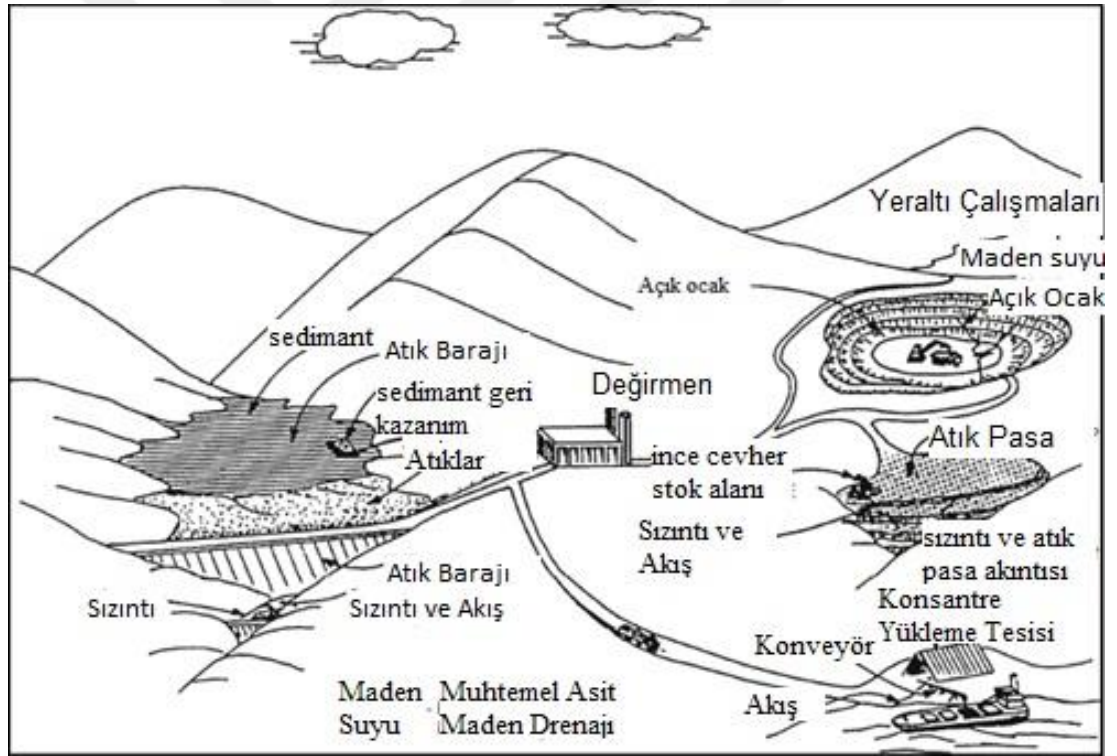
Modern maden sahalarında su toplanır ve çöktürme havuzlarına ve atık barajlarına deşarj edilir. Buna karşılık, tarihi maden sahalarında, maden suyunun kontrolsüz olarak boşaltılması genel olarak çevreye deşarjı yaygın olarak gerçekleştirdi. Genel olarak, maden sahalarında üretilen, kullanılan ve bertaraf edilen maden suyunun hacmi üretilen katı atık hacminden çok daha fazladır. Maden sahalarında su, minerallerle temas eder ve onları çözer. Bu nedenle, maden sahalarındaki su genellikle çözünmüş ve partikül madde taşır. Bu tür yüklü sular alıcı su kütlelerine, göllere, akarsulara veya akiferlere ulaştığında, sular istenmeyen bulanıklık ve çökelmelere neden olabilir, sıcaklıkları değiştirebilir veya kimyasal bileşimleri bitkiler ve hayvanlar üzerinde toksik etkiler yapar. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde 19.300 km'lik akarsu ve 72.000 hektar'lık göl ve rezervuarın terk edilmiş kömür ve metal madenlerinden çıkan maden atıklarından ciddi şekilde zarar gördüğü tahmin edilmektedir (Kleinmann, 1989).

Düşük maden suyu kalitesinin ve buna bağlı çevresel etkilerin en kötü örneği sülfür minerallerin oksidasyonundan kaynaklanan asit maden drenajı (AMD) suyudur. Sülfür oksidasyonu otokatalitik bir reaksiyondur ve bu nedenle AMD nesli bir kez başladığında, durdurulması çok zor olabilir. AMD, sülfür oksidasyonunun başlamasından sonraki ilk birkaç on yılda en şiddetlidir ve daha sonra sistemler daha

düşük düzeyde kirletici üretir (Demchak vd., 2004; Lambert vd., 2004). Ancak aşırı durumlarda AMD binlerce yıl devam edebilir. AMD suları hakkındaki bilgileri özetlemekte ve AMD karakterizasyonu, izleme, tahmin, çevresel etki ve arıtma ilkelerini vermektedir. Tipik bir metal madenciliği yapılan bir tesis Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

2.2 Sülfürlü Maden Atıkları

Sülfür mineralleri, yer kabuğunun yaygın küçük bileşenleridir. Bazı jeolojik ortamlarda, kayaların büyük bir bölümünü sülfürler oluşturur. Özellikle, metalik cevher yatakları (Cu, Pb, Zn, Au, Ni, U, Fe), fosfat cevherleri, kömür damarları, petrol şeyleri ve mineral kumlar bol miktarda sülfür içerebilir. Bu kaynakların madenciliği, sülfürleri oksijenli bir ortama maruz bırakabilir.



Şekil 2.1. Bir metal madeninde asit maden drenajı kaynakları (Ferguson ve Erickson, 1988).

Aslında, büyük hacimlerde sülfür mineralleri şuralarda açığa çıkabilir : atık barajları, atık kaya yığınları (pasalar), kömür yığma yığınları, yığın liçi yığınları, maden dışı ve düşük tenörlü cevher stokları, atık deposu setleri, açık çukur zeminleri ve yüzleri, yer altı çalışmaları, servis yolları, yol kesimleri, taş ocakları, ve diğer kaya kazıları vs.

sülfürler atmosfere veya oksijenli yer altı suyuna maruz kaldıklarında, sülfürler sülfat, ağır metaller ve metaloidlerle yüklü bir asit suyu üretmek için oksitlenecektir (Ferguson ve Erickson, 1988).

Mineral pirit (FeS_2), mevcut en yaygın sülfür mineral olma eğilimindedir. Bu mineralin maden sahalarında aşınması, bugün endüstrinin karşılaştığı en büyük ve en çok test edilen çevresel soruna asit maden drenajı (AMD)'na neden olur. Sülfürlü maden atıkları çoğu durumda polimineralik agregalardır. Agregalar, sülfürlerin yanı sıra, silikatlar, oksitler, hidroksitler, fosfatlar, halojenürler ve karbonatlar dahil olmak üzere çok çeşitli olası mineralleri içerir. Silikatlar en yaygın gang mineralleridir ve sülfürler cevher veya gang fazlarını temsil edebilir. Bu nedenle, sülfidik atıkların ve cevherlerin mineralojisi oldukça heterojendir ve birikintiyeye özgüdür. Madencilik sülfidik malzemeleri oksitleyici bir ortama maruz bıraktığında, malzemeler kimyasal olarak kararsız hale gelir. Bir dizi karmaşık kimyasal ayrışma reaksiyonu kendiliğinden başlatılır. Bunun nedeni, atıkta bulunan mineral topluluklarının oksitleyici ortamla dengede olmamasıdır. Minerallerin ayrışması, atmosferik gazların, meteorik suların ve mikroorganizmaların yardımıyla gerçekleşir. Bir polimineralik agrega içindeki tek bir mineralin kimyasal aşınması asit üreten (yani H^+ üretimi), asit tamponlama (yani H^+ tüketimi) veya asit oluşturmayan veya tüketen reaksiyon olarak sınıflandırılabilir. (yani H^+ üretimi veya tüketimi yok). Örneğin, piritin bozunması bir asit üreten reaksiyondur, oysa kalsitin bozunması asit tamponlamadır ve kuvarsın çözünmesi hiçbir asit tüketmez veya üretmez. Belirli bir atıkta herhangi bir zamanda meydana gelen tüm kimyasal reaksiyonların dengesi, malzemenin "asitleşip" AMD üretilip üretilmeyeceğini belirleyecektir (Hudson-Edwards vd., 2011).

Daha çok kimyasal ve biyokimyasal bozunma ile oluşan AMD, genellikle pirit ve / veya kalkopirit gibi sülfürlü mineralin ıslanma - kuruma çevrimleri ile su ve oksijen etkisine maruz kalması sonucunda oksidasyona uğramasıyla başlamakta ve bakteriyel etkiyle hızlanan nihai tepkime ürünü olan sülfürik asidin meydana gelmesi sonucu ortamın pH değerinin düşmesi ve oluşan asitli çözeltilerin diğer minerallerin çözünmesi şeklinde gerçekleşen bir süreçtir (Kleinmann, 1989).

2.3 Asit Üreten Reaksiyonlar

2.3.1 Pirit

Sülfür minerallerinin oksidasyonu çeşitli reaksiyonlara bağlı oluşmakta ancak her sülfür mineralinin oksidasyon hızının içeriğindeki bileşime göre farklı olduğu bilinmektedir. Örneğin kalsiyum pirit yavaş yavaş oksitlenirken markazit ve framboidal pirit hızla oksitlenmektedir. AMD oluşumunda en yaygın gözlenen sülfür minerali ise pirittir. Piritin, AMD üretimi perspektifinden en önemli mineral olmasının nedeni konsantrasyonu, tane boyutu ve dağılımındaki değişimin bile AMD üretimini etkilemesidir (EPA, 1994). Çizelge 2.1’de AMD oluşumunda rol oynayan önemli sülfür mineralleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. AMD oluşumunda rol oynayan önemli sülfür mineralleri.

Mineraller	Bileşimi
Pirit	FeS ₂
Markazit	FeS ₂
Kalkopirit	CuFeS ₂
Kalkosit	CuS ₂
Sfalerit	ZnS
Galen	PbS
Arsenopirit	FeAsS
Zincifre	HgS

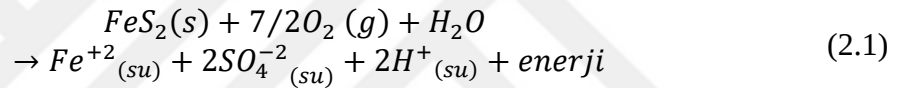
Sülfürler, güçlü indirgeme koşulları altında kararlıdır. Bu minerallerin oksitleyici koşullara maruz kalması onları kararsızlaştıracak ve sülfürler çeşitli oksidasyon mekanizmalarıyla yok edilecektir. Pirit, sülfür minerallerinin en bol olanıdır, hemen hemen tüm jeolojik ortamlarda bulunur ve kömür ve metal cevheri yatakları ile yaygın olarak ilişkilidir. Bu nedenle, pirit oksidasyonu tüm bilimsel açılarından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir ve konuyla ilgili geniş bir literatür bulunmaktadır (Evangelou ve Zhang, 1995; Keith ve Vaughan, 2000). Buna karşılık, galen, sfalerit ve kalkopirit gibi diğer sülfürlerin oksidasyonu, karşılaştırıldığında sadece sınırlı ilgi görmüştür.

Pirit oksidasyonu, mineral oksijene maruz kaldığında gerçekleşir (Rimstidt ve Vaughan, 2003). Mikroorganizmaların varlığında meydana gelen oksidasyon, biyotik olarak bilinir. Pirit oksidasyonu, abiyotik bir kimyasal oksidasyon işlemi olarak mikroorganizmalar olmadan da meydana gelebilir. Biyotik ve abiyotik bozunmaya oksijen (yani doğrudan oksidasyon) veya oksijen ve demir (yani dolaylı oksidasyon)

neden olabilir (Evangelou ve Zhang, 1995). Hem iki değerlikli hem de üç değerlikli haldeki demir, piritin dolaylı oksidasyonunda merkezi bir rol oynar. Bu farklı pirit oksidasyon mekanizmaları şu şekilde özetlenebilir:

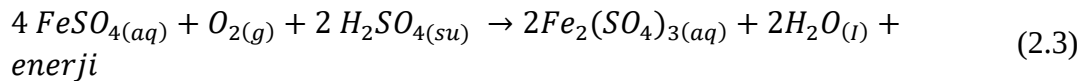
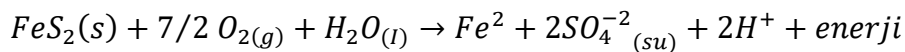
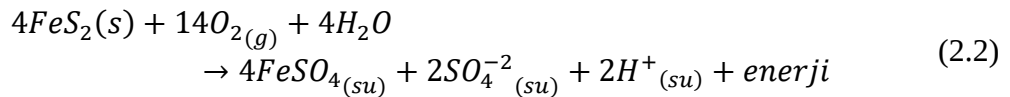
- Oksijen ile oksidasyon (abiyotik doğrudan oksidasyon),
- Mikroorganizmaların varlığında oksijen ile oksidasyon (biyotik doğrudan oksidasyon),
- Oksijen ve demir ile oksidasyon (abiyotik dolaylı oksidasyon),
- Mikroorganizmaların varlığında oksijen ve demir ile oksidasyon (biyotik dolaylı oksidasyon)

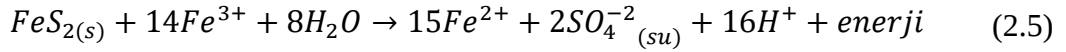
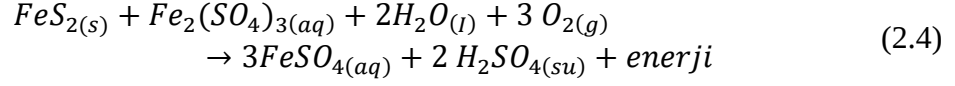
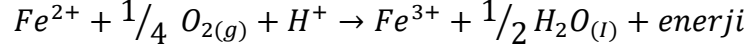
Stokiyometrik kimyasal reaksiyonlar, bu farklı durumları tanımlamak için yaygın olarak kullanılır. Oksidasyon mekanizmaları. Abiyotik ve biyotik doğrudan oksidasyon süreçlerinde (mekanizmalar 1 ve 2), oksijen piriti doğrudan oksitler:



Bununla birlikte, genel olarak pirit oksidasyonunun birincil olarak başarıldığı kabul edilmektedir. Dolaylı oksidasyon ile (mekanizma 3 ve 4) piritin dolaylı oksidasyonu, piritin oksijen ve ferrik demir (Fe^{3+}) ile kimyasal oksidasyonunu içeren birbirine bağlı adımlardır.

Aşağıdaki kimyasal denklemler genel kabul görmüş piritin bu tür dolaylı oksidasyonu için sıra:





Reaksiyonlar 2.2 ila 2.4 enerjisi serbest bırakır. Dolaylı pirit oksidasyonu ekzotermiktir. Başlangıç aşamasında (reaksiyon 2.2), pirit, çözünmüş demir (Fe^{2+}), sülfat ve hidrojen iyonları üretmek için oksijen tarafından oksitlenir. Çözünmüş demir sülfat iyonları, suyun toplam çözünmüş katı maddelerinde bir artışa neden olur. Hidrojen iyonlarının sülfat anyonları ile salınması, hidrojen iyonlarını nötralize etmek için başka reaksiyonlar meydana gelmedikçe asidik bir çözelti ile sonuçlanır. İkinci adım (reaksiyon 2.3), demirli demirin (Fe^{2+}) oksijen ile demirli demire (Fe^{3+}) oksidasyonunu temsil eder ve düşük bir pH'da gerçekleşir. Üçüncü reaksiyonda (reaksiyon 2.4), reaksiyon 2.3'te üretilen Fe^{3+} yardımıyla pirit oksitlenir. Böylece, Fe^{3+} piritin oksitleyici ajanı olarak görev yapar. Piritin Fe^{3+} tarafından oksidasyonu da daha fazla Fe^{2+} üretir. Bu Fe^{2+} daha sonra reaksiyon 2.3 aracılığıyla oksijen ile Fe^{3+} 'ya oksitlenebilir. Fe^{3+} sırasıyla, reaksiyon 2.4 yoluyla piriti oksitler, bu da sırayla daha fazla Fe^{2+} üretir, vb. reaksiyon 2.3 ve 2.4, Fe^{2+} 'nın Fe^{3+} 'ya dönüşümünün ve ardından oksidasyonunun devam eden bir döngüsünü oluşturur (Evangelou, 1998; Singer ve Stumm, 1970).

2.3.2 Asit maden drenajının alan göstergeleri

Bir madenden, maden atık yığınının, atık barajından veya göletten akan herhangi bir sızıntı suyu asit olabilir. AMD sularının varlığı için sahadaki en yaygın göstergeler şunlardır:

pH değerleri 5.5'in altında, birçok doğal yüzey suyu, atmosferdeki karbondioksitin su sütununda çözünmesi ve karbonik asit üretimi nedeniyle hafif asidiktir (pH ~5.6). pH'ı

5.5'ten düşük olan sular, asitliklerini sülfat minerallerinin oksidasyonu yoluyla elde etmiş olabilir.

Bozulmuş veya bulunmayan su ve nehir kıyısı fauna ve florası, AMD suları düşük pH değerlerine sahiptir ve yüksek düzeyde ağır metaller, metaloidler, sülfat ve toplam çözünmüş katılar taşıyabilir. Bu, su ve karasal ekosistemlerin bozulmasına ve hatta ölümüne neden olur.

Dere yataklarını ve kıyıları kaplayan çökeltilmiş mineral çiçek salkımları, sızma noktalarının ve akış yataklarının rengini bozan renkli sarı-kırmızı-kahverengi çökeltilerin gözlemlenmesi AMD işlemi için tipiktir. Bu tür ikincil demir açısından zengin çökeltilerin görülmesi, AMD neslinin devam ettiğinin bir işaretidir. Renksiz, bulanık veya son derece berrak sular, AMD suyu, bol miktarda asılı demir hidroksit parçacıklarının neden olduğu belirgin bir sarı- kırmızı-kahverengi renge sahip olabilir.

AMD suyunun bulanıklığı genellikle aşağı yönde demir ve alüminyum topaklaştıkça azalır ve artan pH ile tuzlar çöker. Sonuç olarak, asitli sular da son derece berrak olabilir ve kaliteli olduğu konusunda yanlış bir izlenim verebilir. Bol yosun ve bakteri balçıkları, AMD sularındaki yüksek sülfat seviyeleri alglerin büyümesini destekler ve asitli sular bol miktarda sümüksü yeşil veya kahverengi yosun akıntıları içerebilir (Lottermoser, 2010).

2.3.3 AMD'nin çevresel etkileri

Atık barajlarından, maden atık yığınlarından, yığın liçi ve cevher stoklarından gelen AMD suyu askıda katı maddelerin ve asit, tuzlar, ağır maddeler gibi çözünmüş kirleticilerin varlığı nedeniyle maden sahasından salınmamalıdır. AMD sularının çevreye kontrolsüz deşarjı yüzey sularını, su yaşamını, toprakları, tortuları ve yer altı sularını etkileyebilir. Yüzey suyu kirliliği, yüksek metal ve tuz konsantrasyonlarına sahip AMD sularının salınımı, mansap su yollarının, balıkçılık ve sulama için kullanımını etkiler. İçilebilir su kaynakları, ulusal içme suyu kalitesi yönergeleri karşılanmadığında etkilenebilir (Cidu ve Fanfani, 2002). Kötü su kalitesi ayrıca maden sahasında proses suyu olarak yeniden kullanımını sınırlar ve işleme devresinde korozyona ve kabuk oluşumuna neden olabilir. Mevsimsel olarak yüksek konsantrasyonlarda asitlik ve metaller ve artan iletkenlik, toplam çözünmüş ve askıda

katılar ve bulanıklık, AMD sularında yağışlı mevsimin başlangıcında veya ilkbaharda (Gray, 1998) gözlemlenebilir. Spesifik olarak, biyota üzerinde potansiyel olarak ciddi etkilerle aşağı akış ekosistemleri üzerinde belirgin etkilere neden olabilir.

Sudaki yaşam üzerindeki etkisi, AMD sularının yüksek asitliği, doğal suların pH'ını belirgin bir pH aralığında tutan doğal bikarbonat tampon sistemini yok edebilir. Bikarbonat sisteminin aşırı hidrojen iyonları tarafından tahrip edilmesi, bikarbonatın karbonik aside ve ardından su ve karbondioksit'e dönüştürülmesiyle sonuçlanacaktır. Fotosentetik suda yaşayan organizmalar inorganik karbon kaynağı olarak bikarbonat kullanırlar; bu nedenle, bikarbonat kaybının bu organizmalar üzerinde olumsuz bir etkisi olacaktır. pH değeri 4.3'ün altındaki sularda yaşayamaz. Ek olarak, AMD sularındaki metal yükünün büyük kısmı, kirleticiler iyonik formlarda bulunduğu için, organizmalar ve bitkiler tarafından kullanılabilir. Ağır metaller ve metaloidler, yüksek biyoyararlılık konsantrasyonlarında sudaki yaşam için öldürücüdür ve insan ve hayvan sağlığı için endişe vericidir (Abrams ve Gerhardt, 2004; Gerhardt, 2004). Ayrıca, çözünmüş cıva ve diğer metallerin ve metaloidlerin metilasyonu elementleri daha toksik formlara dönüştüren düşük pH ile desteklenir. Sucul ekosistemler ve akış aşağı drenaj kanalı bitki ve hayvan yaşamı üzerindeki etki ağır olabilir (Gray, 1998). Biyolojik çeşitliliğin azalması, hassas türlerin sayılarının azalması, hatta balık ölümleri ve diğer türlerin ölümü mümkündür.

Yer altı suyu kirliliği, AMD, yer altı sularının kalitesini, yüzey sularından daha sık etkiler. Yer altı suyu kirliliği, maden çalışmaları, sülfidik atık barajları, atık kaya yığınları, yığın liçi, cevher stokları, kömür yığınları, göletler ve kirlenmiş topraklardan kaynaklanabilir.

2.3.4 AMD'yi izleme

Maden suyunun izlenmesi, kimyaları yaygın olarak zaman içinde değiştiğinden önemli bir süre boyunca yer altı, gözenek ve yüzey sularının analizine ve ölçümüne dayanır. Maden sahalarındaki ve çevresindeki suların izlenmesi şu şekilde tasarlanmıştır:

(a) doğal mevcut durum koşullarını tanımlamak için; (b) çözünmüş veya askıda kalan bileşenlerin erken mevcudiyetini veya bunlardaki değişiklikleri belirlemek; (c) tahliye edilen suyun belirli bir su kalitesi standardını karşıladığından emin olmak için; (d)

bölgenin su kaynaklarının kalitesini korumak ve (e) AMD kontrolünün sülfid oksidasyonu üzerindeki önlemlerinin amaçlandığı gibi çalıştığının teyidini sağlamak. Bazı sülfid cevher kütleleri madencilikten önce doğal oksidasyona uğramış olabileceğinden, madencilik öncesinde temel verilerin elde edilmesi özellikle önemlidir. Bu ortamlardaki yer altı ve yüzey suları sülfat, metaller ve metaloidler açısından doğal olarak zenginleştirilebilir. Bir maden işletmesinin geliştirilmesinden önce bir bölgedeki su, toprak ve tortu kimyasının bilinmesi önemlidir. Aksi takdirde, önceden var olan doğal jeokimyasal zenginleşmeler yasal makamlar tarafından madencilik ve işlemenin bir sonucu olarak algılanabilir ve bu nedenle müteakip gereksiz iyileştirme süreçlerine tabi tutulabilir. Bir maden sahasının su bileşimi açısından etkin bir şekilde izlenmesi aşağıdakileri gerektirir:

İzleme sisteminin kurulumu, etkili bir izleme sistemi sahaya özeldir ve yukarıda belirtilen izleme amaçlarını yerine getirir. En önemlisi, maden sahası içinde ve dışında yüzey suyu örnekleme yerleri ve yer altı suyu izleme sondajları kurulmalıdır. Maden sahasının dışındaki ve membadaki sahalar suların doğal arka plan koşulları hakkında bilgi sağlarken, diğer sahalar maden suları için numune alma noktaları aynı zamanda akış hızları için gözlem noktaları olarak hizmet eder (Harries ve Ritchie, 1988). Maden sularının izlenmesi, yalnızca yüzey ve yer altı sularından elde edilen kimyasal analizlere dayanır. Mevsimsel izleme İklim (yani yağış, evapotranspirasyon, sıcaklık) aşağıdakileri belirleyen önemli bir faktördür: (a) maden sularının kalitesini ve miktarını; ve (b) yüzey suyunun yer altına karşı akışının hacmi su şarjı (Plumlee ve Logsdon, 1999; Younger vd., 2002). Saha yüzeyi ve yer altı suyu hidrolojisini anlamak için düzenli olarak ölçülen meteorolojik verilere ihtiyaç vardır. Sahadaki mevsimsel evapotranspirasyon oranlarının ve net su dengesinin hesaplanması, yer altı suyu deşarj oranlarını ve maden suyu depolama havuzlarındaki su birikim oranlarını etkilediği için çok önemlidir. Sülfürlü atık kaya yığınlarının gözenek sularının izlenmesi sülfidik atık kaya yığınlarının doymamış bölgesinden su örnekleri, sözde “lizimetreler” kullanılarak alınır. Lizimetreler, atık yığınlarına, bazı durumlarda kuru zemine gömülen küçük veya büyük varillerdir. Sızıntı suyunun toplanmasını sağlayan borularla yüzeye bağlanır. Bu sızıntı sularının meteorik verileri ve analizleri, boşaltma alanına su sızma oranı ve kirlenici üretim oranları hakkında bilgi sağlar (Ritchie ve Ritchie, 1998). Lizimetre sızıntı sularının analizi, aynı zamanda suyun atık kaya yığınlarına hangi derinlikte sızdığı ve suyun sülfidik malzeme içine sızıp sızmadığı

konusunda bir değerlendirmeye izin verir. Sonuç olarak, lizimetreler kuru örtülerin performans değerlendirmesine izin verir. Yer altı sularının izlenmesi büyük çatlaklar genellikle sülfidik cevher yataklarında bulunur ve birçok metal madeninin hidrolojisi yapısal olarak kontrol edilir. Bu kırıklar yer altı suyu için geçirgenlik bölgelerini temsil eder ve bu tür çatlaklar boyunca su ile sülfür içeren kayalar arasındaki etkileşim, AMD'ye yol açabilir. Yüksek metal içerikli ve kuvvetli asidik çözelti gelişebilir ve geçirgen çatlaklar boyunca akabilir. Suların bir kısmı açık ocaklarda belirgin sızıntılar olarak yüzeye çıkabilir. Bu nedenle, yer altı suyu izleme deliklerinin kırılma bölgelerine batmasını sağlamak önemlidir. AMD, bir madenden gelen yüzey drenajından yer altı suyu kalitesini daha sık etkiler. Özellikle, az yağış alan kurak bölgelerde, drenajın çoğu muhtemelen akifere taşınır. Doygun bölgeden sülfidik atık yığınının veya artıklarının hemen altından alınan yer altı suyu örnekleri, piyezometreler kullanılarak alınabilir. Bu tür suların kimyasal analizleri, kirletici maddenin yerel akifere taşınmasını gösterecektir.

Jeofizik araştırmalar, özellikle asidik, metal bakımından zengin yer altı sularında bulunan artan toplam znmş katı madde (TÇKM) konsantrasyonlarıyla artan elektriksel iletkenliği ler. Bununla birlikte, jeofizik teknikler yalnızca yer altı suyu bileşimi hakkında dolaylı bilgi sağlar ve kaya türlerinin değiştirilmesi önemli özdirenç veya iletkenlik değişimlerine neden olduğu için verilerin yorumlanması zor olabilir. Farklı litolojilere sahip alanlardaki kirletici bulutların saptanması ve haritalanması yalnızca diğer faktörlerin veri varyasyonları üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğu yüksek düzeyde kirlenmiş alanlarda mümkündür. Ekosistem sağlığının izlenmesi, bir maden sahasını çevreleyen su yollarının ekosistem sağlığı, gösterge türleri kullanılarak ölçülebilir (Martin ve Müller, 1998). Bu tür gösterge türler, birden salınabilecek kirleticilere karşı hassastır. Maden sahasının hemen mansabındaki ekosistemlerdeki gösterge türlerin kimyası, davranışı, üreme döngüsü, popülasyon büyüklüğü ve sağlığı, daha sonra membadakilerle karşılaştırılabilir. Bu doğrudan biyolojik izleme madeni çevreleyen ekosistemlerin sağlığı üzerindeki önemli etkileri ortaya çıkabilir.

Yüzey sularının izlenmesi, önemli bir süre boyunca yüzey sularının analizine ve ölçümüne dayanır. Zaman içinde pH, iletkenlik ve sülfat ve metal içeriğinde değişiklikler, AMD neslinin iyi göstergeleridir. Özellikle, SO₄ / Cl oranı, sülfitlerin oksidasyonundan gelen bir sülfat girişinin iyi bir göstergesidir. Bununla birlikte,

yüksek sülfat konsantrasyonları, yerel yer altı ve yüzey sularından 100 kat'a kadar daha yüksek iletkenlikler ve gözenek ve sızıntı sularındaki aşırı tuzluluklar, sülfür oksidasyonunu göstermez. Ayrıca, atıklar içinde çözünür ikincil sülfatların çözünmesinin bir sonucu olabilir. Ayrıca pH, iletkenlik ve sülfat, metal ve ana katyon konsantrasyonlarındaki değişiklikler, buharlaşma veya seyreltme gibi hidrolojik koşullardaki değişikliklerin sonucu olabilir. Bu son işlemler, kirletici konsantrasyonunda artışlara veya azalmalara yol açar ve kontaminasyon kaynağındaki değişen kimyasal süreçleri yansıtmaz. Bu nedenle, sahalar maden sularının ek önemli parametreleri olduğundan, akış hızlarını veya periyodik akış hacimlerini ölçmeli veya tahmin etmelidir. Çözünür konsantrasyonunun (mg L^{-1}) ve akış hızının veya akış hacmi (L s^{-1}) maden suyundaki kirletici yükünün (mg s^{-1}) hesaplanmasına olanak tanır. Bir kimyasal türün yükü, türün zaman içindeki çıktı oranı (mg s^{-1}) olarak tanımlanır. Zaman içinde çözünen konsantrasyonunun ve akış hızının izlenmesi türlerin zaman içindeki çıkış hızının hesaplanmasını sağlayacaktır. Sonuç olarak, kirletici kaynağı içindeki kimyasal süreçler tanımlanabilir. Örneğin, sülfidik atık yığınının ucunda sızıntı su görünüyor. Değişen su akış hızı (L s^{-1}), bir su örnekleyicisi ile donatılmış kalibre edilmiş bir akış ölçer yapısı kullanılarak ölçülür (Younger vd., 2002). Ek olarak, su numunelerinde zamanla kirletici konsantrasyonları (mg L^{-1}) belirlenir. Zaman içindeki akış hızları ve kirletici konsantrasyonları bilgisi, atık yığınının salınan ayrı kimyasal türlerin yüklerinin (mg s^{-1}) hesaplanmasına olanak tanır. Metal ve sülfat yüklerinde (mg zamanla artışlar, AMD'nin başladığını gösterir).

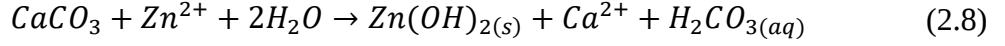
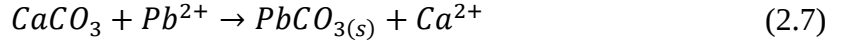
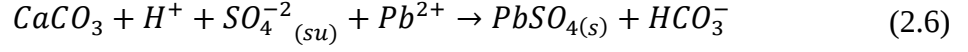
2.3.5 AMD giderimi

Bir kez başlatıldığında, AMD maden sahalarından kaynaklanan kalıcı ve potansiyel olarak ciddi bir kirlilik kaynağıdır ve madencilik durdurulduktan çok sonra bile devam edebilir. AMD'nin toplanması ve işlenmesi, yerleşik ve gelişmiş arıtma sistemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Yerleşik arıtma süreçleri arasında buharlaştırma, nötralizasyon, sulak alanlar ve kontrollü salma ve doğal sularla seyreltme yer alır. Teknolojik açıdan daha gelişmiş işlemler ozmos (yani membranlardan metal uzaklaştırma), elektrodializ (yani membranlardan seçici metal uzaklaştırma), iyon değiştirme (örneğin metal çıkarma reçineler gibi çeşitli iyon değiştirme ortamlarını kullanarak) içerir. Veya polimerler), elektroliz (yani elektrotlarla metal geri kazanımı), biyosorpsiyon (yani biyolojik hücre malzemesi kullanılarak metalin çıkarılması),

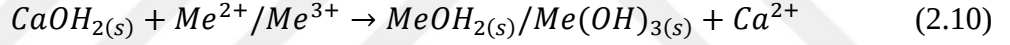
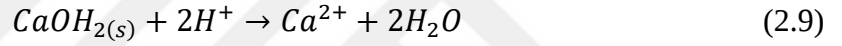
biyoreaktör tankları (yani, metal hareketsizleştirici bakteri kolonileri içeren veya metalin sülfid olarak çökmesine neden olan sülfat indirgeyici bakteriler) havalandırılmış biyoreaktörler ve kaya filtreleri (yani maden sularından manganezin çıkarılması), kireçtaşı reaktörleri (yani, basınçlı karbondioksitle gelişmiş kireçtaşı çözünmesi reaktör) ve solvent ekstraksiyonu (yani belirli metallerin çözücülerle uzaklaştırılması) (Brown vd., 2002; Greben vd., 2005; Shelp vd., 1995). AMD arıtım teknikleri aktif veya pasif olarak da sınıflandırılabilir (Johnson ve Hallberg, 2005; Walton-Day, 2003).

Aktif arıtma, kireç nötralizasyonu gibi aktif arıtma sistemleri, sürekli kimyasal reaktiflerin eklenmesini, aktif bakım ve izlemeyi ve reaktif suyla karıştırmak için mekanik cihazları gerektirir. Pasif arıtma, sulak alanlar, biyoreaktörler veya anoksik kireçtaşı drenajları gibi pasif yöntemler çözünmüş metal konsantrasyonlarını azaltmak ve asitliği nötralize etmek için kimyasal ve biyolojik işlemler kullanır. Bu tür yöntemler çok az reaktif, aktif bakım ve izleme veya mekanik cihazlar gerektirir veya hiç gerektirmez. Nötralizasyon gibi aktif arıtma teknikleri ve abiyotik havuzlar gibi pasif arıtma yöntemleri AMD sularından ağır metallerin çökmesine neden olur ve hacimli çamur üretir (Dempsey ve Jeon, 2001). Bu çamurun arıtma sisteminden düzenli olarak uzaklaştırılması gerekir. Çamur ya uygun barajlarda bertaraf edilir ya da metal geri kazanımı için daha fazla işlenir. Aslında, çamurdan metallerin geri kazanımı su arıtma maliyetlerini kısmen karşılayabilir (Miedecke vd., 1997).

Nötralizasyon, sızıntı suyunun toplanmasını, uygun bir kimyasalın seçilmesini ve kimyasalın AMD suyuyla karıştırılmasını içerir. İşlemde asit nötralize edilir ve metaller ve sülfat çözüldükten sonra uzaklaştırılır ve çamur olarak çökeltirilir. AMD için nötralizasyon tedavi sistemleri şunları içerir: Nötralize edici bir ajan, bu nötralize edici ajanların her birinin farklı avantajları ve dezavantajları vardır. Örneğin, kireçtaşı (büyük ölçüde CaCO_3) kullanmanın avantajları arasında düşük maliyet, kullanım kolaylığı ve yoğun, kolay işlenen bir çamur oluşumu yer alır. Dezavantajları arasında yavaş reaksiyon süreleri ve kireçtaşı parçacıklarının demir çökeltileri ile kaplanması yer alır. Kireçtaşının AMD suları ile reaksiyonunda, hidrojen iyonları tüketilir, bikarbonat iyonları üretilir ve çözünmüş metaller, sülfatlar, karbonatlar ve hidroksitler gibi az çözünür minerallere dönüştürülür:



Ayrıca, sönmüş kireç $Ca(OH)_2$ kullanımı kolay ve güvenlidir, etkilidir ve nispeten ucuzdur. Başlıca dezavantajlar, üretilen çamurun hacmi ve aktif arıtma tesisinin kurulması için yüksek başlangıç maliyetleridir (Zinck ve Griffith, 2000). Bu işlemde asit nötralize edilir (reaksiyon 2.6), metaller (Me^{2+} / Me^{3+}) metal hidroksitler halinde çökeltilir (Reaksiyon 2.7) ve çözeltide yeterli sülfat varsa alçıtaşı oluşur (Reaksiyon 2.8).



Kireç nötralizasyonu kadmiyum, bakır, demir, kurşun, nikel ve çinko gibi metallerin çözeltiden uzaklaştırılmasında etkilidir. Bununla birlikte metallerin çözünürlüğü pH ile değişir ve en düşük çözünmüş metal konsantrasyonu aynı pH'da elde edilemez (Kuyucak, 2000). Tüm metaller aynı pH'de çökeltilemez ve kabul edilebilir su kalitesi elde etmek için nötralize edici ajanların (örneğin kireç artı kireçtaşı) ve diğer kimyasal katkı maddelerinin bir kombinasyonu gerekli olabilir. Kostik soda ($NaOH$), özellikle yüksek manganer içeriğine sahip AMD sularının arıtılmasında etkilidir. Manganezin maden sularından çıkarılması zordur, çünkü manganer oluşmadan önce pH'ın 10'un üzerine çıkarılması gerekir. Kostik soda, pH'ı 10'un üzerine çıkarır. Kostik sodanın başlıca dezavantajları, yüksek maliyetleri, kimyasalın işlenmesindeki tehlikeler ve zayıf çamur özellikleridir. AMD sularının arıtılması için diğer kaya türleri (Bernier, 2005). ve kömür santrallerinden gelen uçucu küller veya çimento fabrikalarından çıkan fırın tozu gibi geleneksel olmayan endüstriyel atıklar veya yan ürünler önerilmiştir. Bununla birlikte, uçucu kül yaygın olarak yüksek metal ve metaloid konsantrasyonları içerir ve reaksiyon hızı kirecine göre yavaştır (Kuyucak, 2000). Nötralize edici

maddelerin eklenmesi, maden sularının asitliğini ve çözülmüş ağır metal konsantrasyonlarını azaltır. Aşırı nötrleştirme, metallerin ve metaloidlerin artırılmış çözünmesine ve yüksek metal ve metaloid konsantrasyonlu sulara da yol açabilir. Nötr ile alkali oksitleyici koşullar, çözeltide iyonlar veya kompleksler olarak bazı metallerin ve metaloidlerin (örneğin As, Sb, U) artan konsantrasyonlarını destekler. Sonuç olarak, AMD sularının nötrleştirilmesi pH'ı yalnızca metalleri çökeltmek ve absorbe etmek için gerekli değerlere yükseltmelidir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

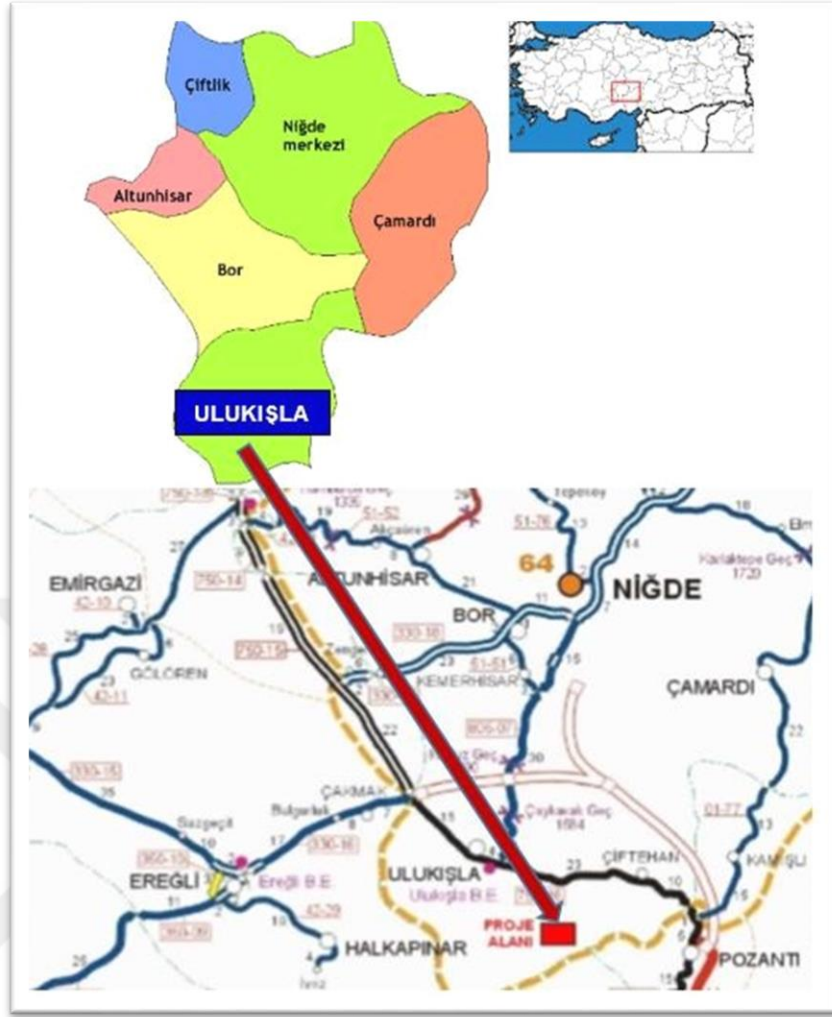
3.1 Maden Sahasının Tanıtımı

3.1.1 Maden sahasının yeri

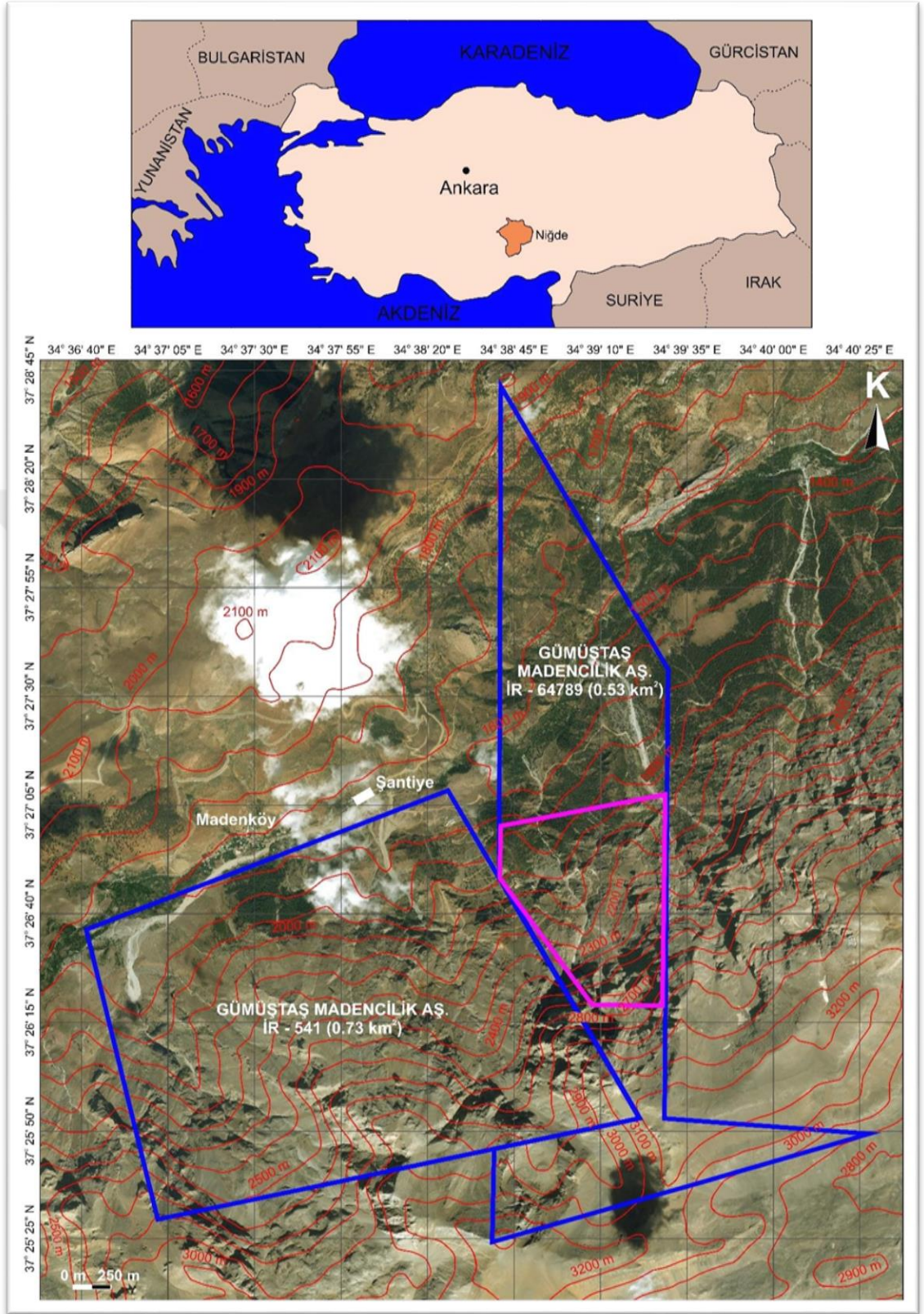
Gümüştaş Madencilik ve Ticaret A.Ş.’ye ait 541 - 64789 sicil no’lu ruhsat sahasındaki yer altı “Altın - Gümüş - Kurşun - Çinko - Pirit” maden ocağı, Niğde İli, Ulukışla İlçesi, Madenköy mevkiî sınırları içerisinde bulunmakta olup, maden ocağı Niğde İli’ne yaklaşık 77 km, Tepeköy’de bulunan tesise 40 km, Ulukışla İlçesine 28 km, Çiftelhan İlçesine 19 km ve Madenköyü’ne ise 800 metre mesafede bulunmaktadır. 1 / 25000 ölçekli Niğde n33-a1 ve n33-a2 paftaları içerisinde bulunmaktadır. Çalışma alanı

Şekil 3.1

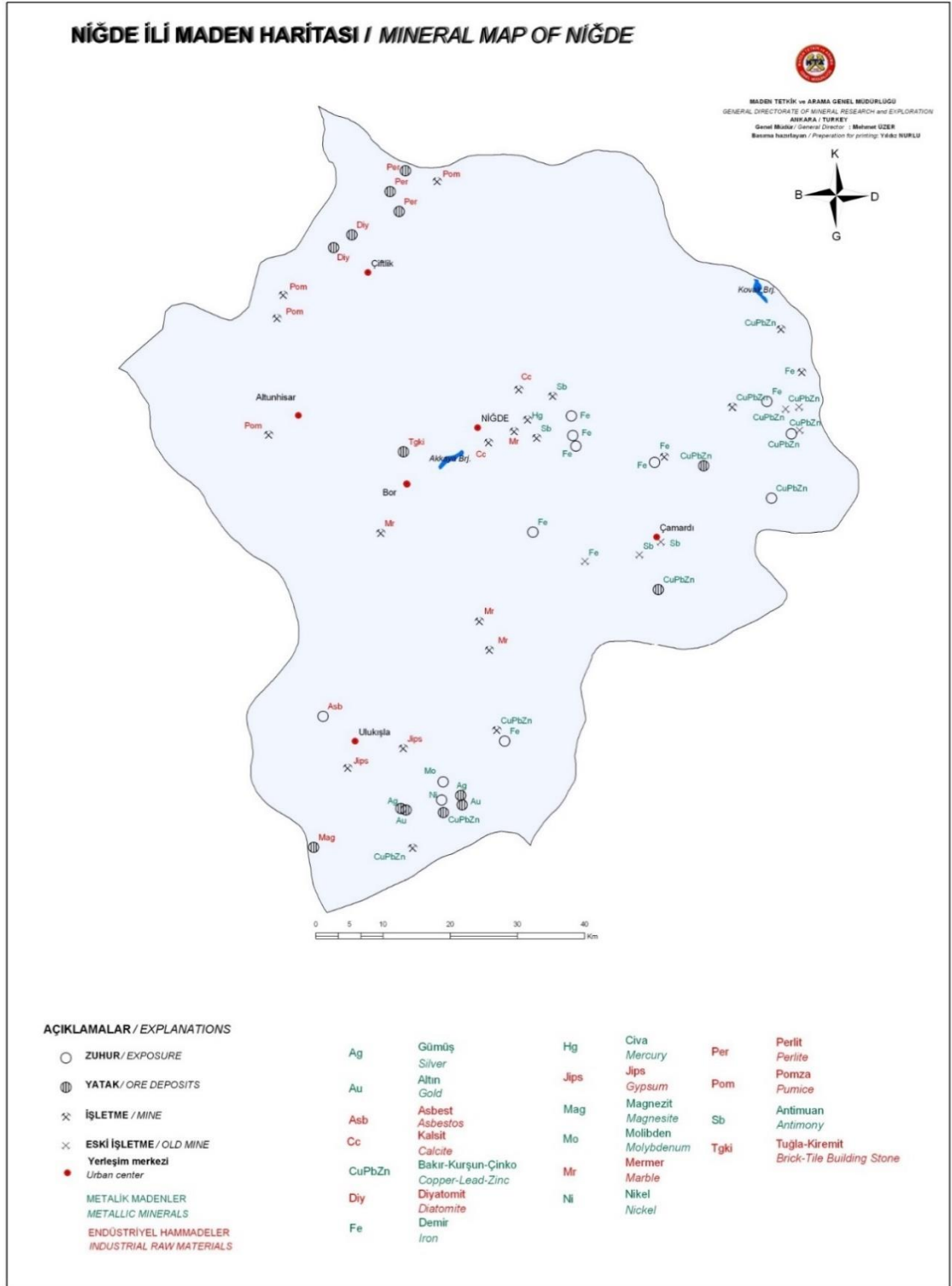
Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de gösterilmektedir (Ersoy, 2020).



Şekil 3.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası (Ersoy, 2020).

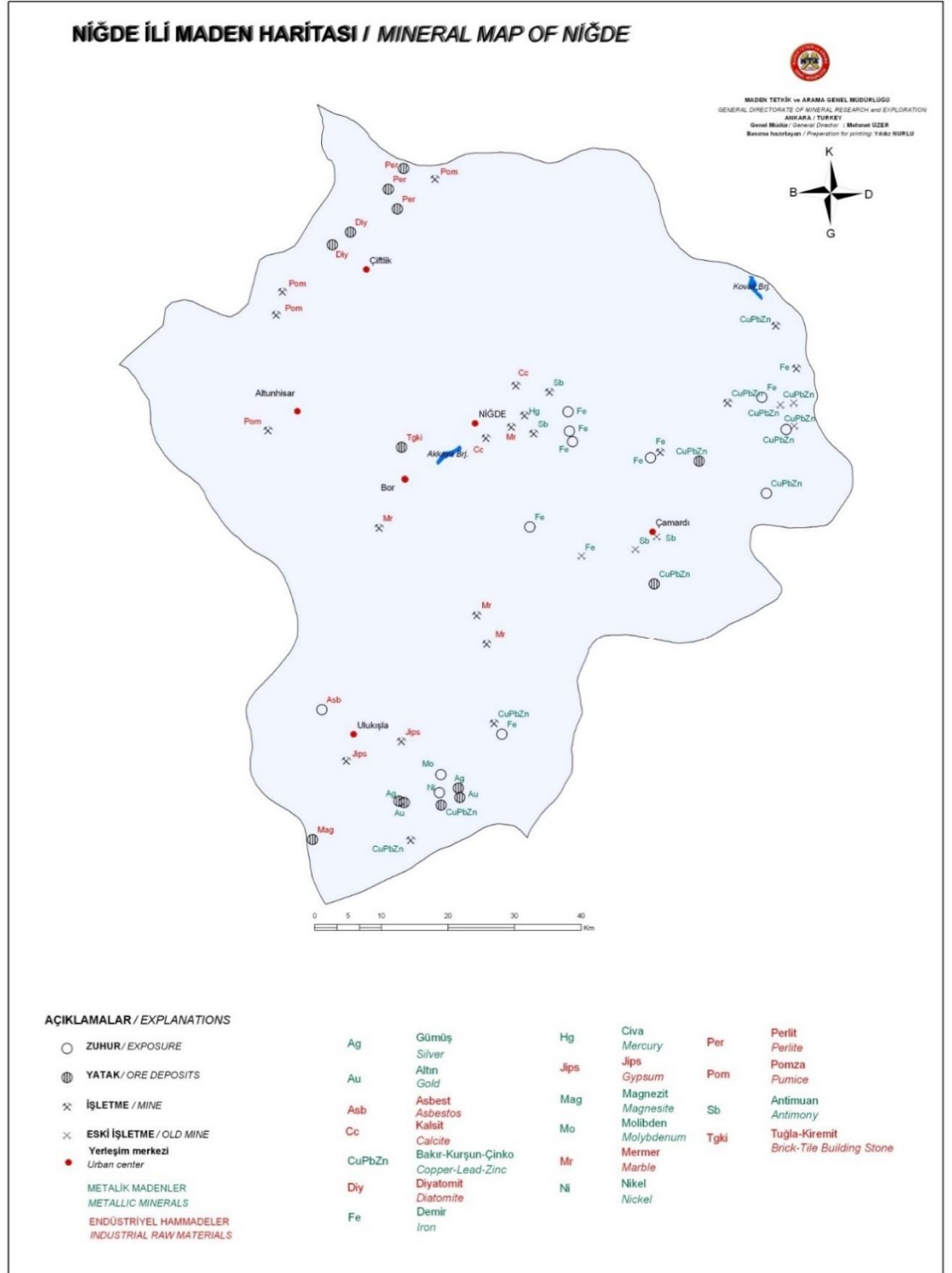


Şekil 3.2. İşletme izin sahasının 1/25000 ölçekli Niğde n33-a2 paftasındaki konumu (Ersoy, 2020).



Şekil 3.3. Niğde ili maden haritası (URL-1, 2021).

Niğde ilinde en fazla bulunan madenler; demir, pomza, diyatomit, mermer ve jips'tir. Ulukışla İlçesinde bulunan madenler; jips, demir, altın, gümüş, bakır, çinko, kurşun'dur.



Şekil 3.3'de verilmektedir (URL-1, 2021). Ulukışla ilçesi, Madenköy mevkiinde altın,

gümüş, kurşun, çinko'nun çıkarılması ve işlenmesi amacıyla Gümüştaş Madencilik ve Tic. A.Ş. tarafından yer altı ocağı kurulmuştur.

3.1.2 Çalışma alanının jeolojisi

Bölgesel jeoloji

Proje sahası, Orta Toroslara ait Bolkardağ Birliği içerisinde yer almaktadır (Ketin, 1966). İnceleme alanı ve çevresinde yaşlıdan gence doğru; Permien yaşlı şistler, Permien-Triyas yaşlı Bolkardağı şistleri ve Bolkardağı mermeri, Kretase yaşlı ofiyolitik melanj, Paleosen-Eosen yaşlı konglomera, kumtaşı, kireçtaşı, marn ve tuf ardalanması ve Kuvaterner yaşlı taraça, yamaç molozu ve alüvyonlar yüzeylenmektedir. Proje sahasının içinde bulunduğu bölgeye ait stratigrafik kolon kesit

Şekil 3.4'de verilmektedir (Ersoy, 2020).

Permien-Şist: Proje alanının güneydoğusunda geniş bir alan kaplamaktadır ve mermer, kalkışist, serisit-klorit şist, albit-şistlerden oluşmaktadır. Birim tipik olarak Çadır Tepe (2049 m) ile Kızılgölbaşı Tepe (2932 m) ve Asmacık dere ile Av dere arasında gözlenir. Yer yer dolomitik kısımlar içeren mermer, şistler ile bazen ara katkılı bazen de çeşitli boyutlarda mercerler halinde bulunabilir. Mermer, gri-siyah, orta-kalın tabakalı, gelişmiş kırık sistemine sahip, taze yüzeyleri bitüm kokulu ve ikincil kalsit damarcıklı yapıya sahiptir. Şistler, gri-mavi-yeşil renkli, bazen ezilmiş ve karışmış bazen de düzgün tabakalı ve şisti dokuludur. Birimin stratigrafik olarak tabanı izlenmez.

Ancak Bolkardağ mermeri üzerinde olası bir bindirme ile itilmiş olarak bulunur. Birimin görünür kalınlığı yaklaşık 1000 m'dir (Ersoy, 2020).

Permien-Triyas Bolkardağı Şistleri: Birim belirgin olarak Horozköy civarındaki granit ve granodiyoritlerin çevresinde yüzeylenmektedir. Birim tipik olarak Horozköy ile Sivri Tepe (1766 m) arasında yüzeylenmektedir. Bolkardağ şistleri kalkışist, klorit şist, kuvars şist, muskovit şist türünde kayalardan oluşmaktadır. Yaklaşık 500 m kalınlığındaki birimin üzerinde Bolkardağı mermeri uyumlu olarak bulunmaktadır. Birim gri mavi-yeşil renkli iyi tabakalı kuvarsporfir daykaları ile kesilmiş ve şisti dokulu olup klorit, kalsit, albit, muskovit, kuvars,

aktinolit, biyotit ile az olarak turmalin, granat, manyetit, içermektedir. Şistlerin altında ve üstünde Bolkardağ mermeri bulunmaktadır ve birimin kalınlığı yaklaşık 500 m'dir (Ersoy, 2020).

Permiyen-Triyas Bolkardağı Mermeri: Proje alanının çok büyük bir bölümünü kapsayan Bolkardağı mermeri, proje sahasının güney kesiminde N33-a2 ve N33-b1 paftalarında batıda Medetsiz Tepe (3524 m)'den doğuda Karınca Dağı (2206 m)'na kadar uzanan ve Bolkardağı'nın yüksek kotlarını içine alan geniş bir kesimde yüzeylenmektedir. Birim tipik olarak Maden Köyü'nün güneyinde Karboğazı mevkiinde ve Sulucadere'de izlenmektedir. Bolkardağı mermeri, çoğunlukla beyaz, beyazımsı gri renkli, 0,1-1 m kalınlıkta iyi tabakalı, iyi gelişmiş bol kırıklı ve çatlaklı, kalsit damarcıklı olup iri boyutlu kalsit kristallerinden oluşmuştur. Mermer içinde iyi gelişmiş mağara oluşumlarına, kırık ve çatlak sistemlerine rastlanmaktadır. Birim üste doğru gri, siyah renkli mermer ve kalkışte geçmektedir. Yer yer kuvarsporfir ile dayk ve siller tarafından kesilen Bolkardağı mermer şistlerinin tabanı görülememekte, üstünde ise Melanj bulunmaktadır. Birimin kalınlığı yaklaşık 1500 m'dir (Ersoy, 2020).

Kretase Ofiyolitik Melanjı: Birim okyanusal kabuk kökenli kayaçlardan oluşmaktadır. Proje sahasında Madenköy ile Horozköy kuzeyindeki Sivritepe (1766 m) çevresinde ve Kızıltepe çevresinde dar bir alanda yüzeylenmektedir. Tipik olarak ise Madenköy güneyinde Karboğazı dere ile Horoz Köyü'nün kuzeybatısındaki Karataş tepe (1757 m) kuzeyinde gözlenmektedir. Ofiyolitik melanjı oluşturan birim içindeki şistler, çoğunlukla muskovit,-klorit şistlerden daha az olarak epidot-aktinolit-albit şist, aktinolit şist ve tremolit şistlerden oluşmuştur. Şistler, açık yeşilden koyu yeşile kadar değişen renklerde, şisti dokulu, çokça karışmış, ezilmiş ve düzensiz küçük kıvrımlıdır. Başlıca klorit, muskovit, epidot, albit, tremolit, aktinolit ve az miktarda opak mineral içerirler. Ofiyolitler içinde bulunan mermer blokları Bolkardağı mermerine alt mermer blokları, diyabaz ve peridotitlerden oluşmaktadır. Blok boyutları 300-400 m'ye kadar ulaşabilmektedir. Diyabaz, tipik olarak Teke deresinde ve Teke deresi ile Horozoğlu arasındaki sırtta gözlenmektedir. Diyabazlar mineral olarak kloritleşmiş ve kalsitleşmiş plajiyoklas, kloritleşmiş ojit, klorit, kuvars, az miktarda pirit ve kalkopirit içermektedir. Ofiyolitik melanj içerisindeki peridotitler tipik olarak Kızıltepe'de, serpantinitle ise Madenköy güneyi ile Alihoca Köyü'nün

doğusunda yüzeylenme vermektedir. Peridotitler, yeşilimsi-siyah renkli, yer yer serpantinleşmiş olup olivinden oluşmuştur. Serpantinitler ise yeşil renkli, kırıklı ve eziktir. Silisleşmiş kayalar tipik olarak Madenköy güneyi ile Kızıltepe’de izlenmektedir. Kayaç çokça limonit içerdiği için sarımsı-kahverengi rengi ile dikkat çekmektedir. Ofiyolitik melanj, altındaki Bolkardağı mermeri ile üstündeki Alihoca ofiyolitik masifi arasında tektonik dokunaklı olarak yerleşmiştir.

Üst Kretase Ofiyolitik Masifi: Birim serpantinit, gabro, diyabaz ve spilit gibi kayalardan oluşmaktadır. Proje alanında, Alihoca Köyü batısından başlayıp, doğuya doğru 1-2 km genişlikte bir şerit şeklinde yüzeylenmektedir. Tipik olarak ise, Maden Dere vadisinin Alihoca Köyü civarında ve Çiftehan Çayı (Çakıt çayı) vadisinde gözlenmektedir. Serpantinitler, Üst Kretase Ofiyolit Masifi içinde en fazla görülen kayaç türü olup yeşil renkli, oldukça kırıklı ve bazen ezilmiş halde bulunmaktadır. Peridotitler, koyu yeşil ve siyah renkli, çatlak ve kırıklarda serpantinleşmiş, olivin ile piroksenden oluşmuştur. Üst Kretase Ofiyolit Masifi’nin kendisinden daha yaşlı birimlerle olan dokanakları tektoniktir.

Üst Kretase Tortul İstifi: İstif tipik olarak Alihoca Köyü’nün kuzeydoğusunda ve Ömerli köyü yolu üzerinde Karakaya tepe (1172 m) yakınlarında yüzeylenme vermektedir. Tortul istif, konglomera ve kumtaşı, spilit, diyabaz, serpantinit ve peridotit gibi ofiyolit kayalardan oluşmaktadır. Gevşek tutturulmuş, kötü tabakalanmalı birim üste doğru kırmızı renkli, orta kalınlıkta, iyi tabakalı ve bol fosilli kireçtaşlarına geçmektedir.

Üst Kretase-Alt Paleosen Tortul İstifi: Birim, Çiftehan güneyinde, Maden Deresi yamaçlarında ve Horozköy yolu girişinde yüzeylenme vermektedir. Tipik olarak ise, Maden Deresi içinde Kalkankaya ve Ağcabel dolaylarında izlenmektedir. Birim, taban kongolmerası ile başlamakta ve üste doğru kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marna geçiş yapmaktadır. Bu birime ait tortul kayaçlar sahada çoğunlukla dike yakın eğimde gözlenmekte ve ters dönmüş olarak bulunmaktadır. Tortul istifin kalınlığı 200-300 m’dir (Ersoy, 2020).

Paleosen-Eosen Volkano-Tortul İstifi: İstif Alihoca Köyü’nün 1 km güneyinden başlayarak batıya doğru uzanan bir bölgede yüzeylenme vermektedir. Birim konglomera, kumtaşı, kireçtaşı, marn, tuf ile bunların ara katkılarından oluşmaktadır.

Birimin kalınlığı 1000-1500 m civarındadır. Konglomeralar, gri renkli, orta ile kalın tabakalı, çoğunlukla 5-10 cm boyutunda yuvarlaklaşmış çakıllardan oluşmaktadır. Kumtaşları, gri, sarı renkli, orta kalınlıkta, iyi tabakalı, 0,5-2 mm boyda yuvarlaklaşmış taneli, kil ile kireç çimentoludur. Kireçtaşı ve killi kireçtaşları, gri, kırmızı renkli, orta kalınlıkta iyi tabakalı ve bol fosillidir. Marnlar, çoğunlukla sarı renkli, ince tabakalı ve az olarak ara katkılar halinde kumtaşı tabakaları içermektedir. Tüfler, mor, yeşil, gri renkli, ince ile orta kalınlıkta, iyi tabakalı ve kil çimentoludur. Volkanik ara katkılar halinde bulunan spilitik lav ve yastık lavlar koyu yeşil renkli olup çok iyi beşgen ile altıgen soğuma yüzeyleri sunmaktadır. Volcano-Tortul istifin kalınlığı 1000-1500 m'dir.

Paleosen-Alt Eosen Volkanikleri: Çiftehane'nin kuzeyinde geniş bir alan kaplayan volkanikler adezit, spilit, diyabaz, bazalt aglomera ve tüflerden oluşmaktadır. Volkanikler içinde kendisi ile eş yaşlı kireçtaşı mercekleri ve Üst Kretase yaşlı kireçtaşı blokları içeren volkanikler diyorit ve siyenitler tarafından kesilmiştir. Birimin üzerinde Orta Eosen yaşlı konglomera, kireçtaşı ve volkanik ara katkılı kumtaşı, marn ardalanması uyumsuz olarak bulunmaktadır.

Paleosen-Alt Eosen Horoz Granit-Granodiyoriti: Birim Horoz köyünün yer aldığı vadi içerisinde yüzeylenme vermektedir. Horoz granit-granodiyoritine bağlı damar kayaçları beyazımsı, pembe, gri, holokristalin plajiyoklas, ortoklas, biyotit, kuvars ve amfibol minerallerinden oluşmaktadır. Birim Bolcardağı mermer ve şist dokanağında skarn zonları oluşturur. Horoz granit-granodiyoriti kuvars porfir, dasit, riyodasit, riyolit ve biyotitli andezit türünde kayaçlardan meydana gelmektedir. Birim Üst Kretase'ye kadar bütün kayaçları keserek yerleşmiştir.

Orta Eosen Volcano-Tortul İstifi: Birim proje sahasında Maden Köyü ile Alihoca Köyü arasında derenin güneyinde dar bir alanda yüzeylenme vermektedir. İstif tabanda konglomera, kireçtaşı ve killi kireçtaşı ile başlamakta üste doğru kumtaşı, kireçtaşı ve marna geçiş göstermektedir. Tipik olarak Koçak köyü güneyinde gözlenen volkanik ara katkıları, marn içinde aglomera, tüf, tüfit gibi kayaçlardan oluşmaktadır. Birimin yaklaşık kalınlığı 500 m kadardır.

Oligosen Tortul İstifi: Birim proje alanının güneydoğusunda Pozantı Çayı vadisinde yüzeylenme vermektedir. Tortul istif, mikrokonglomera, kumtaşı ve killi kireçtaşı

ardalanmasından oluşmaktadır. Yaklaşık kalınlığı 300-400 m olan Oligosen yaşlı tortul istif çalışma alanı içinde Permiyen yaşlı kayaçlar üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır.

Kuvaterner Taraça-Yamaç Molozu-Alüvyon: Taraçalar, Horoz deresi ile Maden deresinin yamaçlarında iyi gelişmiş olarak bulunmaktadır. Taraçayı oluşturan konglomera çakılları değişik boylarda, orta yuvarlak, çimentosuz ve kötü boylanmalıdır. Konglomera çakıllarını çoğunlukla Bolkardağı mermerlerine ait mermer çakılları, daha az olarak ise şist ve bölgede yüzeylenme veren diğer kayaçların çakılları oluşturmaktadır. Taraça eski akarsu çökellerinden oluşmaktadır. Yamaç molozu, Horoz deresi ile Maden deresinin güney yamaçlarında gözlenmektedir. Yamaç molozu fiziksel ayrışmanın egemen olduğu, topoğrafik yükseltilerden aşağıya dökülen veya yerinde ayrışma ile oluşan kaya parçalarıdır. Çakılları kötü boylanmış, köşeli ve düzensizdirler. Yamaç molozunu oluşturan çakıllar Bolkardağı mermerine ait mermer çakıllarıdır. Bu çakıl ve blokların boyutları yer yer 1 m'ye kadar ulaşmaktadır. Alüvyonlar, proje sahasında Çiftehan Çayı, Maden deresi ve Horoz deresinde yaygın olarak bulunmaktadır. Alüvyonlar iyi yuvarlaklaşmış blok, çakıl, kum ve silt boyutundaki malzemelerdir.

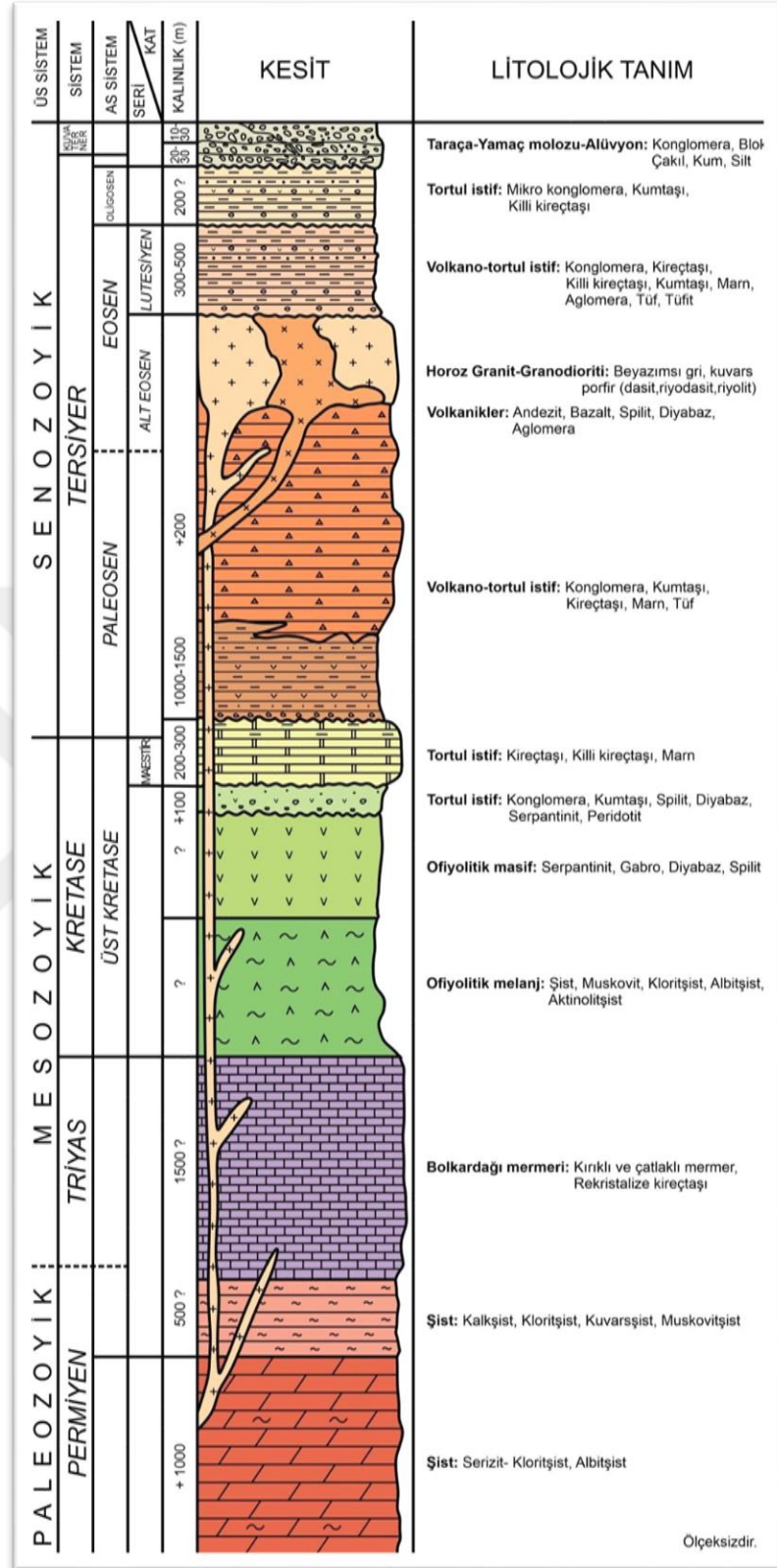
Proje alanına ait bölgesel stratigrafik kolon kesit

Şekil 3.4'de verilmiştir (Ersoy, 2020).

Bölgenin jeolojik yapısından dolayı kireçtaşı (Bolkar mermeri) olmasından dolayı atık su özellikleriyle kıyaslandığında tipik asit kaya maden drenajı özelliği taşımamaktadır.

Proje alanı ve yakın çevresinin jeolojisi

Proje alanı ve yakın çevresini içine alan ve Maden Köyü'nden kuzeydoğuya doğru olan bölgede en yaşlı birim olarak Bolkardağı mermeri yüzeylenme vermektedir. Birim çoğunlukla beyaz, beyazımsı gri renkli ve kalsit damarlı rekristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Sahada Bolkardağı mermerlerinin üzerinde ofiyolitik melanaj bulunmaktadır. Melanjin içerisinde açık-koyu renkli şistler, Bolkardağı mermerinden kopan kayaç blokları ve silisleşmiş kayaçlar bulunmaktadır. Proje alanında en genç birim olarak Kuvaterner yaşlı alüvyon yüzeylenme vermektedir (Ersoy, 2020).



Şekil 3.4. Bölgesel stratigrafik kolon kesit (Ersoy, 2020).

İnceleme alanında yüzeylenen Orta Toros kuşağı ile Niğde Masifi arasında yer alan Paleozoik ve Mezozoik yaşlı birimler Bolcardağ Birliği'ne, daha genç birimler ise Ulukışla Tersiyer havzası volkano-sedimanlarına dâhildir.

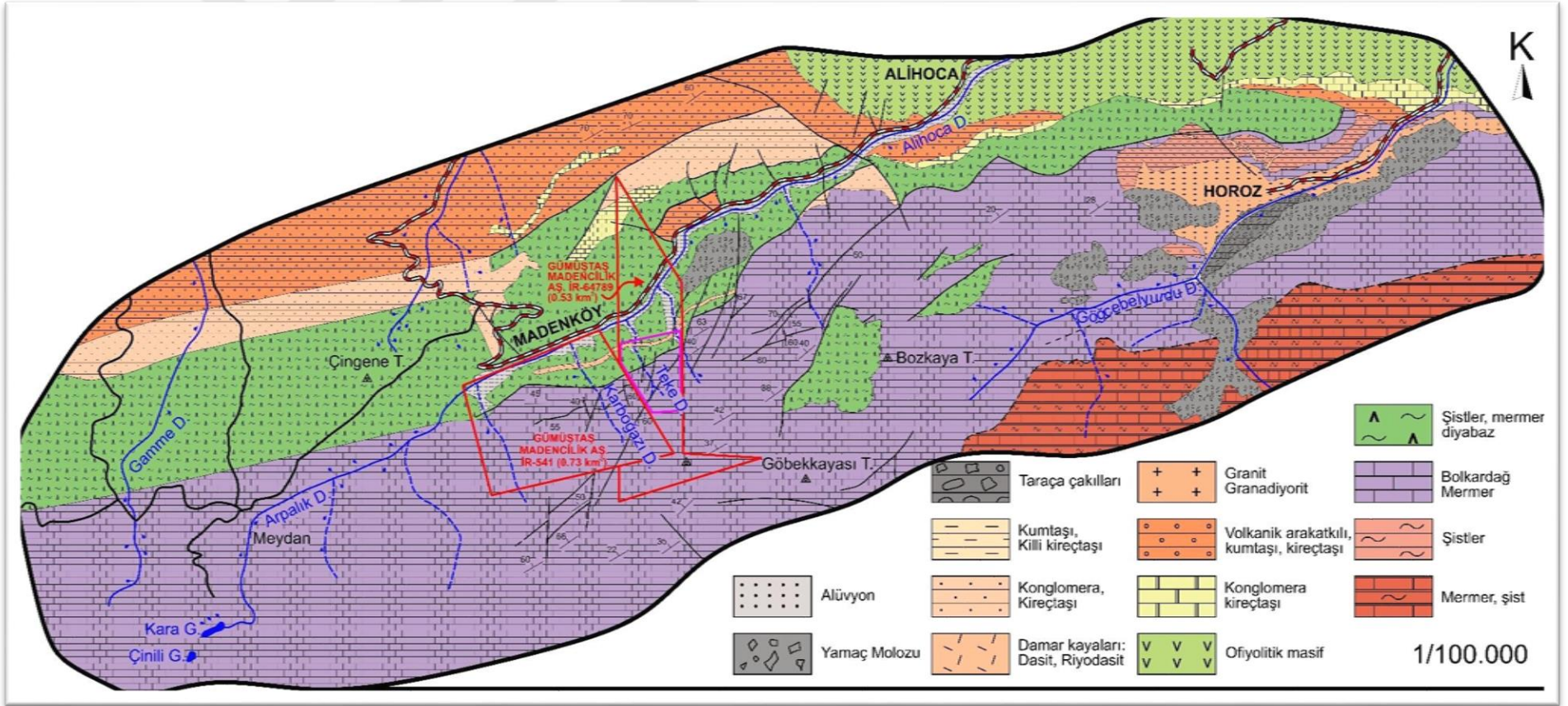
Proje alanında yüzeylenme veren birimlerin arasında üç uyumsuzluk yüzeyi belirlenebilmektedir. Her biri bir karasal döneme karşılık gelen bu uyumsuzluklardan en yaşlı olanı üst Senoniyen, ikincisi Orta Eosen, üçüncüsü ise Kuvaterner yaşlı birimlerin tabanında yer almaktadır.

Proje sahasında yüzeylenme veren sedimanter ve volkano-sedimanter kayalar tabakalı bir yapıya sahiptir. Bolcardağ mermeri doğu-batı eksen doğrultulu bir antiklinal şeklinde kıvrımlanmıştır. Bu antiklinalin oluşumu Jura- Kretase zaman aralığında gelişmiş, alt Eosende ise Paleosen yaşlı birimlerle birlikte yeniden kıvrılarak bugünkü şeklini almıştır.

Proje sahasında Permiyen yaşlı şistler Permiyen-Triyas yaşlı Bolcardağ Mermerleri üzerine güneyden kuzeye doğru itilmiş olarak bulunmaktadır. Bunun sonucunda Bolcardağ mermerleri içerisinde itilmelerin oluşturduğu düşük eğimli ve çoğunlukla doğu-batı doğrultulu ters faylanmalar meydana gelmiştir. Bolcardağ mermerlerinin sahada gözlenen ofiyolitik melanj birimi dokunağı ise tektoniktir.

Bolcardağ mermerleri içerisinde tabakalanmaya verev ve dikey olacak şekilde irili-ufaklı birçok karst boşluğu gelişmiştir. Bu karst boşlukları özellikle orta-kalın tabakalanmalı kristalize kireçtaşları ile beyazımsı gri mermerlerin içindeki demir oksitli seviyelerde gelişmiştir. Bu karst boşlukları içinde cevherleşme ile ilgili olarak limonit damarları ve çört dolguları bulunmaktadır (

Şekil 3.5) (Ersoy, 2020).

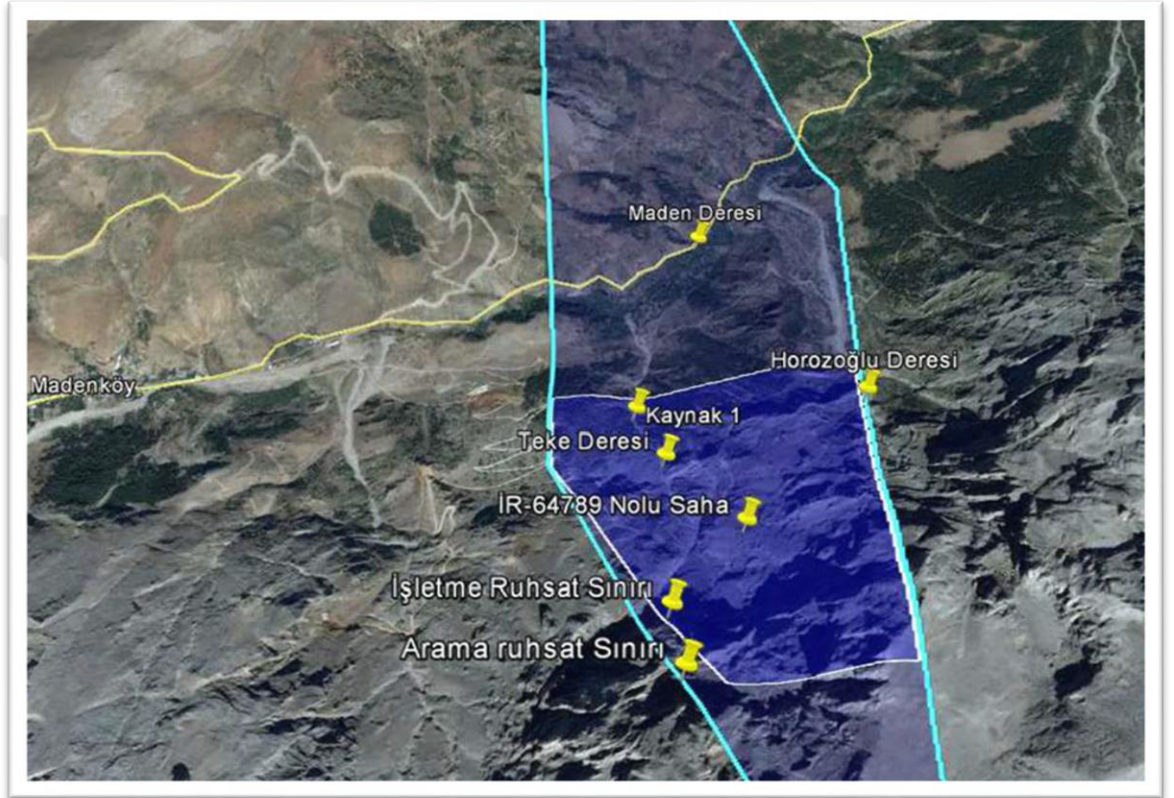


Şekil 3.5. Çalışma alanı ve çevresinin bölgesel jeoloji haritası (Ersoy, 2020).

3.1.3 Proje sahası ve çevresinin hidrolojik ve hidrojeolojik özellikleri

Su noktaları

Proje alanının hidrolojik ve hidrojeolojik özellikleri başlığı altında; sahada sürekli ve mevsimsel akış gösteren akarsular, kaynaklar, göller ve yer altı suyu taşıyan formasyonlar anlatılmaktadır (Şekil 3.6) (Ersoy, 2020).



Şekil 3.6. Saha içerisinde bulunan dereler, kaynaklar (Ersoy, 2020).

Akarsular

Proje alanı ve çevresinde akış gösteren en önemli akarsu Maden Deresi'dir. Yapılan arazi gözlemleri ışığında, Maden Deresi'nin ilkbahar aylarında sürekli akış gösterdiği, haziran ayından sonra kurumaya başladığı ve yağışlı mevsim başlayıncaya kadar kuru kaldığı belirlenmiştir. Maden Deresi'nin yaz aylarında kurummasının bir diğer nedeni de sulama kanalları ile dere kenarında bulunan bahçelerde sulama yapılmasıdır. Maden Deresinin 24.05.2022 tarihinde yapılan müteferrik ölçüm sonuçlarına göre debisi 217 L/s'dir.

Proje alanında bulunan ve mevsimlik akış gösteren diğer akarsular; Teke Deresi ve Horozoğlu Deresi'dir. Bu akarsular yalnızca ilkbaharda karların erimesinden sonra akış göstermekte yılın diğer aylarında ise kuru kalmaktadır (

Şekil 3.7) (Ersoy, 2020).



Şekil 3.7.Teke Deresi (arıtılacak olan suyun deşarj edilmesi planlanan alıcı ortam) (Ersoy, 2020).

Yer altı suyu taşıyan formasyonlar

Kayaçların hidrojeolojik özellikleri gözeneklilik ve geçirimsizlikleri ile tanımlanabilir. Gözeneklilik, kayacın depolama fonksiyonunu; geçirimsizlik ise iletme fonksiyonunu kapsamaktadır. Hem depolama ve hem de iletebilme özelliğine sahip olan ve ekonomik derecede yer altı suyu taşıyan kayaçlar için akifer tanımı yapılmaktadır. Akiferlerin önemli özelliklerinden biri olarak depolama fonksiyonu kayaçlar içinde bulunan boşluklarla sağlanmaktadır.

Gözeneklilik ve geçirimsizlik özellikleri göz önüne alındığında, en önemli akiferler çakıl ve kum yataklarında, alüvyon konilerinde, sahil sedimanlarında ve bazı koşullarda magmatik ve metamorfik kayaçlarda oluşmaktadır. Kumtaşı ve çakıлтаşı sıkışma ve çimentolanma derecelerine göre; kireçtaşı ise içerdikleri erime

boşluklarının dağılımı ve hacmi ile ele alınmaktadır. Sık eklem ve çatlaklarla kat edilmiş magmatik ve metamorfik kayalar yer yer zengin akifer türleri oluşturabilmektedir. Metamorfik kayalar, mermerler dışında, genellikle iyi akifer oluşturmazlar.

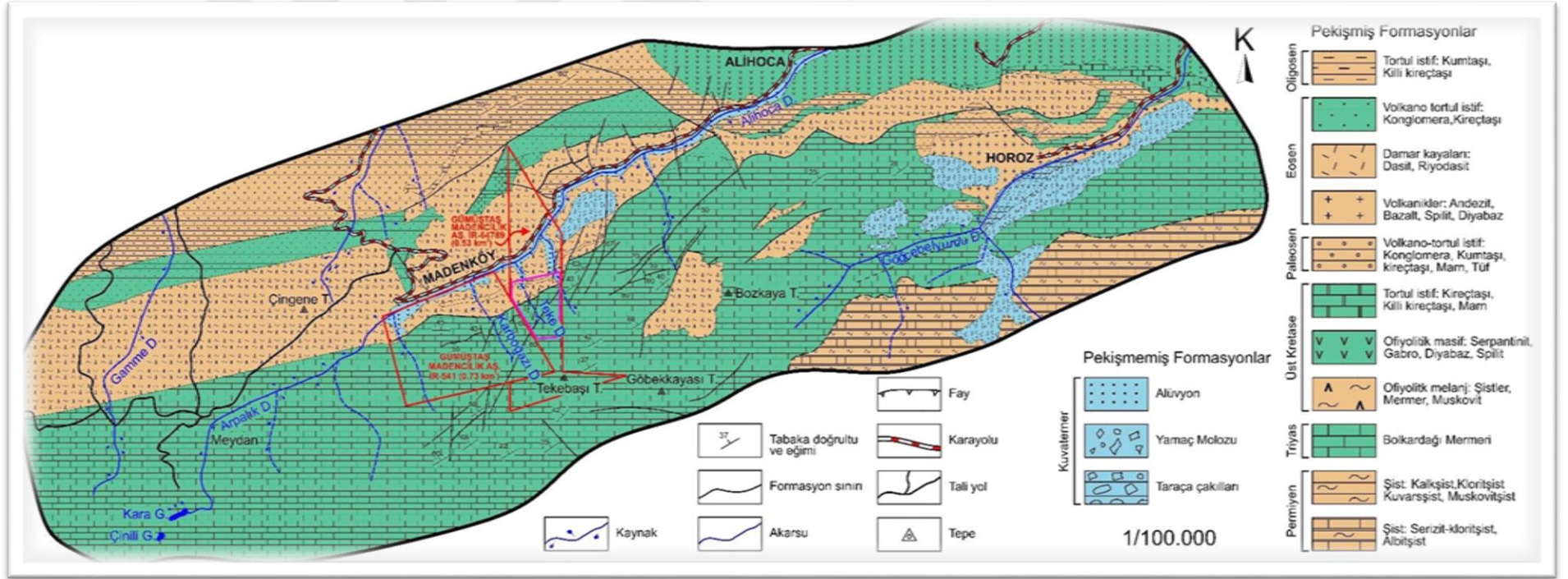
Proje sahası içerisinde yüzeyleme veren Permian yaşlı şistler ile Permian- Triyas yaşlı Bolcardağı şistleri kalkışist, kuvars şist, muskovit şist, rekristalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşmaktadır. Her iki birimde de çok iyi gelişmiş çatlak sistemi bulunmadığından, bu birimler hidrojeolojik açıdan geçirimsizdirler ve ekonomik olarak yer altı suyu bulundurmazlar. Yalnızca düzgün tabakalanma gösteren bazı seviyeleri düşük-orta geçirimli olarak tanımlanabilir. Permian-Triyas yaşlı Bolcardağı mermeri rekristalize kireçtaşı ve mermerden oluşmaktadır. Birim iyi gelişmiş çatlak sistemine sahiptir. Ayrıca birim içerisinde tabakalanmaya yatay ve dikey olacak şekilde birçok karstik boşluk bulunmaktadır. Ancak özellikle kırık ve çatlaklar kuvars ve kalsit mineralleri tarafından doldurulmuştur. Bu nedenle, Bolcardağı mermerleri hidrojeolojik açıdan yarı geçirimli birim olarak tanımlanmaktadır ve dolgu bulunmayan kırıklarında ve karstik boşluklarında ekonomik olarak az miktarda yer altı suyu bulundurabilir. Kretase yaşlı ofiyolitik melanji oluşturan kayalar şist, kalkışist, muskovit-klorit şist, serpantin, diyabaz ve doleritlerdir. Kayalarda iyi gelişmiş bir çatlak sisteminin bulunmaması nedeniyle birim hidrojeolojik açıdan geçirimsiz olarak kabul edilmektedir. Paleosen-Eosen yaşlı volkano-tortul istif konglomera, kumtaşı, kireçtaşı, marn, tuf ile ara katkılardan oluşmaktadır. Bu birim içerisinde her ne kadar konglomera ve kumtaşı gibi geçirimsizliği yüksek kayalar bulunsun da birimin etkin kayacı marn, tuf ve killi kireçtaşlarıdır. Bu nedenle birim hidrojeolojik açıdan geçirimsiz-az geçirimli olarak tanımlanmaktadır ve ekonomik olarak yer altı suyu içermemektedir. Çalışma alanında yüzeyleme veren en genç birimler kuvaterner yaşlı taraça, yamaç molozu ve alüvyonlar, gevşek, çimentolanmamış çakıl, kum ve siltlerden oluşmaktadır. Birim hidrojeolojik açıdan geçirimli olarak tanımlanmaktadır. Bu birimlerin gözeneklerinde ekonomik olarak yer altı suyu bulunabilir (Ersoy, 2020).

Proje alanı hidrolojik açıdan değerlendirildiğinde, Bolcardağına yağın kar ilkbaharda eriyerek yer altına süzölmekte ve ayrıca ilkbahar ve sonbaharda yağın yağmur suları da yine yer altına süzölerek yer altı suyunu oluşturmaktadır. Yer altı suyu Bolcardağı

formasyonuna ait rekristalize kireçtaşı ve mermerin kırık ve çatlaklarında depolanmaktadır. Ayrıca yer altına süzülen sular dere yataklarına yakın kotlarda kaynak boşalımını şeklinde yeryüzüne ulaşmakta ve erime mevsiminde de yüzeysel akışa geçerek mevsimsel akan dereleri oluşturmaktadır (Ersoy, 2020).

Proje alanını içerisine alan hidrolojik havzanın hidrojeoloji haritası Şekil 3.8’de verilmektedir.





Şekil 3.8. Hidrojeoloji haritası (Ersoy, 2020).

3.2 İşletme Yöntemi

Maden sahasında üretim yer altı üretim yöntemiyle yapılmaktadır. Üretim yönteminin seçiminde cevherin damar kalınlığı, eğimi, doğrultusu, derinliği yan kayacın özelliği gibi veriler dikkate alınmaktadır. Tüm bu özellikler dikkate alınarak bir üretim yöntemi seçilmektedir.

Cevher içinde açılan galeriler (6x6), (5x5), (4x4), (3x3,5) metrekare kesitlerinde olabilmektedir.

3.2.1 Dolgulu üretim sistemi (rambleli):

Bu sistemde, önce cevheri takiben taban galeri, yani ana nakliyat galerisi sürülmektedir. Daha sonra buradaki formasyonun sağlamlığına göre, 2-3 metre civarında topuk bırakılarak, bu galerinin üzerinde üretim panosu oluşturmak gayesiyle, alt galeriye paralel kat galerisi sürülür. Taban galeri ile kat galerisi 20-25 metre aralarla, insan ve cevher nakli ile havalandırma amacıyla açılan oluk veya kaçamaklarla birbirine irtibatlandırılır. Üretim panosunun hem doğal havalandırılmasının sağlanması, hem de taban galeriden başka, dışarıya ikinci bir insan kaçamak yolunun bağlanması amacıyla, bir üst kata veya yeryüzüne fereler açılarak üretim panosu hazırlık aşaması tamamlanır.

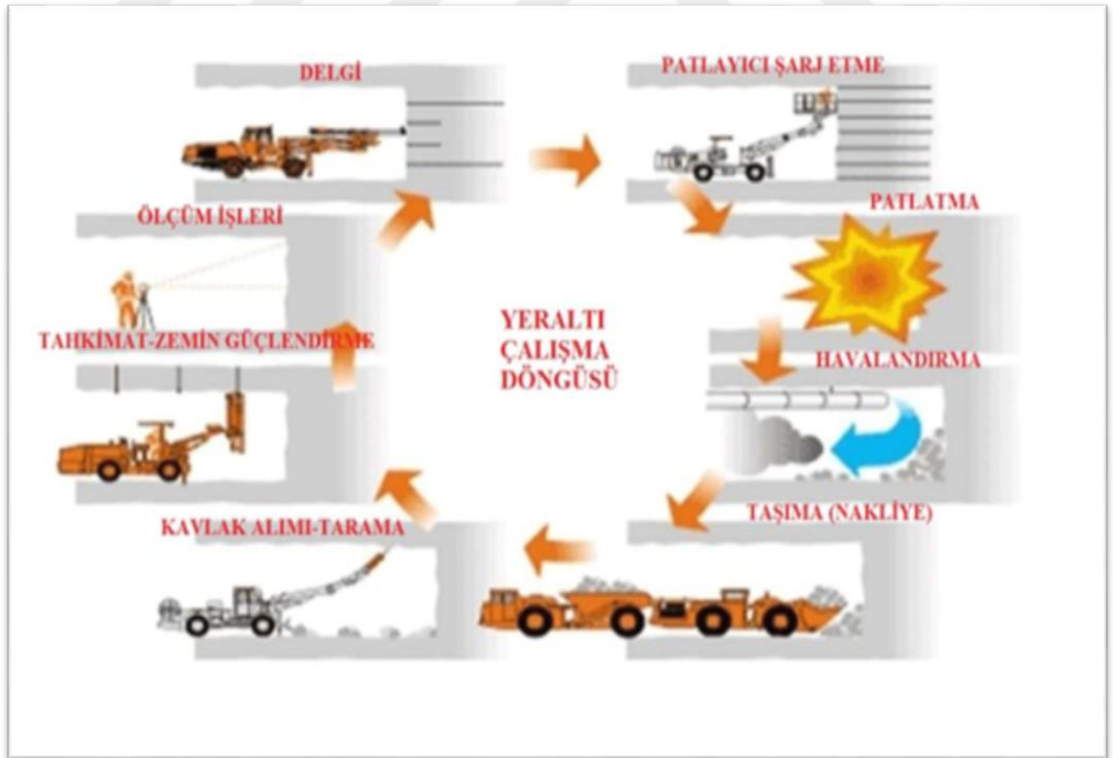
Üretim panosu teşkilinin tamamlanmasından sonra, pano tavanındaki cevhere delikler açılır, bu deliklere patlayıcı madde yerleştirilerek patlatılır. Patlatma sonunda koparılan cevherler oluklar vasıtasıyla alt galeriye kendi cazibesiyle indirilerek iş makineleri vasıtasıyla dışarı alınır. Bir sonraki aşamada ise yükselen tavanın tekrar normal çalışma konumuna getirilmesi ve açılan boşluğun güvenlik amacıyla doldurulması için, cevherin yan taşı patlayıcı vasıtasıyla kazılarak ayakaltına (üretim panosu tabanına) dolgu (ramble) yapılır (SYMMM, 2018).

3.2.2 Kes-doldur yöntemi

Cevherin şekil itibarıyla yumru tip olduğu yataklarda uygulanan bu yöntem, ekonomik açıdan olduğu kadar, iş güvenliği ve çalışma kolaylığı açısından da alternatif yöntemlere göre önemli üstünlüklere sahiptir (SYMMM, 2018). Yöntem de cevher yatağının taban seviyesinden başlayarak kontak zonundan veya orta kısmından sürülen

3*3,5 kesitli bir galeri vasıtasıyla cevherin uç noktasına kadar tahkimatlı şekilde ilerlenmektedir. Ulaşılan cevherin uç kısmından sağa veya sola dar kesitli galeri sürülerek cevherin yan kayacına kadar tahkimatlı şekilde ulaşılır ve bu bir dilim olarak adlandırılır. Üretilen bu dilim geriye doğru pasa dolgusuyla tavana kadar kilitlenerek doldurulur. Birinci dilimin bitmesinin ardından hemen yanından ikinci dilime başlanılır ve aynı şekilde ikinci dilimde üretilip doldurulur. Bu İşlem pano girişine kadar devam eder. Aynı seviyede tüm cevher üretildiğinde bir üst kot için yan kayaç içerisinde sürülen galeri yükseltilir ve aynı şekilde galerilerle üretime devam edilir. Bu işlem tavan taşına ulaşıncaya kadar devam eder. Çalışma bittikten sonra pano, hazırlık galerileri sürülürken ortaya çıkan pasa (Bolkar Mermeri) ile tamamen doldurulur.

İşletmede, 3m*3,5m, 4m *4m, 5m*5m, 6m*6m kesitlerinde galeriler sürülmektedir. Galeriler ve cevher üretim aynalarında kazı, sehpalı tabancalarla delik delinmesi ve patlatılması şeklinde yapılmaktadır. Çıkan malzeme yer altı kepçeleri ile yüklenerek desandrelere getirilmekte ve desandrelerden yer altı kepçeleri ile yer üstüne çıkarılmaktadır (Şekil 3.9) (SYMMM, 2018).



Şekil 3.9. İş akım şeması (SYMMM, 2018).



Şekil 3.10. Kireçtaşı (Bolcar mermeri) cevherleşmeler.



Şekil 3.11. Jumbo ile delme işlemi yapılması.

3.2.3 Püskürtme beton uygulaması

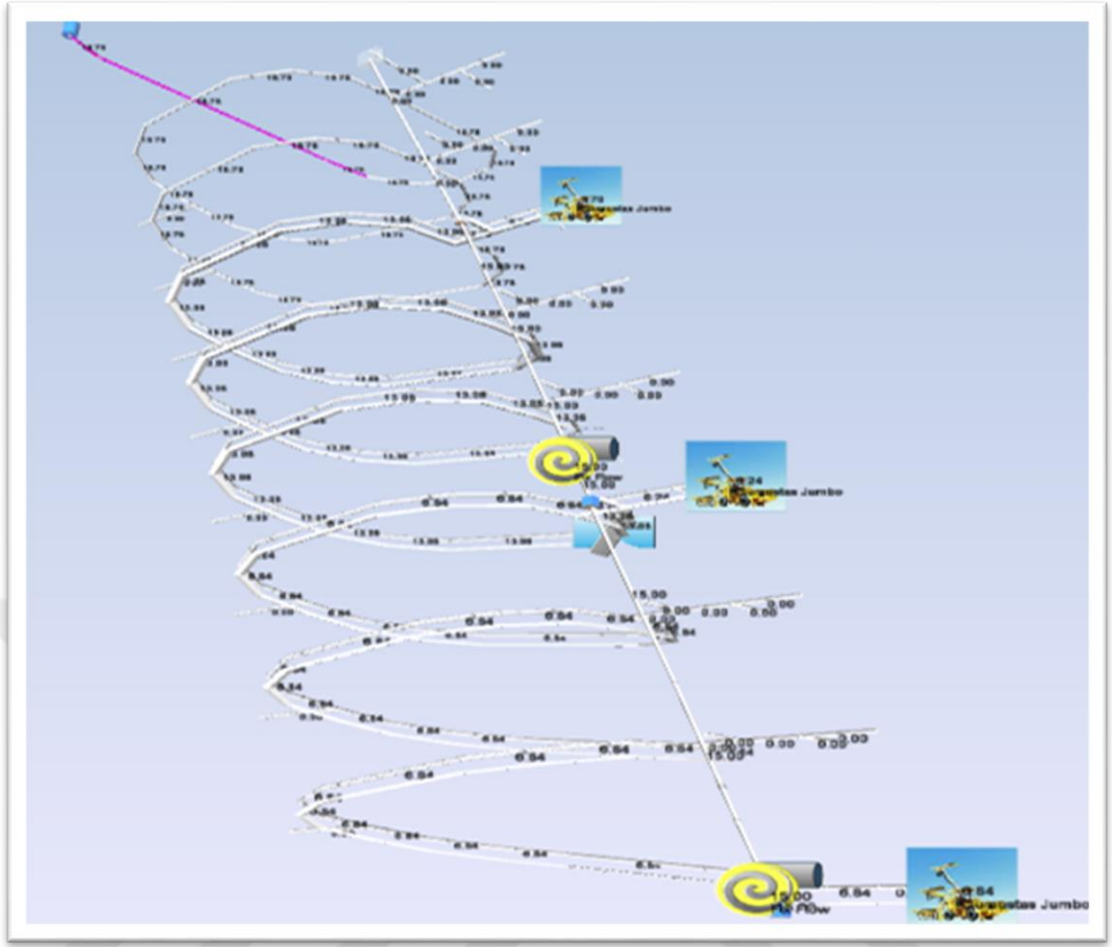
Yaş veya ıslak püskürtme betonu, karışım suyu ilave edildikten sonra uygulanan püskürtme betondur. Karışım yaş olarak hazırlanır. Çimento, agrega ve su ile karıştırıldıktan sonra basınçlı hava ile istenilen yüzeye püskürtülür (Şekil 3.12). Püskürtmeden önce yüzeye hasır çelik konur. Son zamanlarda ise beton içine ince çelik teller konarak “lifli beton” tekniğinden yararlanılmaktadır. Sonuçta betonun çekme dayanımı yükseltilmiş olur ve çelik tahkimat yapılmış tahkimat etrafındaki boşluklar doldurulur (Şekil 3.12) (SYMMM, 2018).



Şekil 3.12. Beton püskürtme uygulaması (SYMMM, 2018).

3.3 Su Durumu

Ocak içi ve diğer işler için kullanılan sular ise yeryüzünde bulunan su kaynaklarından karşılanmaktadır. Ocak içerisinde delik delme işlemi için ve sondaj çalışmalarında kullanılacak suları yaz aylarında dışarıdan pompalarla ocak içerideki tanklara su havuzlarına ve sondaj yapılan yerlere su basılmaktadır. İlkbahar aylarında ise eriyen kar sularının ocak içindeki su gelirlerinden gelen suları su havuzlarında yönlendirerek kullanılmaktadır. Ocak içerisinde gelen suları büyük çapta depolamak mümkün değildir. Ocak içerisindeki kayacın yapısının çok kırıklı ve çatlaklı olmasından dolayı gelen sular sızarak kaybolmaktadırlar. Günlük ocak içi su tüketimi yaklaşık 40.000 L'dir (Şekil 3.13) (SYMMM, 2018).



Şekil 3.13. Ocak içerisi su atımı (SYMMM, 2018).

Sülfür projesinde yer altı su seviyesine inildikçe karşılaşılabilecek olası su gelinine karşı 200 m³/saat debili suya göre atık su havuzları ve pompalar seçimi yapılmıştır bununla ilgili Pumpsim programı kullanılarak simülasyon yapılarak gerekli yerlere su havuzları ara istasyonlar boru çapları ve pompalar dizaynı yapılmıştır.

Yer altı ocağında sülfür projesiyle birlikte 1600 kotundan 800 kotuna inilmesi planlanmaktadır. Yer altı su seviyesinin altına doğru inildikçe su problemi oluşması beklenmektedir. Yer altı suyunun kaynağı, kar suları, yer altı suları, sızıntı suları, makinelerin sondaj deliklerini delmek için kullandığı sular, yağmur suları, sondajlardan, faylardan damla damla gelen sudur. pH-8 olmasının nedeni, CaCO₃ yan kayaç kireçtaşı (Bolkar mermeri) suyun süzülümü sırasında CaCO₃'ı eritmesiyle kireçli malzeme suyun pH'nı yükseltmektedir. Bölgenin normal pH'da yüksektir.



Şekil 3.14. Ocak içerisindeki çöktürme havuzlarından görünüm.

3.4 Arıtım Çalışmaları

3.4.1 Jar testi

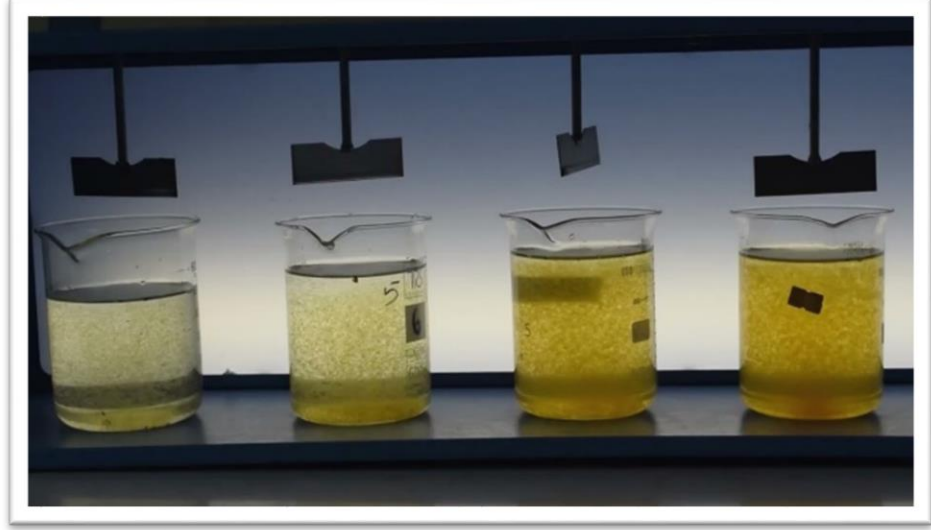
Jar testi arıtılabilirlik çalışmalarında kullanılan yaygın bir test olmakla birlikte, testin amacı, kullanılan koagülant türü, kirleticiler gibi faktörlere bağlı olarak test şartlarında bazen kısmi farklılıklar olabilmektedir (ASTM, 1995; Driscoll ve Kartik, 2008; Eckenfelder vd., 2009). Bu çalışmada test aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.

- Atık suyu temsil edecek şekilde örnekleme yapılır.
- Ham atık suyun ilgili askıda katı madde AKM, KOİ, BOİ, katyon, anyon, pH, iletkenlik ve alkalinite gibi parametreleri ölçülür.
- Test örneği öncelikle gerçek işletme şartlarını sağlayacak bir pH değerine ayarlanır.
- Test kimyasalları tekil ya da çoklu kombinezonlarda düşükten yüksek derişimlere doğru gerçek ölçekli işletim şartları dikkate alınarak eklenir.
- Test beheri test kimyasallarının reaksiyonunu hızlı bir şekilde başlatılması için $G=1500-5000 \text{ s}^{-1}$ değerleri sağlanacak şekilde karıştırılır.
- Kimyasal çökeleklerin veya koagüle olan katı maddelerin flokleşması için test ortamı $G=10-75 \text{ s}^{-1}$ değerlerinde karıştırılır.

- Arıtılmış suyu oluşan çökelekler veya floklardan ayırmak için 30-60 dakika arası çöktürme ya da daha kısa bir sürede filtrasyon işlemi uygulanır.
- Elde edilen arıtılmış suda ilgili analizler gerçekleştirilir.

Prosedür Eckenfelder vd. (2009) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

- 200 ml örnek kullanılarak nötrale yakın pH değerlerinde artan dozlarda koagülant ilave edilir, her ilaveden sonra 1 dakika hızlı karıştırma, ardından 3 dakika yavaş karıştırma gerçekleştirilir. Görünür bir flok oluşuncaya kadar bu işleme devam edilerek sonraki adımda kullanılacak doz belirlenir.
- Buradan elde edilen doz kullanılarak, en az 6 adet 1000 mL örnek beherlere konur.
- Kullanılan koagülantın türüne de bağlı olarak (koagülantların işlev gösterdiği farklı tipik pH aralıkları vardır) mümkün olan en fazla sayıda asit veya baz ilavesi ile farklı pH değerlerinde (pH=4,00, 5,00, 6,00, 7,00, 8,00, 9,00) örnekler hazırlanır. Koagülant ilavesinden sonra pH'ın istenilen pH'da sağlanması için tamponlama ajanı (Sodyum bikarbonat gibi) ilave edilebilir.
- 3 dakika hızlı karıştırmayı (100 rpm 1 dakika (Spellman, 2020) takiben 12 dakika yavaş karıştırma (floklaşma) (30 rpm 20 dakika (Spellman, 2020) uygulanır.
- Floklar çöktükten sonra (20-30 dakika (Spellman, 2020) ya da filtrasyonla elde edilen duru suda giderimi araştırılan parametreler analizlenir.
- pH a karşı giderilen parametre grafiğe geçirilir ve optimum pH değeri grafikten bulunur.
- Optimum pH değerinde farklı koagülant dozlarında jar testleri tekrarlanır.
- Koagülant dozuna karşı % giderim grafiğe geçirilerek optimum koagülant dozu bulunur.
- Eğer floklaşma yardımcı olarak polielektrolit kullanılacaksa testler tekrarlanır, polielektrolitin farklı dozları hızlı karıştırma adımından sonra ilave edilir.



Şekil 3.15. Jar testi düzeneği.

İçme sularında ve atık sularda kolloid halde maddeler istenmez. Kolloid maddeler ($1\mu\text{m}$, $0.1\mu\text{m}$) çöktürülerek veya filtre edilerek uzaklaştırılmazlar bu nedenle, bu tür kolloidlerin sudan çöktürülme ile uzaklaştırılması için kimyasal maddelere gerek duyulmaktadır. Bu arıtım yönteminde kullanılan kimyasal maddelere koagülant adı verilmektedir. Koagülantlar suya ilave edildiğinde kolloidal taneciklerin stabiliteelerini değişik şekillerde bozarlar ve bir araya gelerek büyümelerini kolaylaştırırlar. Bu şekilde bir araya gelen taneciklerin boyutları büyür ve daha kolay çökebilir bir yapı kazanır. Suya koagülant madde ilavesi işlemine ise koagülasyon adı verilmektir. Koagülasyondan sonraki aşama, su içerisinde stabiliteeleri bozulmuş olan taneciklerin bir araya gelerek flok adı verilen daha büyük yapılara dönüştürülmesi için birbirleriyle temas ettirilme kısmıdır. Bu işlem suyun yavaş karıştırması ile gerçekleştirilir ve flokülasyon olarak adlandırılır. Kolloidlerin stabiliteelerinin bozulması aşağıdaki 4 şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

- Çift tabakanın sıkıştırılması
- Adsorbsiyon ve yük nötralizasyonu
- Çökelek içine hapsedme
- Adsorbsiyon ve tanecik arasında köprü kurma

Zeta Potansiyeli: Kolloidler bulundukları sıvı ortam içinde daima bir elektrik yüküne sahiptirler. Partikül yüzeyinde zıt iyonların konsantrasyonu çok büyüktür. Yüzeyden uzaklaştıkça zıt iyon derişimi azalır. Bu yüzden tanecik yüzeyi ile sıvı çözelti arasında

bir elektriksel potansiyel oluşur. Tanecik yüzeydeki bu potansiyelle zeta potansiyeli denir. Bu potansiyel kolloid süspansiyonun kararlılığı ile ilgili bir potansiyeldir. Kolloidlerin uzun süre yapılarını korumaları, dengeli olduklarını gösterir. Bu dengeli hal kolloidlerin çöktürülmesi açısından istenmeyen bir durumdur (Anonim, 2016).

Koagülasyon flokülasyon çalışmalarında kullanılan kimyasalların listesi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

3.4.2 Kullanılan kimyasallar

Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasallar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan kimyasallar.

Sıra	Kimyasal	Marka	Açıklama
1	Alüminyum Sülfat (Alum) $Al_2(SO_4)_3$	LAPİS	İçerik >% 99, Yoğunluk: 1,65 – 1,7 g/cm ³ , su arıtma kimyasallarında, maddenin sentez olarak bir proses kimyasalı olarak kullanılmasında, Ara madde olarak kullanılmasında, pH düzenleyiciler, topaklayıcılar, çöktürücüler, nötralizasyon ajanları gibi ürünlerde kullanılır.
2	Demir Sülfat $FeSO_4$	NES Madencilik	İçerik % 92, Flotasyon madenciliği için su arıtma uygulamalarında koagülant olarak kullanılır.
3	Flopam AN 923 SH	SNF	Bağıl yoğunluk: 0,6- 0,9 (Suda), Anyonik polimer kütle yoğunluğu : 0,80
4	Sülfürik Asit	Hicri Ercili	% 98 yoğunluk: 1,835 g / cm ³ pH ayarlayıcı olarak kullanılmaktadır.
5	Sodyum Hidroksit NaOH	Eti Soda	pH düzenleyici olarak kullanılmaktadır.

Ticari olarak laboratuvar kullanımına uygun olarak satın alınan sülfürik asidin normalitesi aşağıdaki hesaplanmıştır. Ticari olarak satılan sülfürik asit şişesinin

üzerinde asidin yoğunluğu ($d=1,84 \text{ g / cm}^3$) ve ağırlıkça yüzdesi (% 98) dikkate alınarak aşağıdaki hesap yapılabilir.

1 N H_2SO_4 çözeltisi hazırlama;

1000 mL (cm^3) H_2SO_4 çözeltisi için aşağıdaki gibi hesaplama yapılmıştır;

$$1000 \text{ mL } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ çözelti} \cdot 1,84 \frac{\text{g } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ çözelti}}{\text{mL } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ çözelti}} = 1840 \text{ g } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ çözelti}$$

$$1840 \text{ g } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ çözelti} \cdot \frac{98 \text{ H}_2\text{SO}_4}{100 \text{ g } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ çözelti}} = 1803,2 \text{ g } \text{H}_2\text{SO}_4$$

$$\begin{aligned} \text{Normalite} &= \frac{\text{eks}}{L} = \frac{\text{Ağırlık/ek ağırlığı}}{L} = \frac{\text{Ağırlık}/(\text{mol ağı/td})}{L} \\ &= \frac{\left(\frac{1803,2}{98 \text{ g/mol} / 2}\right)}{1L} = 36,8 \text{ N } \text{H}_2\text{SO}_4 \end{aligned}$$

Eğer 250 mL 1 N H_2SO_4 çözeltisi hazırlamak istersek;

$$N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2$$

$$1N \cdot 250 \text{ mL} = 36,8 \text{ N} \cdot V_2$$

$$V_2 = 6,8 \text{ mL}$$

6,8 mL H_2SO_4 derişik sülfürik asit çözeltisinden (36,8 N) alınarak 250 mL'ye saf su ile seyreltilmiştir.

1 N NaOH hazırlanması;

$$\text{Normalite} = \frac{\text{eks}}{L} = \frac{\text{Ağırlık/ek ağırlığı}}{L} = \frac{\text{Ağırlık}/(\text{mol ağı/td})}{L}$$

$$1 \text{ N} = \frac{\left(\frac{\text{Ağırlık}}{40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} / 1}\right)}{0,250 \text{ L}}$$

$$\text{Ağırlık} = 10 \text{ g}$$

10 g saf NaOH tartılarak 250 mL içerisinde saf su ile çözülmüştür.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Atık Su Karakterizasyonu

Maden sahasında atık suyun olduğu galerilerden elde edilen örneklerde gerçekleştirilen analizlerin sonuçları Çizelge 4.1’de verilmektedir. Alınan örneklerin görüntüleri Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Kaynak noktasında oluşan suların özellikleri ise Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Galerilerin içerisinde son çöktürme havuzunda oluşan atık suyun özellikleri.

Parametre Birim	09.12. 2020	17.06. 2021	10.12. 2021	11.04. 2022	Stand. sapma	Ort. değer	Bu çalışma 15.04. 2022	SKKY Tablo7.1 kompozit numune 2 saat
pH	8,45	8,33	8,29	7,98	0,17	8,3	7,74	6-9
KOİ (mg/L)	89	137	505	206	162	234,3	268	80
AKM (mg/L)	1591	4972	1154	6811	3632	2356	4961	70
Bakır (mg/L)	0,005	0,0039	<0,002	0,0082	-	-	<0,002	5
Civa (mg/L)	0,0007	<0,0005	<0,0005	<0,0005	-	-	<0,000 5	-
Çinko (mg/L)	0,066	0,140	0,078	<0,001	0,1	0,03	<0,001	3
Demir (mg/L)	0,128	0,032	0,274	0,042	0,1	0,10	0,783	3
Kadmiyum (mg/L)	0,00008	<0,001	0,0036	<0,001	0,00184	-	<0,001	-
Toplam krom (mg/L)	0,0005	0,012	0,0029	0,0059	0,005	0,004	0,031	2
Kurşun (mg/L)	0,0005	<0,005	0,007	0,009	0,005	0,003	0,027	0,5
Serbest kükürt (mg/L)	-	76,35	15,42	10,33	34	29	44,80	15
Toplam Siyanür (mg/L)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	-	<0,005	<0,005	0,1
Renk (Pt-Co)	0,5	13	83	<5	-	-	21	280
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	<4	<4	<4	-	<4	-	4

Çizelge 4.2. Galerilerde kaynak noktasında oluşan atık suyun özellikleri.

Parametre- Birim	09.12.2020	17.06.2021	10.12.2021	Standart sapma	Ortalama değer	SKKY Tablo7.1 kompozit numune 2 saat
pH	8,13	7,81	8,13	0,15	8,02	6-9
KOİ (mg/L)	<10	<10	10	-	10	80
AKM (mg/L)	28,5	-	28,5	-	28,5	70
Bakır (mg/L)	0,0005	0,0022	0,5	0,23	0,17	5
Cıva (mg/L)	0,00007	<0,0005	0,07	0,02	0,03	-
Çinko (mg/L)	0,001	0,0021	<0,001	0,0005	0,001	3
Demir (mg/L)	0,021	0,019	<0,01	0,016	0,005	3
Kadmiyum (mg/L)	0,00008	<0,001	<0,001	0,0006	0,0004	-
Toplam Krom (mg/L)	0,0005	0,0099	<0,002	0,004	0,004	2
Kurşun (mg/L)	0,0005	<0,005	<0,005	0,0035	0,0021	0.5
Serbest kükürt (mg/L)	-	28,74	15,78	22,6	6,48	15
Toplam siyanür (mg/L)	<0,005	<0,005	<0,005	-	-	0,1
Renk (Pt-Co)	0,5	-	<5	0,5	-	280
Balık Biyodeneyi (ZSF)	-	-	4	-	-	4



Şekil 4.1. Galeri içerisinde çöktürme havuzundan alınan su numunesi.

Elazığ ilinde bir maden sahası galeri suyunun Han Çayına olası etkisi çalışmasında galeriden deşarj edilen suyun karakterizasyonu belirlenmeye çalışılmış, SKKY Tablo 7.1’de belirtilen parametrelere göre izleme çalışması yapılmıştır. İzleme çalışmasında galeri suyunun pH, AKM ve Krom değerlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Galeri suyunun pH değeri 12, AKM konsantrasyonu 188 mg/L, en yüksek krom konsantrasyonu ise 5,2 mg/L olarak tespit edilmiştir. Yapmış olduğumuz tez çalışmamızda ise galeri ocağından alınan su numunelerinde pH değeri 8 civarında olup, SKKY Tablo 7.1’de belirtilen (6-9) sınır değeri sağlamaktadır. AKM konsantrasyonu yapmış olduğumuz tez çalışmasında da SKKY Tablo 7.1’de belirtilen (70 mg/L) sınır değer üzerinde kalmakta olup, benzer özellik göstermektedir. Yapmış olduğumuz tez çalışmasında yapılan analizlerde Krom değerinin SKKY Tablo 7.1’de belirtilen (2 mg/L) sınır değerinin altında kaldığı görülmekte olup, Krom parametresi yönünden benzerlik göstermemektedir. Yapmış olduğumuz tez çalışmasında KOI değeri SKKY Tablo 7.1’de belirtilen (80 mg/L) sınır değerinin üzerinde kalmakta olup, KOI parametresi yönünden daha önce yapılan tez çalışmasından farklılık göstermektedir. Cevher çıkarımının yapıldığı maden ocaklarındaki jeolojik formasyonların farklı olmasından dolayı oluşan drenaj sularının karakterizasyonu farklı olmaktadır.

Bölgenin jeolojik yapısından dolayı kireçtaşı (Bolkar mermeri) olmasından dolayı atık su özellikleriyle kıyaslandığında tipik asit kaya maden drenajı özelliği taşımamaktadır.

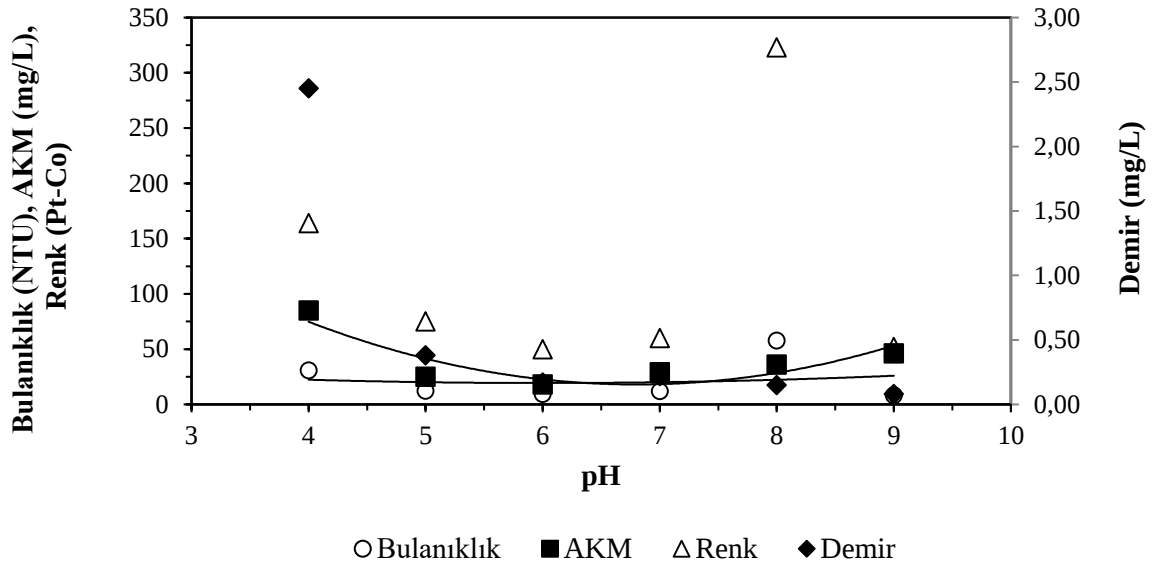
4.2 Alüminyum Sülfat Arıtım Çalışmaları

Maden ocağından son çöktürme havuzundan alınan su numunelerinde optimum koagülantın belirlenmesi amacıyla jar testleri gerçekleştirilmiştir (Ek-1). Öncelikle stok çözeltisi hazırlanmıştır. 100 mg alüminyum sülfat hassas terazide tartılarak, 50 mL’lik balon jöjeye saf su eklenerek 2 g/L’lik alüminyum sülfat stok çözeltisi hazırlanmıştır. 600 mL’lik behere 200 mL’lik atık su konularak pH metre ile atık suyun pH değeri 7,80 olarak ölçülmüştür. 200 mL örnek kullanılarak nötrale yakın pH değerlerinde artan dozlarda koagülant ilave edilmiştir. Her ilaveden sonra 1 dakika 100 rpm’de hızlı karıştırma, ardından 3 dakika 30 rpm’de yavaş karıştırma gerçekleştirilmiştir. Görünür bir flok oluşuncaya kadar bu işleme devam edilerek 60 dakika çöktürmeye bırakılmıştır. Sonraki adımda kullanılacak kaba koagülant alüminyum sülfat dozu 20 mg/L olarak belirlenmiştir.

Koagülant dozu 20 mg/L alüminyum sülfat olacak şekilde, pH'ı 7,80 olan atık suya 1N'lik sülfürik asit ve 1N'lik sodyum hidroksit çözeltilerinden ilave edilerek pH'ları sırasıyla 4,00, 5,00, 6,00, 7,00, 8,00 ve 9,00 olacak şekilde 400'er mL'lik örnekler hazırlanmıştır. Örnekler koagülant ilave edildikten sonra 1 dakika 100 rpm'de hızlı karıştırma, ardından 3 dakika 30 rpm'de yavaş karıştırma gerçekleştirilmiş, daha sonra 60 dakika çöktürmeye bırakılmıştır. Çöktürme işleminden sonra üst duru sudan alınan örneklerde bulanıklık, AKM, KOI, renk, ve demir parametreleri analizi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3 ve Şekil 4.2'gösterilmektedir. Sonraki adımda optimum pH düzeyi belirlenir. Optimum pH değeri 9 olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.3 ve Şekil 4.2'de görüleceği üzere farklı pH değerlerinde farklı bulanıklık değerleri elde edilmiştir. pH 9'da bulanıklık değeri 8,2 NTU ölçülmüştür. Ekonomik olarak pH'ın değişmesi maliyetli olacağından ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 7.1 deşarj standartlarını pH 9'da sağladığı görülmekte olup, optimum pH değeri 9 olarak belirlenmiştir. Alum ile yapılan koagülasyon çalışmalarında uygun pH aralığı yaklaşık olarak 5,5-7,7 arası, bazı durumlarda ise 5-9 arası bildirilmektedir.

Çizelge 4.3. Alüminyum sülfat optimum pH değerinin belirlenmesi.

Behar No	pH	Renk (Pt-Co)	Demir (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	KOI (mg/L)
1	4	164	2,45	85	30,9	<10
2	5	75	0,380	25	12,3	<10
3	6	50	0,170	18	9,20	<10
4	7	60	0,220	29	11,9	<10
5	8	323	0,150	36	57,6	<10
6	9	52	0,080	46	8,20	<10



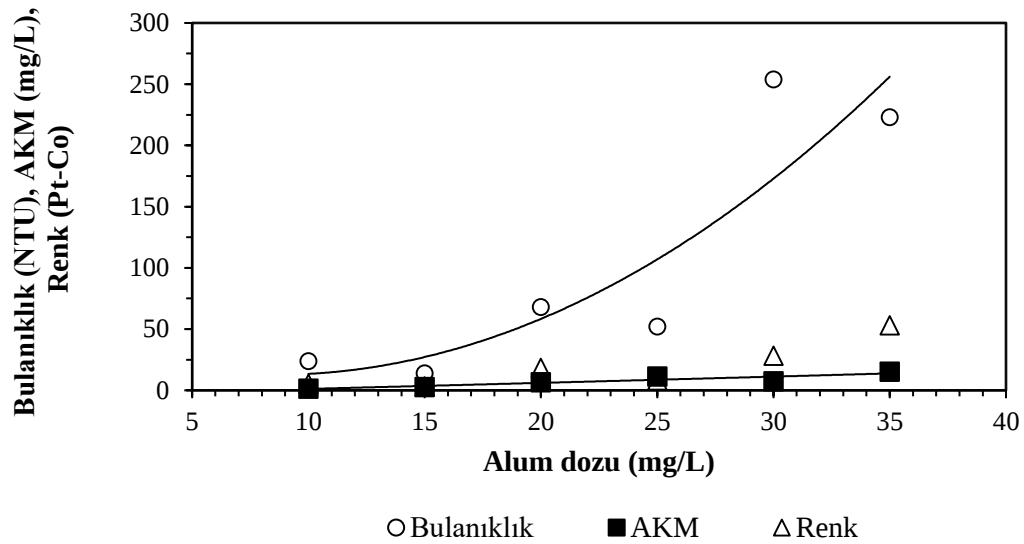
Şekil 4.2. Alüminyum ile farklı pH değerlerinde jar testi sonuçları.

Optimum koagülant dozunun belirlenmesi amacıyla 6 adet behere 400 mL atık su numunesinden ilave edilmiştir. 6 adet atık su numunesinin pH'ı 9'a ayarlanmıştır. Suyun pH'ı 7,80 'lerde olduğu için pH ayarlamak için hazırlanan 1N'lik sülfürik asit ve 1N'lik sodyum hidroksit çözeltilerinden ilave edilerek pH'lar ayarlanmıştır. 400 mL örnek kullanılarak 6 adet atık su numunesinde belirtilen pH 9'a ayarlanarak artan dozlarda sırasıyla; 10,00, 15,00, 20,00, 25,00, 30,00 ve 35,00 mg/L koagülant ilave edilmiştir. 1 dakika 100 rpm'de hızlı karıştırma, ardından 3 dakika 30 rpm'de yavaş karıştırma gerçekleştirilmiş olup, görünür bir flok oluşuncaya kadar bu işleme devam edilerek 60 dakika çöktürmeye bırakılmıştır. Sonraki adımda optimum koagülant dozu belirlenmiştir.

Çizelge 4.4 ve **Şekil 4.3'**de görüleceği üzere 15 mg/L koagülant dozunda SKKY Tablo 7.1'de verilen deşarj standartlarını sağlamakta olup, 15 mg/L koagülant dozunda renk 3,33 Pt-Co, bulanıklık 14 NTU olarak ölçülmüştür. Optimum alüminyum sülfat için koagülant dozu 15 mg/L olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Optimum alüminyum sülfat koagülant dozunun belirlenmesi.

Beher No	pH	Koagülant Dozu (mg/L)	Renk (Pt-Co)	Demir (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	KOİ (mg/L)
1	9	10	5,38	<0,01	1,33	24	<10
2	9	15	3,33	<0,01	2,66	14	<10
3	9	20	18,5	<0,01	6,66	68	<10
4	9	25	8,07	<0,01	11,3	52	<10
5	9	30	28,3	<0,01	7,33	254	<10
6	9	35	53,1	<0,01	15,3	223	<10



Şekil 4.3. Farklı Alum dozları parametre değişimleri.



Şekil 4.4. Jar testi düzeneği arıtım çalışmaları örnekler.

4.3 Demir Sülfat Arıtım Çalışmaları

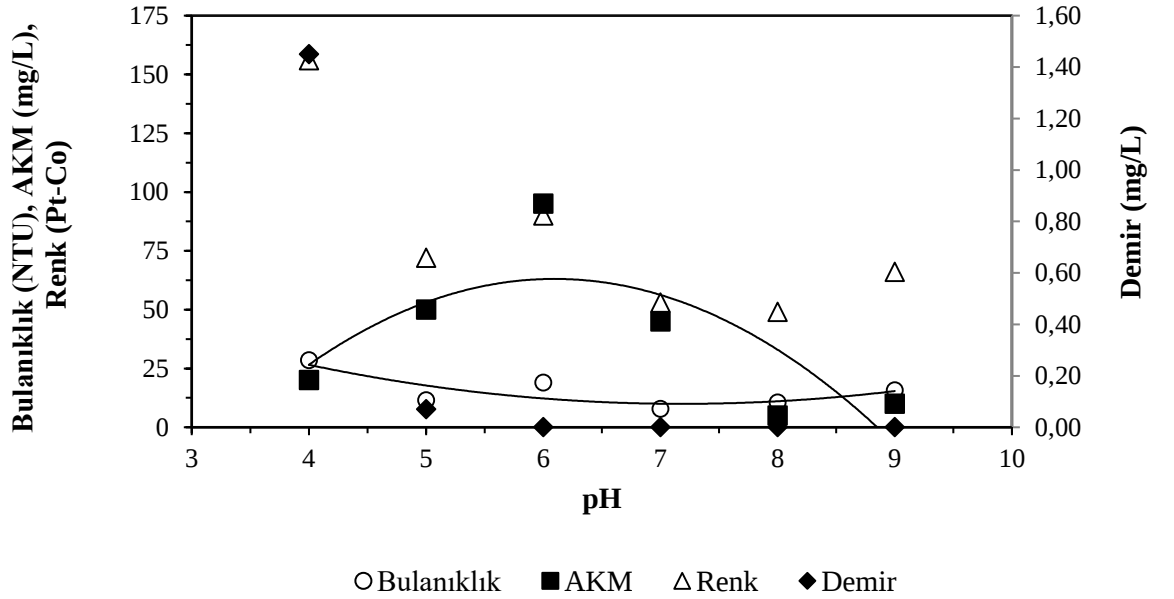
Maden ocağından son çöktürme havuzundan alınan su numunelerinde optimum koagülantın belirlenmesi amacıyla jar testleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle stok çözeltisi hazırlanmıştır. 100 mg demir sülfat hassas terazide tartılarak, 50 mL’lik balon jojeye saf su eklenerek 2 g/L’lik demir sülfat stok çözeltisi hazırlanmıştır. 600 mL’lik behere 200 mL’lik atık su konularak pH metre ile atık suyun pH değeri 7,80 olarak ölçülmüştür. 200 mL örnek kullanılarak nötrale yakın pH değerlerinde artan dozlarda koagülant ilave edilmiştir. Her ilaveden sonra 1 dakika 100 rpm’de hızlı karıştırma, ardından 3 dakika 30 rpm’de yavaş karıştırma gerçekleştirilmiştir. Görünür bir flok oluşuncaya kadar bu işleme devam edilerek 60 dakika çöktürmeye bırakılmıştır. Sonraki adımda kullanılacak kaba koagülant demir sülfat dozu 40 mg/L olarak belirlenmiştir.

Koagülant dozu 40 mg/L olacak şekilde, pH’ı 7,80 olan atık suya 1N’lik sülfürik asit ve 1N’lik sodyum hidroksit çözeltilerinden ilave edilerek pH’ları sırasıyla 4,00, 5,00 6,00, 7,00, 8,00 ve 9,00 olacak şekilde 400’er mL’lik örnekler hazırlanmıştır. Örneklerle koagülant ilave edildikten sonra 1 dakika 100 rpm’de hızlı karıştırma, ardından 3 dakika 30 rpm’de yavaş karıştırma gerçekleştirilmiş daha sonra 60 dakika çökeltmeye bırakılmıştır. Çöktürme işleminden sonra üst duru sudan alınan örneklerde bulanıklık, AKM, KOI, renk ve demir parametreleri analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5’de gösterilmektedir. Sonraki adımda optimum pH

düzeyi belirlenmiştir. Optimum pH değeri 8 olarak belirlenmiştir. pH 8’de renk değeri 49 Pt-Co, AKM değeri 5 mg/L, bulanıklık değeri 10,5 NTU ölçülmüştür. Suyun normal pH değeri de 7,80 $\approx$ 8 civarlarında olduğu ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo7.1’deki deşarj standartları aralığına (6-9) uygun olduğu için, optimum pH değeri 8 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. Demir sülfat optimum pH değerinin belirlenmesi.

Behar No	pH	Renk (Pt-Co)	Demir (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	KOİ (mg/L)
1	4	156	1,45	20	28,5	<10
2	5	72	0,07	50	11,5	17,6
3	6	90	<0.01	95	19,0	<10
4	7	53	<0.01	45	7,84	<10
5	8	49	<0.01	5	10,5	<10
6	9	66	<0.01	10	15,7	<10



Şekil 4.5. Demir sülfat ile farklı pH değerlerinde jar testi sonuçları.

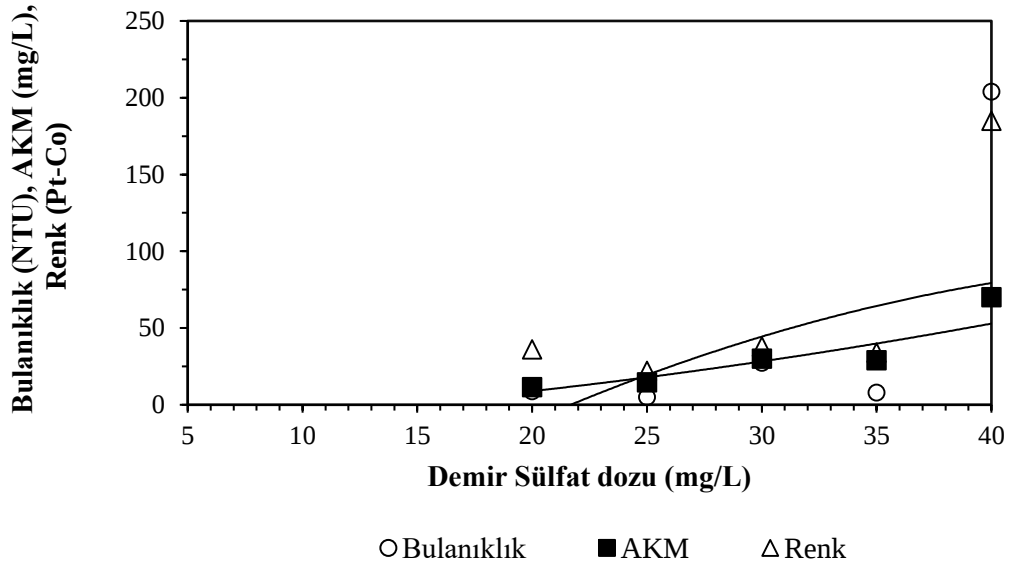
Optimum koagülant dozunun belirlenmesi amacıyla 6 adet behere 400 mL atık su numunesinden ilave edilmiştir. 6 adet atık su numunesinin pH'ı 8'e ayarlanmıştır. Suyun pH'ı 7,80 'lerde olduğu için pH ayarlamak için hazırlanan 1N'lik sülfürik asit ve 1N'lik sodyum hidroksit çözeltilerinden ilave edilerek pH'lar ayarlanmıştır. 400 mL örnek kullanılarak 6 adet atık su numunesinde belirtilen pH 8'e ayarlanarak artan dozlarda sırasıyla; 20,00, 25,00, 30,00, 35,00 ve 40,00 mg/L koagülant ilave edilmiştir. 1 dakika 100 rpm'de hızlı karıştırma, ardından 3 dakika 30 rpm'de yavaş

karıştırma gerçekleştirilmiş olup, görünür bir flok oluşuncaya kadar bu işleme devam edilerek 60 dakika çöktürmeye bırakılmıştır. Sonraki adımda optimum koagülant dozu belirlenmiştir. Sonuçlar .

Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6’da gösterilmektedir. Çöktürme işleminden sonra üst duru sudan alınan örneklerde bulanıklık, AKM, KOİ, renk ve demir parametreleri analizleri gerçekleştirilmiştir. Optimum demir sülfat için koagülant dozu 25 mg/L olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Optimum demir sülfat koagülant dozunun belirlenmesi.

Beher No	pH	Koagülant dozu (mg/L)	Renk (Pt-Co)	Demir (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	KOİ (mg/L)
1	8	20	36	<0,01	11,5	8,75	<10
2	8	25	22	<0,01	14,5	5,03	<10
3	8	30	38	<0,01	30	27,4	<10
4	8	35	34	<0,01	29	7,84	<10
5	8	40	185	<0,01	70	204	<10
6	8	45	184	<0,01	60	33,1	<10



Şekil 4.6. Farklı demir sülfat dozları parametre değişimleri.

4.4 Anyonik Polimer Arıtım Çalışmaları

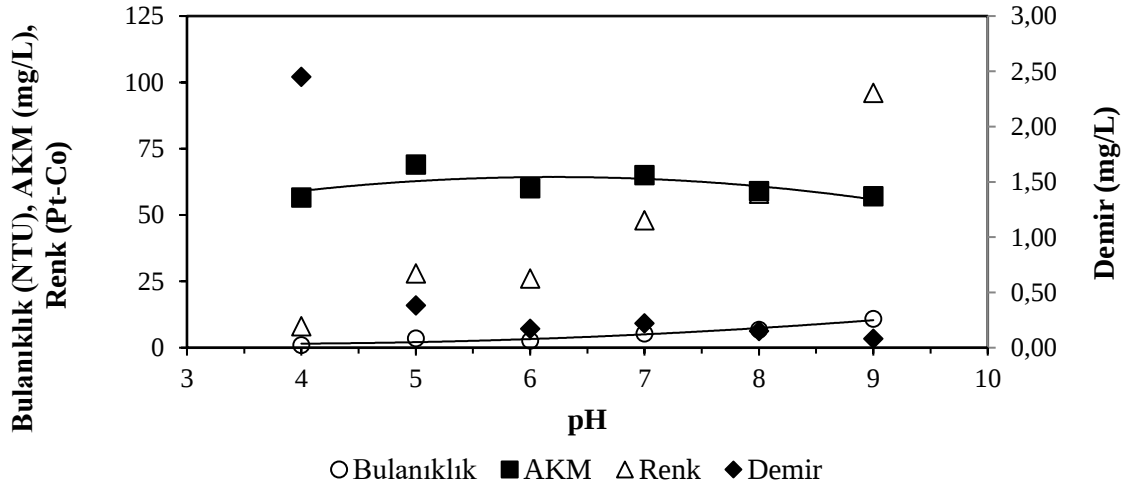
Maden ocağından son çöktürme havuzundan alınan su numunelerinde optimum koagülantın belirlenmesi amacıyla jar testleri gerçekleştirilmiştir. Öncelikle stok çözeltisi hazırlanmıştır. 0,20 mg anyonik polimer hassas terazide tartılarak, 100 mL'lik balon jöjeye saf su eklenerek 0,40 g/L'lik anyonik polimer stok çözeltisi hazırlanmıştır. 600 mL'lik behere 200 mL'lik atık su konularak pH metre ile atık suyun pH değeri 7,80 olarak ölçülmüştür. 200 mL örnek kullanılarak nötrale yakın pH değerlerinde artan dozlarda koagülant ilave edilmiştir. Her ilaveden sonra 1 dakika 100 rpm'de hızlı karıştırma, ardından 3 dakika 30 rpm'de yavaş karıştırma gerçekleştirilmiştir. Görünür bir flok oluşuncaya kadar bu işleme devam edilerek 60 dakika çöktürmeye bırakılmıştır. Sonraki adımda kullanılacak kaba koagülant anyonik polimer dozu 0,02 mg/L olarak belirlenmiştir.

Koagülant dozu 0,02 mg/L olacak şekilde, pH'ı 7,80'lerde olan atık suya 1N'lik sülfürik asit ve 1N'lik sodyum hidroksit çözeltilerinden ilave edilerek pH'ları sırasıyla 4,00, 5,00, 6,00, 7,00, 8,00 ve 9,00 olacak şekilde 400'er mL'lik örnekler hazırlanmıştır. Örnekler koagülant eklendikten sonra numunesinde belirtilen pH değerlerinde artan dozlarda koagülant ilave edilmiştir, her ilaveden sonra 1 dakika 100 rpm'de hızlı karıştırma, ardından 3 dakika 30 rpm'de yavaş karıştırma gerçekleştirilmiş daha sonra 60 dakika çöktürmeye bırakılmıştır. Sonraki adımda optimum pH değeri 4

olarak belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7’de gösterilmektedir. pH 4’de renk değeri 8 Pt-Co, AKM değeri 56,5 mg/L, bulanıklık değeri 0,911 NTU ölçülmüştür. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 7.1 deşarj standartlarını pH 4’de sağladığı görülmekte olup, optimum pH değeri 4 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Anyonik polimer optimum pH değerinin belirlenmesi.

Behir No	pH	Renk (Pt-Co)	Demir (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	KOİ (mg/L)
1	4	8	<0,01	56,5	0,911	23,8
2	5	28	<0,01	69	3,39	18,8
3	6	26	<0,01	60	2,61	14,8
4	7	48	<0,01	65	5,3	24,8
5	8	58	<0,01	59	6,65	11,9
6	9	96	<0,01	57	10,8	21,8



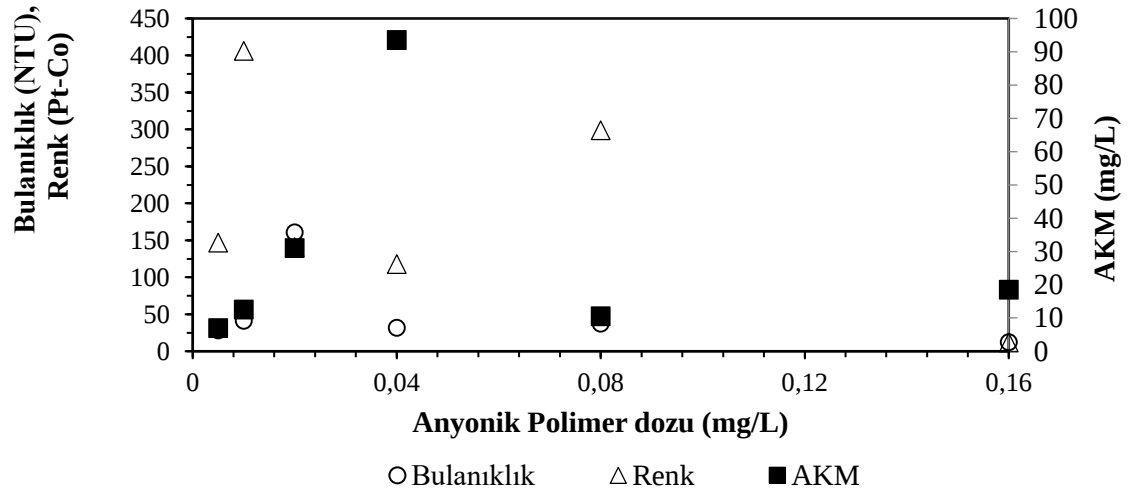
Şekil 4.7. Anyonik polimer ile farklı pH değerlerinde jar testi sonuçları.

Optimum koagülant dozunun belirlenmesi amacıyla 6 adet behere 400 mL atık su numunesinden ilave edilir. 6 adet atık su numunesinin pH 4’e ayarlanmıştır. Suyun pH’ı 7,80 ‘lerde olduğu için pH ayarlamak için hazırlanan 1N’lik sülfürik asit ve 1N’lik sodyum hidroksit çözeltilerinden ilave edilerek pH’lar ayarlanmıştır. 400 mL örnek kullanılarak 6 adet atık su numunesinde belirtilen pH 4’e ayarlanarak artan dozlarda sırasıyla 0,005, 0,01, 0,02, 0,04, 0,08 ve 0,16 mg/L koagülant ilave edilmiştir. 1 dakika 100 rpm’de hızlı karıştırma, ardından 3 dakika 30 rpm’de yavaş karıştırma gerçekleştirilmiş olup, görünür bir flock oluşuncaya kadar bu işleme devam edilerek 60 dakika çöktürmeye bırakılmıştır. Sonraki adımda optimum koagülant dozu belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.8 ve Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Çöktürme

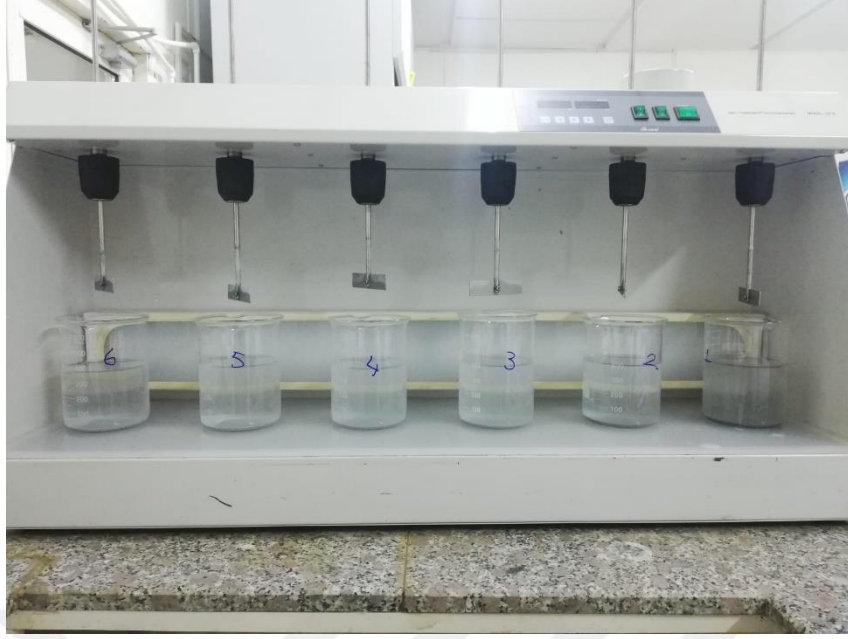
işleminden sonra üst duru sudan alınan örneklerde bulanıklık, AKM, KOİ, renk ve demir parametreleri analizleri gerçekleştirilmiştir. Optimum koagülant dozu 0.160 mg/L olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Optimum anyonik polimer koagülant dozunun belirlenmesi.

Beher No	pH	Koagülant Dozu (mg/L)	Renk (Pt-Co)	Demir (mg/L)	AKM (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	KOİ (mg/L)
1	4	0,005	147	<0,01	7	28,3	51
2	4	0,01	406	<0,01	12,5	41,3	37
3	4	0,02	141	<0,01	31	161	59
4	4	0,04	118	<0,01	93,5	31,8	20
5	4	0,08	299	<0,01	10,5	37,6	<10
6	4	0,16	12	<0,01	18,5	12,3	20



Şekil 4.8. Farklı Anyonik polimer dozları parametre değişimleri.



Şekil 4.9. Jar testi düzeneği arıtım çalışmaları örnekler.

4.5 Maliyet Analizi

Atıksuyun 1000 m³'ü için arıtım çalışmalarında kullanılan kimyasalların optimum derişimlerinin ticari satın alma maliyetleri dikkate alınarak hazırlanan basit bir maliyet analiz **Hata! Yer işareti başvurusu geçersiz.**'da verilmiştir. Her bir kimyasalın kullanımında diğer giderlerinde aynı olduğu kabulüyle maliyet açısından değerlendirildiği zaman koagülant olarak anyonik polimer (0,28 \$/kg) kullanılması uygun olacaktır.

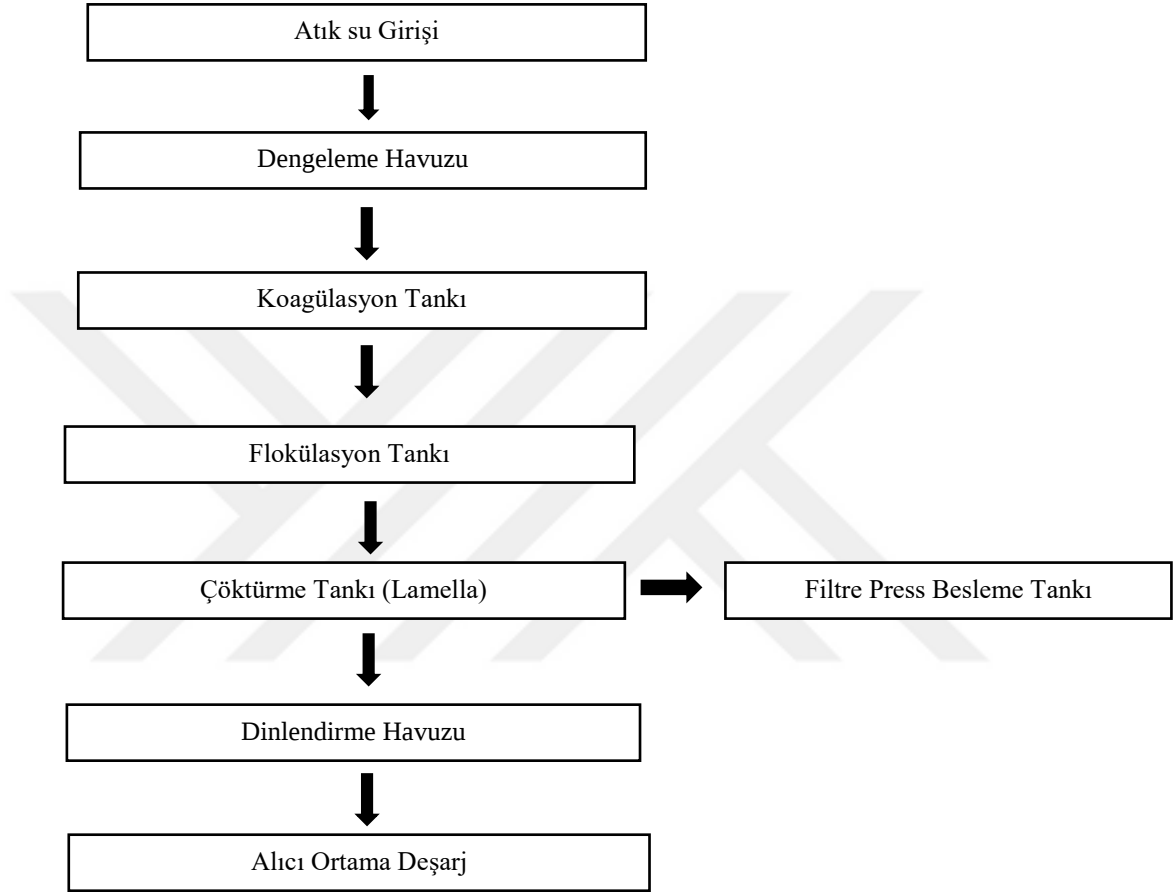
Çizelge 4.9. Kimyasal maliyet tablosu.

Kimyasal	Birim Fiyat (\$ /kg)	Optimum Koagülant Dozu (mg/L)	Kg koagülant/1000 m ³ atık su	\$/1000 m ³ atık su
Alüminyum Sülfat	0,15 \$/kg	15	15	2,25
Demir Sülfat	3,10 \$/kg	25	15	46,5
Anyonik Polimer	0,28 \$/kg	0,16	0,16	0,0448

4.6 Arıtma Tesisinin Akım Şeması ve Tasarımı

Elde ettiğimiz arıtılabilirlik çalışmalarından elde ettiğimiz sonuçlara göre deşarj standartlarını sağlayabilecek önerilen arıtma tesisinin akım şeması Şekil 4.10'de gösterilmektedir. Önerilen atık su arıtma sistemi fiziksel ve kimyasal arıtma yapacak

şekilde tasarlanmıştır. Arıtma tesisine gelecek atık su SKKY Tablo 7.1’de belirtilen deşarj parametrelerinden AKM, KOI ve serbest kükürt için verilen deşarj kriterlerini sağlamamaktadır. Bu nedenle etkin bir askıda katı madde giderimi sağlamak için ana ünitesi koagülasyon flokülasyon olan bir arıtma sistemi önerilmiştir.



Şekil 4.10. Arıtma tesisi dizaynı tipik akım şeması.

Dengeleme: Arıtmaya gelen atık suyun debi ve özellik yönünden dengelenmesini ve arıtma sistemine sabit debide atık su gönderilmesi için dengeleme havuzu önerilmiştir. Dengeleme havuzunda çökelmeyi önlemek ve ilerde drenaj atık suyunda oluşabilecek demir gibi ağır metaller ve sülfürün giderimine yardımcı olabilecek havalandırma işlemi önerilmektedir.

Koagülasyon tankı: Bu işlem pH ayarlaması yapılan atık suya koagülantların ilave edilmesini takiben hızlı bir şekilde karıştırılması ile atık su bünyesindeki kolloidal ve askıda katı maddelerle birleşerek flok oluşturmaya hazır hale gelmesi işlemidir.

Flokülasyon tankı: Bu işlem atık suyun yavaş ve uygun bir şekilde belirli bir süre karıştırılması sonucu küçük tane ve pıhtıların büyümesi, birbiriyle birleşmesi yumaklaşması ve böylece kolayca çökebilecek flokların meydana gelmesi işlemidir.

Kimyasal çöktürme tankı: Oluşan bu floklar bir sonraki çöktürme ünitesinde çökerek atık sudan ayrılırlar. Kimyasal arıtma sisteminde kimyasal dozlama ile partikül hale getirilen çamurların çökmesi için düşünülmektedir.

Dinlendirme havuzu: Arıtılan atık suyun deşarj öncesinde biriktiği pH ölçümü ve deşarj parametrelerinin rutin ve kontrol amaçlı ölçümleri için örneklemelerin yapılacağı havuz olarak önerilmektedir.

Filtre press besleme tankı: Çöktürme tankından gelen kimyasal çamurların susuzlaştırılması için önerilmiş ünedir. Filtre presse sabit debiyle basılmasını sağlamak amacıyla tasarlanmış havuzdur.

Dengeleme havuzu hesabı;

Atık suyun her zaman aynı debi ve aynı kalitede gelmesi mümkün olmadığından dolayı arıtma sistemine girecek olan suyun toplanıp karakteristik olarak dengelenebileceği havuzdur. Sadece dengeleme ve sabit debide sistemin beslenmesini sağlamak için yapılmış bir havuz olduğu için ortalama debide su gelmesi durumunda yaklaşık 4 saatlik, pik debide su gelmesi durumunda da 3,5 saatlik bekleme süresi gözetilerek tasarlanmıştır.

Havuz hacmi aşağıdaki denklemle hesaplanabilir (Metcalf&Eddy, 2014);

$$V = Q \cdot t \quad (4.1)$$

Q: Debi, m³/saat

t: Bekleme süresi, saat

V: Hacim, saat

$$t = 4 \text{ saat}$$

$$Q_{ort} = 200 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$V = 200 \frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \cdot 4 \text{ saat}$$

$$V = 800 \text{ m}^3$$

Havuz Ebatları (enxboyxderinlik): 13,5x15,0x4,50 m

$$Dengeleme havuzu hacmi \cong 910 m^3$$

$$Su yüksekliği \cong 4,00 m$$

$$Faydalı havuz hacmi = 13,5 \times 15,0 \times 4,0 m$$

$$Faydalı havuz hacmi \cong 800 m^3$$

Koagülasyon tankı hesabı:

Hızlı Karıştırma ve temas süresi olarak $t = 2-5$ dakika olarak kabul edilmiş, averaj debiye göre tank hacmi hesaplanmıştır pik debiye göre kontrol edilmiştir (Kestioğlu, 2001).

$$t = 2,5 \text{ dakika}$$

$$Q = 200 m^3/saat$$

$$Q = 3,33 m^3/dk$$

$$V = Q \cdot t$$

$$V = 2,5 \text{ dakika} \cdot 3,33 \frac{m^3}{dak} = 8,35 m^3$$

Pik debide temas süresi kontrol edilirse;

$$V = 8,35 m^3$$

$$Q = 220 m^3/saat$$

$$Q = 3,66 m^3/dakika$$

$$t = V/Q = \frac{8,35}{3,66} = 2,3 \text{ dakika}$$

Yapılması düşünölen koagülasyon havuzu :

$$Ebatları: 2,00 \times 2,25 \times 2,40 m \text{ (en x boy x derinlik)}$$

$$Su yüksekliği: 2,10 metre$$

$$Tank hacmi = 10,8 m^3$$

$$Faydalı hacim \cong 9,50 m^3$$

Flokülasyon tankı hesabı:

Bekleme ve temas süresi olarak yaklaşık 15 dakika alınmış, pik debiye göre tank hacim kontrol edilmiştir (Kestioğlu, 2001).

$$t = 15 \text{ dakika}$$

$$Q = 200 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$Q = 3,33 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$V = Q \cdot t$$

$$V = 15 \text{ dakika} \cdot 3,33 \text{ m}^3/\text{dak} \cong 50 \text{ m}^3$$

Pik debide:

$$Q_{pik} = 220 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$Q_{pik} = 3,67 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$t = V/Q = \frac{50}{3,67} = 13,6 \text{ dakika}$$

Yapılması düşünülen tesiste:

Flokülasyon tank ebatları: 2,25 x 11,0 x 2,40 m (en x boy x derinlik)

$$\text{Flokülasyon tank hacmi} = 59,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Su yüksekliği} = 2,00 \text{ m}$$

$$\text{Faydalı hacim} \cong 50,0 \text{ m}^3$$

Çöktürme tankı hesabı:

Tasarım yapılırken yüzey yükü değeri baz alınır.

$$\text{Atıksu debisi} = 200 \text{ m}^3/\text{saat}$$

Çöktürme tankı lamella seperatörlü çöktürme tank

Yüzeysel yükleme hızı (S_0)=0,6-1,5 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{saat}$ arasında seçilebilir. (Kestioğlu, 2001).

$$A = \frac{Q}{S_0} \quad (4.2)$$

Q: Debi, m^3/saat

A: Yüzey alanı, m^2

S_0 : Yüzeysel yükleme hızı, $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{saat}$

$$\text{Çökeltme havuzu yüzey alanı} = \frac{200 \text{ m}^3/\text{saat}}{0,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{saat}} = 250 \text{ m}^2$$

$$\text{Lamella ölçüsü: En} = 1 \text{ m}, \quad \text{Boy} = 1,20 \text{ m}$$

Lamella yerleştirme açısı: 60°

$$\text{İzdüşüm uzunluk} = 1,20 \text{ m} / \tan(60^\circ) = 0,70 \text{ m}$$

$$\text{İzdüşüm alanı} = 0,70 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 0,70 \text{ m}^2$$

$$\text{Lamella sayısı} = \frac{250 \text{ m}^2}{0,70 \text{ m}^2} = 358 \text{ lamella}$$

Çöktürme tankına 358 adet lamella yan yana 2 sıra lamella dizilecek ve atık su lamella setlerine eşit olarak verilecektir.

$$\frac{\text{Lamella sayısı}}{\text{sıra}} : 358/2 = 179 \text{ lamella/sıra}$$

$$\text{Lamellalar arası boşluk: } 0,054 \text{ m}$$

$$\text{Lamella döşenecek uzunluk: } (179 \cdot 0,054 \text{ m}) + 0,7 \text{ m (ilk lamella)} = 10,36 \text{ m}$$

$$\text{Tank Ölçüleri (en x boy x yükseklik)} = 2,40 \times 10,50 \times 2,80 \text{ m}$$

$$\text{Çamur toplama konisi: 4 adet}$$

$$\text{Koni açısı} = 50^\circ$$

$$\text{Taban uzunluğu} = 50 \text{ cm}$$

$$\text{Koni ölçüsü (en x boy x yükseklik)} = 2,15 \times 2,40 \times 1,20 \text{ m}$$

Dinlendirme havuzu hesabı:

Deşarj öncesinde atık su betonarme dinlendirme havuzuna alınacaktır.

$$t = 6 \text{ saat}$$

$$Q = 200 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$V = Q \cdot t$$

$$V = 6 \text{ saat} \cdot 200 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$V = 1200 \text{ m}^3$$

Pik debi ile kontrol edilirse;

$$Q_{\text{pik}} = 220 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$t = \frac{V}{Q_{\text{pik}}} = 5,45 \text{ saat}$$

$$t = \frac{1200 \text{ m}^3}{220 \text{ m}^3/\text{saat}} = 5,45 \text{ saat}$$

$$\text{Havuz ebatları (en x boy x yükseklik)} = 15,0 \times 20,0 \times 4,50 \text{ m}$$

$$Terfi\ havuzu\ hacmi = 1350\ m^3$$

$$Su\ yüksekliği = 4,00\ m$$

$$Faydalı\ havuz\ hacmi = 1200\ m^3$$

Kimyasal çamur hesabı:

Sistemde oluşan çamur miktarı benzer tesislerde oluşan çamur dikkate alınıp, atıksudan giderilen askıda katı madde içeri koagulant maddeler dahil % 0,5 (5000 mg AKM/L) olduğu kabulüyle aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

Oluşan kg/gün kuru madde olarak çamur miktarı (M_K)

$$M_k = 4800\ m^3/gün \cdot 5\ kg\ AKM / m^3 = 24000\ kg\ AKM/gün$$

Giderilen AKM çöktürme tankında çöktürölüp filtre prese verildikten sonra çamurun yoğunluğu 1,5 kg/L, katı madde içeriği %28 olacağı kabul edilirse oluşacak çamur hacmi (Metcalf&Eddy, 2014);

$$V = \frac{M_K}{\rho_s \cdot S_c \cdot P_K} \quad (4.3)$$

ρ_s :suyun yoğunluğu, kg/m³

S_c :Çamurun spesifik gravitesi (1,5)

P_K : Çamurun ağırlıkça ondalık olarak katı madde oranı(0,28)

$$V = \frac{24000\ kg/gün}{1000\ kg/m^3 \cdot 1,5 \cdot 0,28} = 57,14\ m^3/gün$$

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada altın, gümüş, kurşun, çinko yer altı ocağı faaliyeti yapılan bir maden ocağında oluşan drenaj suyunun karakterizasyonu ve arıtılabilirliği çalışılmıştır. Su kirliliğinin önüne geçebilmek için farklı teknolojiler, seçenekler uygulanabilmektedir.

Yer altı madencilğinde en önemli sorunlardan biri galerilerde oluşan yer altı sularıdır. Yer altı ocaklarında galerilerde çıkarılan cevherlerin üretimi esnasında derin kotlara inilmesinden dolayı yer altı suyu problemi oluşmaktadır. Ocak içerisinde gelen suları büyük çapta depolamak mümkün değildir. Yer altı ocağında oluşan sular uygun şekilde dışarıya verilmezse galerilerde su baskınına neden olabilir. Bu yüzden yer altı ocağında oluşan suların galerilerden atılması gerekmektedir. Galerilerden deşarj edilen sular alıcı ortama verilmeden önce Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo7.1'e göre deşarj standartlarını sağlaması gerekmektedir. Aksi halde, galerilerden deşarj edilen sular, alıcı ortamın su kalitesini bozarak, sucul ekosisteme ve çevreye zarar verebilir. O yüzden bu suların çevreye zarar vermemesi için kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu çalışmada oluşan atık sular basit bir fiziksel, kimyasal işleme mevzuatın ön görmüş olduğu standart değerlere getirilmiştir. Belli periyotlarda alınan atık sular ilgili sektör parametreleri dikkate alınarak karakterize edilmiştir. Mevzuata uygun olmayan AKM, KOI ve serbest kükürt değerleri sırasıyla ortalama olarak; 2356 mg / L, 234 mg / L ve 29 mg / L'dir. Bu parametreler alıcı ortam deşarj standartlarının üzerinde çıkmıştır.

Bu parametreleri alıcı ortam deşarj standartlarına getirebilmek için jar testi uygulanarak optimum pH ve koagülant dozu tespit edilmiştir. Sırasıyla alüminyum sülfat, demir sülfat, ve anyonik polimer kullanıldığında optimum pH'lar; 9,00, 8,00 ve 4,00 olarak tespit edilmiştir. Daha sonra her bir koagülant için optimum pH'da optimum koagülant dozu sırasıyla; 15,00, 25,00, 0,160 mg/L olarak elde edilmiştir. En iyi giderim verimleri genel olarak alüminyum sülfat koagülantının, kullanılması durumunda AKM, serbest kükürt, KOI değerleri düşürülerek elde edilmiştir.

Maliyet açısından da karşılaştırıldığında anyonik polimer koagülantının uygulanması ekonomik olarak daha avantajlı olduğu değerlendirilmiştir. Arıtılabilirlik çalışması sonuçlarına göre maden ocağında oluşan drenaj atık suları için bir arıtma sistemi akış şeması önerilmiş ve boyutlandırma hesapları verilmiştir. Çalışma sonucu hâlihazırda

oluşan atık sular bölgedeki jeolojik formasyonların türüne ve işletme teknolojisine göre oluşan atık suların karakteristiği değerlendirildiğinde çevresel açıdan çok fazla problemli bir atık su olmadığı ve kısmen basit bir arıtım işlemi ile alıcı ortam deşarj standartlarına getirileceği sonucuna varılmıştır.

Ekonomik olarak arıtım için ileri arıtım yöntemine gerek kalmaksızın deşarj standartları sağlanmıştır. Bu suyun yeniden proseste, sondaj vs. kullanım suyu olarak değerlendirilmesi için ileri arıtım teknolojileri kullanılması tavsiye edilebilir.



KAYNAKLAR

- Abrams, R.M. ve Gerhardt, K.K., 2004. Some aspects of the foetal sound environment. Perception and cognition of music, Psychology Press, 92-110.
- Anıl, M., 2014. Parajenezlerinde Sülfürlü Mineraller İçeren Maden Yataklarında Oluşabilecek Asit Kaya (Maden) Drenajlarının Çevresel Etkileri, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29, 1, 1-26.
- Anonim 2016. Jar testi deney föyü Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Anonim. 2022. Madencilik Faaliyetleri, Sektörel Uygulama Kılavuzu,, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- ASTM. 1995. Standard practice for coagulation– flocculation jar test of water E1– 1994 R (1995), D 2035–80, ASTM, West Conshohocken.
- Bernier, L.R., 2005. The potential use of serpentinite in the passive treatment of acid mine drainage: batch experiments, Environmental Geology, 47, 5, 670-684.
- Brown, M., Barley, B. ve Wood, H. 2002. Minewater treatment. IWA publishing.
- Cidu, R. ve Fanfani, L., 2002. Overview of the environmental geochemistry of mining districts in southwestern Sardinia, Italy, Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 2, 3, 243-251.
- Demchak, J., Skousen, J. ve McDonald, L., 2004. Longevity of acid discharges from underground mines located above the regional water table, Journal of Environmental Quality, 33, 2, 656-668.
- Dempsey, B.A. ve Jeon, B.-H., 2001. Characteristics of sludge produced from passive treatment of mine drainage, Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 1, 1, 89-94.
- Driscoll, T. ve Kartik, J., 2008. Industrial Wastewater Management, Treatment and Disposal, WEF Manual of Practice No. FD-3rd; Mcgraw-Hill: New York, NY, USA, 474-489.
- Eckenfelder, W.W., Ford, D.L. ve Englands, A.J. 2009. Industrial Water Quality. McGraw-Hill Education.
- EPA. 1994. EPA-Acid Mine Drainage Prediction Technical Document.
- Ersoy, A.F., 2020. Gümüştaş Maden Ocağı Jeoloji Hidrojeoloji Raporu, Niğde.
- Evangelou, V., 1998. Pyrite chemistry: the key for abatement of acid mine drainage. Acidic mining lakes, Springer, 197-222.

- Evangelou, V.P. ve Zhang, Y., 1995. A review: pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 25, 2, 141-199.
- Ferguson, K. ve Erickson, P., 1988. Pre-mine prediction of acid mine drainage. *Environmental Management of Solid Waste*, Springer, 24-43.
- Gerhardt, M.J., 2004. The limited path dependency of precedent, *U. Pa. J. Const. L.*, 7, 903.
- Gray, N., 1998. Acid mine drainage composition and the implications for its impact on lotic systems, *Water Research*, 32, 7, 2122-2134.
- Greben, H., Maree, J., Eloff, E. ve Murray, K., 2005. Improved sulphate removal rates at increased sulphide concentration in the sulphidogenic bioreactor, *Water SA*, 31, 3, 351-358.
- Harries, J. ve Ritchie, A., 1988. Rehabilitation measures at the Rum Jungle mine site. *Environmental Management of Solid Waste*, Springer, pp. 131-151.
- Hudson-Edwards, K.A., Jamieson, H.E. ve Lottermoser, B.G., 2011. Mine wastes: past, present, future, *Elements*, 7, 6, 375-380.
- Johnson, D.B., 2003. Chemical and microbiological characteristics of mineral spoils and drainage waters at abandoned coal and metal mines, *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 3, 1, 47-66.
- Johnson, D.B. ve Hallberg, K.B., 2005. Acid mine drainage remediation options: a review, *Science of the total environment*, 338, 1-2, 3-14.
- Keith, C. ve Vaughan, D., 2000. Mechanisms and rates of sulphide oxidation in relation to the problems of acid rock (mine) drainage.
- Kestioğlu, K. 2001. Endüstriyel atıksu arıtma tesisi boyutlandırma kriterleri. *VİPAŞ*.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri, *MTA dergisi*, 66, 20.
- Kleinmann, S., 1989. strongly concentrated toward the galactic center. Results from the IRAS, *Evolution of Peculiar Red Giant Stars: IAU Colloquium 106*, 106, 13.
- Kuyucak, N., 2000. Microorganisms, biotechnology and acid rock drainage—emphasis on passive-biological control and treatment methods, *Mining, Metallurgy & Exploration*, 17, 2, 85-95.
- Lambert, D.C., McDonough, K.M. ve Dzombak, D.A., 2004. Long-term changes in quality of discharge water from abandoned underground coal mines in Uniontown Syncline, Fayette County, PA, USA, *Water Research*, 38, 2, 277-288.

- Lottermoser, B.G. 2007. Mine wastes, Second Edition; Springer Berlin, Heidelberg.
- Lottermoser, B.G., 2010. Sulfidic mine wastes. Mine wastes, Springer, 43-117.
- Martin, W. ve Müller, M., 1998. The hydrogen hypothesis for the first eukaryote, Nature, 392, 6671, 37-41.
- Metcalf&Eddy. 2014. Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery. 5th edn, McGraw-Hill, Inc., New York, USA., Fifth ed. McGraw-Hill Education.
- Miedecke, J., Miller, S., Gowen, M., Ritchie, I., Johnston, J. ve McBride, P., 1997. Remediation options (including copper recover by SX/EW) to reduce acid drainage from historical mining operations at Mount Lyell, western Tasmania, Australia, Proceedings from the 4th international conference on acid rock drainage. pp. 1451-1467.
- Mitchell, J.W., 2009. An assessment of lead mine pollution using macro-invertebrates at Greenside Mines, Glenridding, Earth & Environment, 4, 27-57.
- Ojonimi, C.T.I., Asuke, F., Onimisi, M.A. ve Onuh, C., 2019. Acid Mine Drainage (AMD): an environmental concern generated by coal mining, Journal of Degraded and Mining Lands Management, 6, 4, 1875-1881.
- Plumlee, G. ve Logsdon, M., 1999. The environmental geochemistry of ore deposits. Part A: Processes, techniques, and health issues, Reviews in Economic Geology, 6.
- Resmi Gazete. 2004. in: Su Kirliliği Kontrolü. Resmi gazete tarihi: 31.12.2004. Resmi gazete sayısı: 25687.
- Rimstidt, J.D. ve Vaughan, D.J., 2003. Pyrite oxidation: a state-of-the-art assessment of the reaction mechanism, Geochimica et Cosmochimica acta, 67, 5, 873-880.
- Ritchie, J. ve Ritchie, J., 1998. The branding of tourism destinations, Annual Congress of the International Association of Scientific Experts in Tourism, Marrakech, Morocco. Citeseer. pp. 1-31.
- Shelp, G.S., Chesworth, W. ve Spiers, G., 1995. The amelioration of acid mine drainage by anin situ electrochemical method—I. Employing scrap iron as the sacrificial anode, Applied Geochemistry, 10, 6, 705-713.
- Singer, P.C. ve Stumm, W., 1970. Acidic mine drainage: the rate-determining step, Science, 167, 3921, 1121-1123.
- Spellman, F.R. 2020. Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations. CRC Press.

SYMMM. 2018. Suphan Yaşar Madencilik Mühendislik Müşavirlik YTK . Gümüştaş Madencilik ve Tic.A.Ş. 64789 Ruhsat Nolu Yeraltı Kompleks Maden İşletme Projesi.

Walton-Day, K., 2003. Geochemistry of active and passive treatment processes used to treat mine drainage.

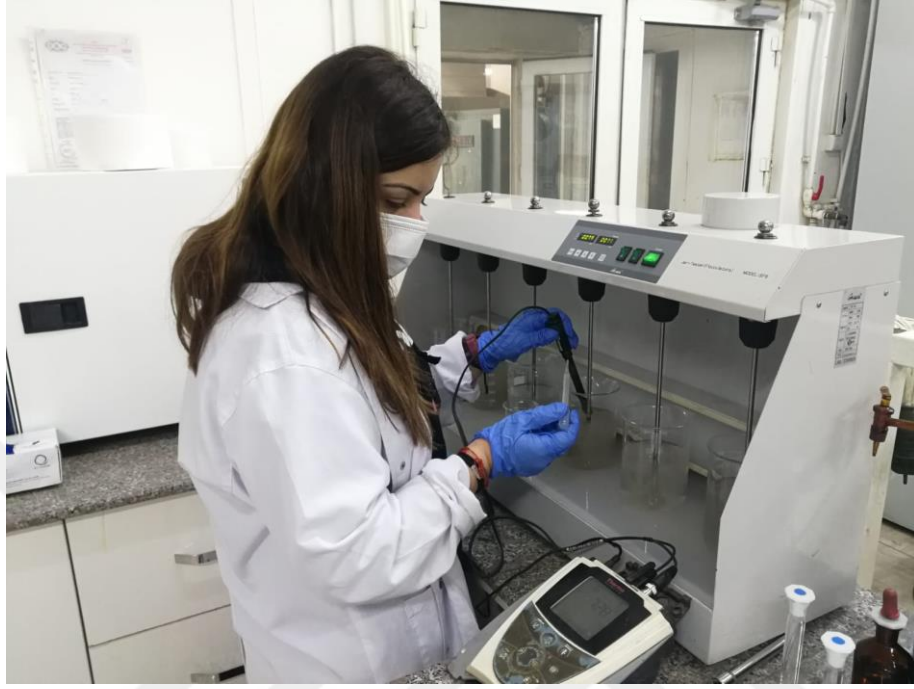
Younger, P.L., Banwart, S.A. ve Hedin, R.S., 2002. Mine water hydrology. Mine Water, Springer,127-270.

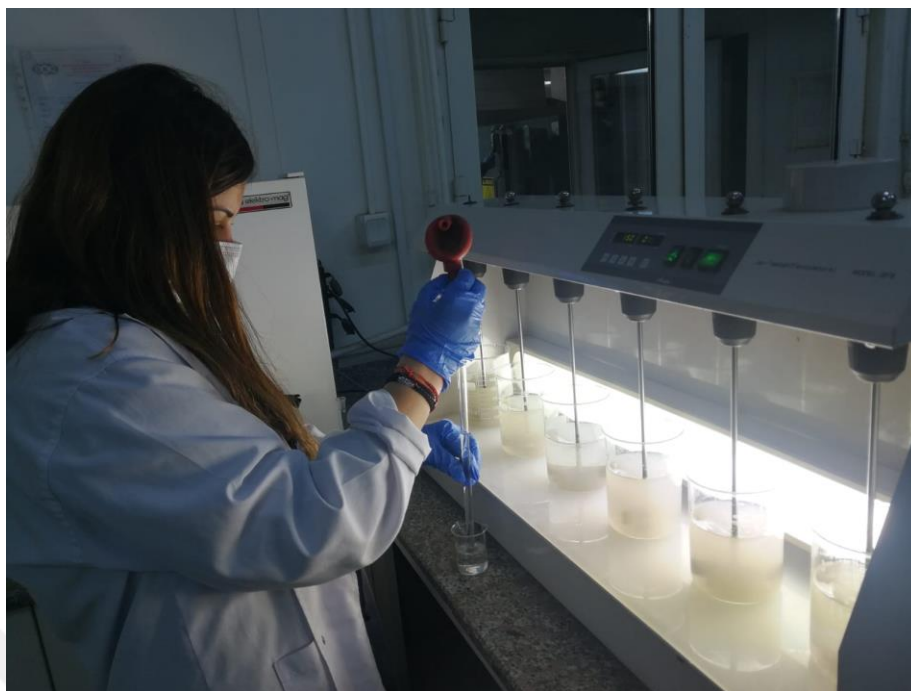
Zinck, J. ve Griffith, W., 2000. An assessment of HDS-type lime treatment processes—efficiency and environmental impact, ICARD 2000. Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.1027-1034.

URL-1. 2021. <<http://www.mta.gov.tr>> Erişim tarihi: 24.04.2021. Niğde İli Maden Haritası.

EKLER

EK-1. Laboratuvar alışmaları ile ilgili görseller





ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Burcu TÜRK TEN

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans :Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 2007-2012

Yüksek Lisans :Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, 2018-2019

Yüksek Lisans :Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre
Mühendisliği Anabilim Dalı, 2020-2023

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

YERÇET Yerbilimleri ve Çevre Etüd Mühendislik Müşavirlik İnşaat Turizm Ticaret ve San.
Ltd. Şti. (2013-2017)

Gümüştaş Madencilik ve Tic. A.Ş. Tepeköy Zenginleştirme Tesisi (2017- devam ediyor)

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Bildiriler

1. Türkten B., Işık M., 2022. Yer Altı Ocağı Galerilerinde Oluşan Drenaj Sularının Karakterizasyonu ve Arıtılabilirliği, V.Ulusal Mühendislikte Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi, 16-18 Aralık 2022. (Online Kongre)