

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe DOKUZLAR

**ADANA İLİ, SAİMBEYLİ İLÇESİ, KABURLUK MEVKİİNDE
BULUNAN DEMİR CEVHERLEŞMESİNİN ASİT MADEN
DRENAJİ OLUŞUMUNA YÖNELİK KESTİRİMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2019

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADANA İLİ, SAİMBEYLİ İLÇESİ, KABURLUK MEVKİİNDE
BULUNAN DEMİR CEVHERLEŞMESİNİN ASİT MADEN
DRENAJİ OLUŞUMUNA YÖNELİK KESTİRİMLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Ayşe DOKUZLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 09/07/2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir.

.....
Dr.Öğr.Üyesi Nil YAPICI
DANIŞMAN

.....
Prof.Dr.Ahmet Mahmut KILIÇ
ÜYE

.....
Dr.Öğr.Üyesi Ali TÜMÜKLÜ
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADANA İLİ, SAİMBEYLİ İLÇESİ, KABURLUK MEVKİİNDE BULUNAN DEMİR CEVHERLEŞMESİNİN ASİT MADEN DRENAJİ OLUŞUMUNA YÖNELİK KESTİRİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ayşe DOKUZLAR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI
Yıl: 2019, Sayfa: 77
Jüri : Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI
: Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
: Dr. Öğr.Üyesi Ali TÜMÜKLÜ

Bu çalışma, Adana İli, Saimbeyli İlçesi, Kaburluk Mevkiinde bulunan demir cevherleşmesinin Asit kaya (maden) drenajı oluşumuna yönelik kestirimlerin araştırılması hakkında arazi ve laboratuvar çalışmalarını ve Asit Üretme Potansiyeli (AÜP) ile ilgili teorik hesaplamaları içermektedir.

Cevherleşme, Gümüşali Formasyonundaki Üst Devoniyen yaşlı şeyl-kumtaşı-kireçtaşı ardalanmasının tabanında, bu formasyonların oluşturdıkları bir kapanda dolomitik kireçtaşları içinde hidrotermal metasomatik olarak yerleşmiştir.

Araziden alınan 10 adet cevher ve 10 adet yankayaç örneği üzerinde jeokimyasal statik testler kapsamında XRF analizi, XRD analizi, S analizi ve Fışkırdama Testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre örneklerin Nötürleşme Potansiyeli (NP), Net Nötürleşme Potansiyeli (NNP) ve AÜP teorik olarak hesaplanmış ve değerlendirmesi yapılmıştır.

Cevher örneklerindeki mikroskop incelemelerinde ana parajenez hematit, götit, siderit, limonit olarak tespit edilmiş olup, fışkırdama hızı 0 (yok), NP 8,073-53,160 aralığında, NNP 2,579-16,476 aralığında, toplam S'e göre AÜP 0,78-2,78 aralığında hesaplanmıştır.

Yankayaç örneklerindeki mikroskop incelemelerinde dolomit, kalsit, opak mineralleri tespit edilmiş olup XRD ve XRF analizlerinde ise opak minerallerinin pirit olduğu belirlenmiştir. Toplam karbonat miktarı % 60,83 -98,58 Fışkırdama hızı 2 (orta), NP 289,069-478,069 aralığında, NNP 11,012-31,260 aralığında, toplam S'e göre AÜP 6,56-13,13 aralığında hesaplanmıştır.

Sahadan alınan cevher ve yankayaç numunelerinde yapılan analizler ışığında, AÜP'lerinin 3'ten büyük oluğu tespit edilmiş olup AÜP'nin olmadığı ortaya konmuştur. Cevherleşme bölgesinde madencilik faaliyetlerinin ilerlemesi durumunda asit kaya (maden) drenajı oluşumunun ve kaynaklanabilecek çevresel etkilerin tespiti için kinetik testlerin de yapılması uygun olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Madencilik, Asit Kaya (Maden) Drenajı, Çevresel Etki Değerlendirme, Jeokimyasal Statik Test

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF IRON MINERALIZATION FOR ACID MINERAL DRAINAGE FORMATION IN LOCATED IN KABURLUK LOCATION IN SAIMBEYLI DISTRICT OF ADANA

Ayşe DOKUZLAR

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Nil YAPICI

Year: 2019, Page: 77

Jury : Asst. Prof. Dr. Üyesi Nil YAPICI

: Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ

: Asst. Prof. Dr. Ali TUMÜKLÜ

This study includes field and laboratory studies about the iron mineralization for prediction of acid rock (mine) drainage formation located in Kaburluk-Saimbeyli-Adana Province and theoretical calculations related to acid production potential (APP).

The mineralization is hydrothermal metasomatically in dolomitic limestones in a trap formed by these formations at the base of Upper Devonian shale-sandstone-limestone intercalations in Gümüşali Formation.

XRF analysis, XRD analysis, S analysis, and Fizz Test were performed on 10 ore and 10 wall-rock samples collected from the field within the scope of geochemical static tests. According to the test results, Neutralization Potential (NP), Net Neutralization Potential (NNP), and APP of the samples were theoretically calculated and evaluated.

Main paragenesis was determined as hematite, goethite, siderite, and limonite in the ore samples microscope studies. Fizz rate 0 (none), NP in the range of 8,073-53,160, NNP in the range of 2,579-16,476, and APP (according to the total S) in the range of 0.78-2.78 were calculated.

Dolomite, calcite, and opaque minerals were determined in wall-rock microscope studies. XRD and XRF analysis were revealed that opaque minerals are pyrite. Fizz rate 2 (medium), total amounts of carbonate in the range of 60.83%-98.58%, NP in the range of 289,069-478,069, NNP in the range of 11,012-31,260, and APP (according to the total S) in the range of 6,56-13,13 were calculated.

In the light of the analysis carried out in ore and canal samples taken from the field, it was found that the APPs were larger than 3 and the absence of APP. If mining activities progress in the mineralization zone, it would be appropriate to carry out kinetic tests to determine the formation of acid rock (mine) drainage and the environmental impacts that may arise.

Keywords: Mining, Acid Rock (Mine) Drainage, Environmental Impact Assessment, Geochemical Static Test

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmalarımızın amacı ve detayını, Adana İli, Saimbeyli İlçesi, Kaburluk Mevkiinde bulunan demir cevherleşmesinin Asit Maden Drenajı (AMD) oluşturmaya yönelik kestirimlerinin, araziden alınan örnekler üzerinde jeokimyasal statik testler yapılarak araştırılması ve bu test sonuçlarını kullanarak asit üretme potansiyelinin statik/teorik olarak hesaplanması oluşturmıştır.

Kayaçların içerisindeki sülfür minerallerinin oluşum şartlarını kaybederek oksijenli yer altı veya yüzey suları ile temasından ortaya çıkan ve bulunduğu alandaki su kaynakları ile her türlü jeolojik materyalin tamponlama kapasitesinin üzerinde gerçekleşen sürece Asit Drenajı (AD) denmektedir. Asit drenajı maden işletimi ile ilişkili olduğunda AMD ve doğal olarak oluştuğunda Asit Kaya Drenajı (AKD) olarak adlandırılmaktadır (Karadeniz, 2008).

Madencilik faaliyetleri yapılırken bereberinde bir çok çevresel etki de meydana getirmektedir. Bundan dolayı maden işletmeleri tasarlanırken sadece üretim odaklı değil, üretime ek olarak atığı kaynağında azaltma ve çevresel etkileri önleme politikaları geliştirilmelidir. Madencilik faaliyetleri yapılırken oluşan çevresel etkilerden biri de Asit Maden Drenajı'dır.

Maden sahalarında uygun ve etkin çevresel yönetim planlamalarının yapılabilmesi için, sahanın Asit Maden Drenajı oluşturma potansiyellerinin önceden tahmin edilmesi, atığın kaynağında azaltılması, kirliliğin oluşmadan önlenmesi açısından ilk ve önemli adımı oluşturmaktadır.

Adana İli, Saimbeyli İlçesindeki önemli demir yatakları Kaburluk ve Aşılık mevkiilerinde bulunmaktadır. Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından yapılan sondajlarla Kaburluk yatağında % 52,72 Fe_2O_3 ve % 6,23 SiO_2 tenörlü 427.300 ton; Aşılık demir yatağında ise % 52,93 Fe_2O_3 ve % 6,15 SiO_2

tenörlü 3.185.000 ton muhtemel rezerv tespit edilmiştir (http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_potansiyel_2010/Adana_Madenler.pdf).

Çalışma alanından alınan 10 adet cevher ve 10 adet kayaç numunesi Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü laboratuvarına getirilerek öncelikli olarak numune hazırlama işlemi yapılmıştır.

Kayaç ve cevher örnekleri lup (bir çeşit büyüteç) ile ayrıca kırıcıdan geçirilerek milimetrik boyuta indirgenmiş hali ile stereo mikroskopta ve ince kesit haline getirilen örnekler ise binoküler mikroskopta incelenerek mineralojik içerik ve petrografik özellikler saptanmıştır.

Numunelerin X Işını Difraksiyon (kırınım) cihazı ile X Ray Diffraction (XRD) diyagramları belirlenmiştir. Bulunan sonuçlara göre mineral içerikleri belirlenmiş, cevher parajenezleri ortaya çıkarılmıştır. Kayaç ve cevher bünyesindeki dokusal ve yapısal özellikler, organik madde içeriği ortaya konmuştur. XRD analizleri Çukurova Üniversitesi Merkezi Laboratuvarda Rigaku Minflex II XRD cihazı ile yapılmıştır.

Çalışma alanından alınan cevher ve yankayaç örneklerinin, X-Işını Floresans Spoktrometresi ile X-Ray Fluorescence (XRF) analizleri yapılarak jeokimyasal içerikleri belirlenmiştir. XRF analizleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında, Panalytical (MiniPal-4) marka X-Işını Floresans (XRF) cihazı ile ve MTA Jeokimya Laboratuvarında Thermo ARL marka XRF cihazı ile yapılmıştır.

Gerek XRF ve XRD analiz sonuçları ve gerekse parlatılmış kesitlerin mikroskop incelemelerinden sonra sülfürlü mineral içermesi muhtemel olan cevher örnekleri içerisinde pirit ve markasit minerallerinin gözlenmediği görülmüştür. Ana parajenezler, hematit, götit, siderit, limonit olarak tespit edilmiştir. Gang minerali olarak kalsit, az oranda kuvars mineralleri bulunmaktadır. Hematit açık gri renkli, ağsal damarlar şeklindeki dokusal özelliği ile belirgindir. Götite iç yansıma

özellikleri ile gözlenmekte ve bazı örneklerde demir karbonat minerallerinden dönüşmüş halde bulunmaktadır. Mineraloji içeriği cevherin asit üretme potansiyelini doğrudan etkilemektedir.

Örnekler üzerinde fişirdama testleri uygulanmıştır. Fişirdama testinde, 1 birim suya 3 birim HCl karıştırılarak elde edilen çözelti numune üzerine damlatılarak oluşan gaz ve kabarcık miktarları gözlemlenmiştir. Fişirdama testi Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır.

Kükürt (S) analizi yapılarak cevher ve yankayaç örneklerine ait toplam kükürt miktarı belirlenmiştir. S analizi MTA Laboratuvarında ve Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında yapılmıştır. Cevher numunelerinde toplam S değeri % 0,025-0,089 aralığında belirlenmiştir. Yankayaç numunelerini toplam S değeri % 0,21-0,42 aralığında belirlenmiştir.

Yapılan mikroskop incelemeleri, jeokimyasal statik test ve teorik hesaplamalar sonucunda; Yankayaçta dolomit, kalsit, opak mineralleri tespit edilmiş olup XRD ve XRF analizlerinde ise opak minerallerinin pirit olduğu belirlenmiştir. Toplam karbonat miktarı % 60,83 -98,58 Fişirdama hızı 2 (orta), NP (Nötürleştirme Potansiyeli) 289,069-478,069 aralığında, NNP (Net Nötürleştirme Potansiyeli) 11,012-31,260 aralığında, toplam S'e göre AÜP'leri 6,56-13,13 aralığında hesaplanmıştır. Cevher örneklerinin mikroskop incelemelerinde ana parejenezler, hematit, götit, siderit, limonit olarak tespit edilmiş olup, fişirdama hızı 0 (yok), NP; 8,073-53,160 NNP; 2,579-16,476 aralığında, toplam S'e göre Asit Üretim Potansiyeli'leri 0,78-2,78 aralığında hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalarla cevherlerden alınan örneklerin asit üretme potansiyellerinin oldukça düşük, buna karşılık yankayaçın yüksek oranlarda karbonat içermeleri sebebi ile nötürleştirme potansiyellerinin yüksek olduğu görülmektedir. Yapılan Jeokimyasal Statik Kestirim yöntemi kapsamındaki analiz, test ve mikroskop incelemelerine göre cevher ve yankayaç numunelerinin asit üretme potansiyelleri olmadığı, cevherleşme bölgesinde madencilik faaliyetlerinin

ilerlemesi durumunda AMD olup oluşmayacağı ve/veya AMD'nin çevresel etkilerinin tespiti için kinetik testlerinde yapılmasının uygun olacağı ortaya konmuştur.



TEŞEKKÜR

Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen; bana olan inancından, anlayışından, çalışmalarında azimlendirmesinden, beni doğru ve etkili bir şekilde yönlendirmesinden, destekleyici yaklaşımlarıyla tezimi tamamlamamda büyük desteği olan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI'ya,

Değerli jüri üyeleri Sayın Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ'a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜMÜKLÜ'ye,

Tezim süresince ve her daim bana her konuda destek veren ve yanımda olan eşim Soner DOKUZLAR'a ve varlığı ile bana her konuda ilham ve güç kaynağı olan kızım Asel Havva DOKUZLAR'a,

Varlıkları benim için büyük bir şans olan ve karşılıksız olarak her koşulda desteklerini esirgemeyen ben olmamda en büyük paya sahip olan kıymetli aileme, annem Alime ARICI ve rahmetli babam Yusuf ARICI'ya,

Tez sürecinde desteklerini esirgemeyen YERÇET Müh. Müş. İnş. Turz. San. ve Tic. Ltd. Şti. yetkilisi Maden Yüksek Mühendisi Sayın Recai CAN'a, kıymetli teknik personellerinden Jeoloji Yüksek Mühendisi Tuğçe KARAHAN'a, Harita Teknikeri Arife ÇAVUŞOĞLU'na,

Tez çalışmalarım ile ilgili olarak desteğini esirgemeyen Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Araş. Gör. Süleyman KARAHAN'a,

Laboratuvar çalışmalarım da bana destek vermiş olan Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Araş. Gör. Zehra ALTINÇELEP'e,

Uzun yıllardan bu yana teze konu saha ile ilgili bir çok çalışma yapmış olan Jeoloji Yüksek Mühendisi Sayın Cabbar DAĞLIOĞLU'na desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XIV
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. MATERYAL VE METOD	9
3.1. Materyal.....	9
3.1.1. Asit Maden Kaya Drenajı Tanımı.....	9
3.1.1.1. Asit Maden Kaya Drenajı Oluşumu.....	10
3.1.1.2. Nötürleşme Potansiyeli.....	15
3.1.1.3. Mikrobiyolojik Aktivite.....	18
3.1.2. Asit Maden Drenajı Potansiyelinin Kestirimi.....	19
3.1.3. Çevresel Boyuttaki Önemi.....	21
3.1.4. Çalışma Alanı Genel Bilgi.....	22
3.1.4.1. İklimsel Özellikler	24
3.1.4.2. Bölgesel Jeoloji.....	28
3.1.4.3. Demir Ocağının Genel Tanımı ve Cevherleşme Özellikleri..	32
3.1.4.4. Örnek Alım Noktaları	34
3.2. Metod.....	36
3.2.1. Cevher ve Yankayaç Minerolojisi	36
3.2.2. Laboratuvar Çalışmaları	37

3.2.2.1. Numune Hazırlanması	37
3.2.2.2. Kimyasal Analiz Yöntemi	39
3.2.2.3. X-Işını Difraktometresi (XRD) Ölçümleri	40
3.2.2.4. Mineraloji Tespit Çalışmaları	40
3.2.2.5. Fııırdama Testi	40
3.2.2.6. Laboratuvar Sonuçlarına Göre Yapılan Hesaplamalar	41
4. ARAşTIRMA BULGULARI	45
4.1. Yankayaç Kimyasal ve Minerolojik Analiz Sonuçları	48
4.1.1. Yankayaç Kimyasal Analiz Sonuçları	48
4.1.1.1. Yankayaç S Analiz Sonuçları	49
4.1.2. Yankayaç Mineralojik Analiz Sonuçları	50
4.1.2.1. XRD Mineralojik analiz	51
4.2. Cevher Kimyasal ve Minerolojik Analiz Sonuçları.....	53
4.2.1. Cevher Kimyasal Analiz Sonuçları	53
4.2.1.1. Cevher S Analiz Sonuçları.....	53
4.2.2. Minerolojik Analiz Sonuçları	54
4.2.2.1. XRD Minerolojik Analiz Sonuçları.....	56
4.3. Sahanın Asit retme Potansiyelinin Statik Test Sonuçları	58
4.3.1. Fııırdama Test Sonuçları	58
4.3.2. Toplam Kükürt'e Göre Asit retme Potansiyeli (AP)	60
4.3.3. Nötürleşme Potansiyeli (NP)	62
4.4. Kinetik Testler	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR	71
ZGEMİş	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1.	Oluşan asiditeyi nötürleştirme potansiyeli olan bazı mineraller	17
Çizelge 3.2.	Bazı minerallerin azami nötürleştirme potansiyeli	18
Çizelge 3.3.	Uzun yıllar yönlerine göre rüzgar esme sayıları toplamı	26
Çizelge 3.4.	Aylık ve yıllık sıcaklık ortalaması	27
Çizelge 3.5.	Aylık ve yıllık yağış ortalaması	27
Çizelge 3.6.	Numune alım yeri ve koordinatları	35
Çizelge 3.7.	Fışkırdama testi için fışkırdama gözlemiyle asit miktar ve şiddetinin belirlenmesi	41
Çizelge 3.8.	Toplam karbonat formül tablosu.....	42
Çizelge 3.9.	Toplam kükürde göre AÜP hesaplama tablosu	42
Çizelge 3.10.	Paktunç (1998) yöntemiyle asit üretim potansiyeli hesaplama tablosu.....	43
Çizelge 3.11.	Nötürleşme potansiyeli hesaplama tablosu.....	44
Çizelge 3.12.	Net nötürleştirme potansiyeli formül tablosu	44
Çizelge 4.1.	Yankayaç XRF analiz sonuçları.....	48
Çizelge 4.2.	Örneklerle ait % CaCO_3 ve % $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ değerleri.....	49
Çizelge 4.3.	Yan kayaç örneklerindeki kükürt miktarları	50
Çizelge 4.4.	Cevher XRF analizi sonuçları	53
Çizelge 4.5.	Alınan cevher örneklerindeki kükürt miktarları.....	54
Çizelge 4.6.	Gerçekleştirilen Fışkırdama Testi için yapılan gözlemleme yoluyla asit miktar ve şiddetinin belirlenmesi	58
Çizelge 4.7.	Numunelerin toplam kükürde göre AÜP	61
Çizelge 4.8.	Çalışma alanından alınan örneklerin Paktunç (1998) yöntemiyle hesaplanan asit üretim potansiyelleri	62
Çizelge 4.9.	Numunelerden hesaplanan nötürleşme potansiyeli.....	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1.	Asit Maden Drenajı temsili gösterim	15
Şekil 3.2.	Proje alanı yer bulduru haritası.....	23
Şekil 3.3.	Proje alanı ve çevresini gösterir uydu görüntüsü.....	24
Şekil 3.4.	1961-2018 yılları arası rüzgar esme sayılarına göre rüzgar gülü	25
Şekil 3.5.	Gümüşali formasyonu stratigrafik kesiti	30
Şekil 3.6.	Cevherleşmeye ait jeoloji haritası	31
Şekil 3.7.	Çalışma alanının topografik haritada gösterimi	32
Şekil 3.8.	Gümüşali formasyonu içerisinde gözlenen demir cevherleşmesinin arazi görüntüsü.....	33
Şekil 3.9.	Çalışma alanında yapılan arazi çalışmalarında alınan örneklerle ait noktaların işaretlendiği uydu görüntüsü	34
Şekil 3.10.	Cevherleşmeden örnek alım işlemi	36
Şekil 3.11.	Örnek numuneler.....	38
Şekil 3.12.	Numunelerin kırıcıda öğütülmesi	38
Şekil 3.13.	Luppo kırıcıda numunelerin hazırlanması	39
Şekil 4.1.	Arazi genel görünüm	46
Şekil 4.2.	Yankayaç-cevher görünümü.....	47
Şekil 4.3.	Limonit oluşumu	47
Şekil 4.4.	Dolomit, kalsit ve opak mineralleri (pirit) ince kesit görünüm	51
Şekil 4.5.	XRD Patern çekim analiz sonucu.....	52
Şekil 4.6.	Ağsal Hematit, Siderit ve Götite minerali.....	55
Şekil 4.7.	Cevher XRD analizi sonuçları.....	57



SİMGELER VE KISALTMALAR

AD	: Asit Drenajı
AKD	: Asit Kaya Drenajı
AMD	: Asit Maden Drenajı
AÜP	: Asit Üretme Potansiyeli
NP	: Nötürleşme Potansiyeli
NNP	: Net Nötürleşme Potansiyeli
EPA	: Environmental Protection Agency
H ₂ O ₂	: Hidrojen Peroksit
H ₂ SO ₄	: Sülfirik Asit
SO ₄	: Sülfat
XRD	: X Işını Kırınımı
XRF	: X Işını Floresansı
Fe	: Demir
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
SiO ₂	: Silisyumdioksit
Fe	: Demir
S	: Kükürt
Al	: Alüminyum
Mn	: Mangan
pH	: <i>H</i> Aktivitesinin Eksi Logaritması
FeS ₂	: Pirit
H ₂ O	: Su
O ₂	: Oksijen
FeSO ₄	: DemirSülfat
Fe ₂ (SO ₄) ₃	: DemirIIIsülfat
Fe (OH) ₃	: DemirIIIHidroksit

FeOOH	: Limonit
OH ⁻	: Hidroksit iyonu
CO ₂	: Karbondioksit
HCl	: Hidroklorik Asit
%	: Yüzde değer
M	: Molarite
m	: Metre
EPA	: Environmental Protection Agency
AK	: Ateşte Kayıp

1. GİRİŞ

Madencilik sektörü geçmiş yüzyıllardan günümüze kadar teknolojik alanda ve insanlığın refah düzeyinin gelişmesinde en etkin rolü üstlenerek insan ve toplum hayatında vazgeçilmez yerini almıştır. Madencilik, ülkelerin hammadde ihtiyaçlarını sağlayan ana üretim alanından birisidir.

Dünya kendi litolojik oluşumuyla insanlığın gelişimi için neredeyse sınırsız bir kaynak oluşturmaktadır. Maden, yer kabuğunda “filiz” olarak adlandırılan bileşimlerin, birçok iç ve dış etkenin gelişimiyle kendiliğinden doğal yollarla oluşan minerallerdir. Yer altında bulunup çıkartılan katı, sıvı ve gaz halindeki her türlü maddeye maden denir. Madenler doğada katı, sıvı, gaz halde bulunabilir. (www.mta.gov.tr).

Teknoloji, tıp, inşaat, yakıt, kimya, silah yapımı, nükleer enerji vb. birçok alanda hammadde kaynağı sağlaması madencilik sektörünü tarihin eski çağlarından günümüze kadar stratejik olarak önemli bir unsur haline getirmiştir.

Madencilik ülkemizin önemli bir hammadde kaynağıdır. Türkiye'nin üzerinde bulunduğu coğrafyada madenciliğin tarihi MTA tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen meteryallere göre M.Ö. 2000 yıllarına dayanmaktadır (www.mta.gov.tr). Günümüzde Devlet Kurumlarının ilgili birimlerinde, mevzuatlar (kanun, yönetmelik vb.) kapsamında maden üretimine izin verilmektedir. Madenlerin varlıkları doğal kaynak şeklinde olmasına karşın, yer tespitleri, oldukları yerden çıkarılmaları, kullanacakları alana göre işlenmeleri, depolanmaları, taşınmaları bir çok faaliyeti, teknoloji ve kimyasal kullanımını beraberinde getirmektedir. Madencilik faaliyetleri kapsamında cevheri elde ederken ekonomik olarak değerlendirilemeyen veya içeriğinde cevher ihtiva etmeyen pasa adı verilen atık madde oluşmaktadır. Madencilik faaliyeti bir çok hammadenin temini noktasında önemli bir sektör olmasına karşın, çevresel açıdan bakıldığında önlem alınması gereken bir çok çevresel etkinin de oluşum

kaynağıdır. Bu açıdan madencilik faaliyetleri tasarlanırken sadece üretim odaklı değil, üretim artı atık minimizasyonu ve çevresel etkileri önleme politikaları geliştirilmelidir. Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkilerden biri de AMD'dir. AMD genellikle akarsu ve göl ekosistemleri üzerinde daha çok etki göstermektedir. Çeşitli hayvan ve bitki türlerini etkileyerek besin zincirinin neredeyse yıkılmasına neden olabilmektedir. Gerekli önlemler alınmadığı durumlarda sucul yaşamı tamamen yok edebilmektedir (Gray, 1997).

Asit maden drenajı, yaygın olarak bulunan demir sülfür minerallerinin (pirit, pirotin vb.) atmosferik oksidasyonu (su, oksijen ve karbondioksit vb.), katalizör görevindeki bakterilerin (*Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidophilic bacterium* vb.) varlığı ve sonradan diğer metallerin (Fe, Zn vb.) sürece katılımıyla gelişen tepkimeler sonucunda oluşmaktadır (Mills, 1995; Yücel, 2013). Bir maden alanında pirit, pirotin ve markazit gibi demir minerallerinin nemli ortamda oksitlenmeye maruz kalmasıyla gelişen tepkimeler sonucu sulu ortama proton (H^+ iyonu) vermesi ve çözeltinin asidik niteliğe dönüşmesi olayı AMD olarak tanımlanmıştır (Karadeniz, 2008).

AMD'nin, üç temel bileşeninden biri olan demir sülfürlerin doğada en yaygın rastlanan minerali magmatik, volkanik, sedimanter kayaçlarda ve kontak metamorfik ve hidrotermal yataklarda bulunan pirittir (Karadeniz, 2008; Lottermoser, 2010). Maden alanında (açık ya da kapalı ocaklar, cevher stok sahaları vb) yer alan kayaç yığınları veya pasalar AMD'nin oluşumuna neden olabilmektedir. Bu kaynaklardan doğan sızıntılar ile asidik drenaj gelişebilmektedir.

Asit maden drenajı sülfürlü özellikle demir sülfür mineralleri içeren kömür, baz metal, uranyum ve değerli metal madenlerinde sık sık görülen bir su kirliliği sorunudur. Oluşumun kaynağı ise kayaç yığınları, atık barajına terkedilen proses artıkları, pirit konsantresi stokları, açık ve kapalı maden işletmeleridir (Kontopoulos ve ark, 1996; Kuyucak, 2000).

Bu çalışma ile Adana İli, Saimbeyli İlçesi, Kaburluk Mevkiinde bulunan Demir Cevherleşmelerinin asit üretme potansiyelleri statik kestirim yöntemiyle ortaya konmuştur.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Son 5 yılda gittikçe önemli olan ve yapılan çalışmalarla ortaya konulan AMD çalışmalarına bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

Downing ve Mills (2000), asit maden drenajı sadece maden üretimlerinin bir sonucu değildir. Çünkü demir sülfür içeren cevher oluşumları, yeryüzüne yakın yataklarılarında ve yüzeyleri atmosfere, dolayısıyla hava etkisine açık olduğunda nem ile birlikte oksijenin varlığında tamamen doğal oksitlenme tepkimeleri gelişebilir. Böylesi sahaların üst kısımlarında pas veya sarı renkli bir başlık verdiğini belirtmişlerdir.

Lapokko (2002), demir sülfürün oksitlenmesi ve tepkimenin ürünü olan asidin oluşma hızı, oksijen ve su mevcudiyeti kadar katı fazın bileşim değişkenleri ve mikrobiyal aktiviteye bağlıdır. Daha açık ifadeyle demir sülfür mineralinin türü, minerolojik özellikleri, miktarı, tane boyutu ve mikroorganizma varlığı oksitlenme hızını belirlediğini ortaya koymuştur.

Yörükoğlu ve Karadeniz (2003), Asit maden drenajı problemi için etkin bir çevre yönetiminin uygulanabilmesi, öncelikle asit oluşumunun kaynağı durumundaki kayaç yığınlarının, atık barajına terkedilen proses artıklarının ve stokların asit üretme ve nötürleştirme potansiyellerinin (NP) ortaya konmasına bağlıdır. Bu amaçla, son yıllarda giderek önem kazanan statik ve kinetik testlerle matematiksel modeller gibi kestirim yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Ancak, cevher yataklarının kendine özgü nitelikler taşımasına bağlı olarak, yöntemlerin birbirlerine göre bazı üstünlükleri ve zayıf yönleri söz konusudur. Bu çalışmada, yöntemler arasında bir değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır.

Johnson ve Hallberg (2005), İz element fiksasyonu genellikle AMD bölgelerinde gözlenir ve Fe-oksit çökeltisinin yaygın olarak kimyasal ve bakteriyel prosesler ile desteklendiği birçok iyileştirme stratejisinde aşama olarak kullanıldığı belirtilmiştir.

Karadeniz (2005), Sülfürlü metal veya kömür madeni işletmelerinde karşılaşılan asit maden drenajının belirgin özellikleri; düşük pH, yüksek asidite, yüksek iyon konsantrasyonu (Fe/Fe, Al, Mn ve SO₄ gibi), askıda katı ve çözünmüş katı olarak sıralamıştır.

Stewart (2005), Etkinliğini geniş alanda uzun bir süre koruyabilen AMD için geliştirilecek yönetim stratejisi, ağırlıklı olarak, sahanın asit üretme ve nötrleştirme potansiyelinin ölçümü ile ilişkilidir. Asit üreten ve üretmeyen (nötrleştirilen) atığın miktarı, her bir atık kaya tipinin AMD potansiyeli ve asit ile birlikte sair kirleticilerin çözünerek serbest kalma oranları kritik parametrelerdir. Ölçüm ve testlerle elde edilen verilere dayanarak maden ve bağlantılı alanın AMD riski ortaya konabilir ve buna uygun bir yönetim stratejisi geliştirilebilir. Uygulamaya konacak AMD yönetimi atık kaya tiplerinin ayrımını, toprak veya kaya örtünün potansiyele sahip atık üzerine yerleştirilmesini, atığın su altına depolanmasını, atık tiplerinin harmanlanmasını, atık kayanın oksitlenmeyi engelleyici malzemeler veya asit nötrleştiricilerle doğrudan işlenmesini ya da kirlenmiş yüzey akıntılarının arıtılmasını içerebilir.

Çiftçi ve Akçıl (2006), AMD'nın kontrolü ve gideriminde kullanılan pasif biyolojik yöntemler ve bu yöntemlerdeki mikroorganizmanın rolü ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Asit maden drenajında, asit oluşumunun hızını etkileyen faktörlerinin; bakteriyel faaliyet, sıcaklık, pH, değişik oksidantların varlığı (Fe⁺³ Mn⁺³ veya Mn gibi), alkali ve tampon minerallerin varlığı (kalsitler, silikatlar vb.) olduğunu ifade etmiştir.

Balcı ve ark (2006), biyolojik reaksiyon sonucu oluşan sülfat ve asidite miktarının, kimyasal reaksiyonlara oranla oldukça yüksek olduğunu belirterek asit maden sahalarının oluşmasında ana etkinin biyolojik reaksiyonlar olduğunu ortaya koymuştur.

Mills (2007), demirin mikroorganizmalarca oksitlenmesi daha çok ortamın pH değeri 4'den küçük olduğunda ön plana çıkarken, sülfürlerde bu aralık

genişlemekte, sulfur biyooksitlenmesi pH 1,9-8,5 aralığında gerçekleşebilmektedir. Aslında, geniş bir Ph aralığında gerçekleşen biyokimyasal olayların, farklı bakterilerce birbirini takip eder şekilde gerçekleştirildiği ileri sürülmüştür.

Lottermoser (2010), kinetik testleri, statik testlerin peşi sıra başvuru, sülfidik atık örneklerinin havalanma ve oksidasyon gibi doğada gerçekleşen süreçlerinin laboratuvar ortamına taşınabileceğini ifade etmiştir. AMD sularının kimyasını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen başka faktörler de tanımlanmıştır. Mikrobiyal aktivite, ikincil minerallerin çökeltilmesi ve çözünmesi, çökeltme, adsorpsiyon ve desorpsiyon, Eh-pH koşulları, ağır metaller, kaynağı yöneten element döngüleri, malzeme, pH tamponlama ve bulanıklık ana AMD su kimyasını değiştirebilecek işlemler olarak belirtilmiştir.

Özkara ve ark (2012), AMD oluşturma potansiyelinin belirlenmesi amacıyla, bazı arazi örnekleri üzerinde laboratuvar koşullarında statik testler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan statik testler sonucunda Nötürleşme Potansiyeli Oranı 1 den küçük belirlenmiştir. Arazide pH ve iletkenlik verilerini dikkate alınarak arazide AMD oluşumu statik test sonuçlarıyla da doğrulamışlardır. AMD oluşumunun oldukça önemli bir çevre sorununa neden olduğu tespit edilmiştir.

Anıl (2014), Asit Kaya/Maden drenajı hakkında genel bilgiler verildikten sonra verilen ve sülfürlü mineraller içeren bir maden sahasında bu drenajın nasıl gelişebileceği ve daha projelendirme safhasında nasıl bir öngörü hazırlanacağı örneklerle belirtilmiştir.

Anıl ve ark (2014) Çalışma alanından alınan örnekler üzerinde toplam kükürt ve karbonat miktarına dayalı asit ve baz hesaplamaları yapılarak, denge değerinin nötürleşmesinin çok kararlı olması ve de en az karbonat içeren numunenin net nötürleşme potansiyelinde eşik değerden fazla olmasından dolayı işletme sırasında asit drenajının oluşmayacağı ortaya konmuştur.

Delibalta ve ark (2016), Ilgın linyit işlemleri göletlerinde su karakterizasyonu izlemeleri yapılarak pH, bulanıklık, sülfat içeriği, kimyasal oksijen ihtiyacı, elektriksel iletkenlik, Mn, Fe ve en yüksek ağır metal içerikleri içerikleri tespit edilmiştir. Belirlenen sonuçların, ilgili yasal yönetmelikler çerçevesinde değerlendirilmesi yapılarak çevresel etkisi ortaya konmuştur.



3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Asit Maden Kaya Drenajı Tanımı

Madenler dünyada en çok sülfürlü atık materyal üreten endüstrilerden birisidir. Dünya çapında eski dönem madencilik faaliyetleri (kömür, altın, gümüş, bakır, nikel, uranyum, elmas vb.) önemli bir çevresel kirlilik mirası bırakmıştır (Nordstrom ve Alpers, 1999).

Avrupa'da MÖ 467'den önce Roma imparatorluğu döneminde işletildiği belirlenlenmiş madenlerden sızan asit maden drenajı günümüzde halen devam etmektedir (CSS, 2002; Jennings ve ark, 2008). Georgius Agricola, De Re Metallica (1556) adlı eserinde, onaltıncı yüzyıl madenciliğini gravürler ile detaylı olarak işlemenin yanı sıra akarsu tahribatını da anlatmıştır (www.gutenberg.org).

Madencilik ve çevre ilişkisinde içinden çıkılmaz en büyük tehdit unsuru olarak değerlendirilen kirlетici kaynağı maden alanıyla temas eden, su ya da çözeltilerdir (Karadeniz, 2008). Kirlenen ortam ise, yüzey suları, yeraltı suları, göl, akarsu vb. gibi doğal ortamlardaki su kaynaklarıdır. Madencilik faaliyetlerinin her aşamasında suyun ayrı bir önemi olup, bu önem işletme sürecine göre artmaktadır. Üretimde delik delme işleminden, hidrolik rambleye, çözeltili madenciliğı gibi yoğun su işlemi içeren uygulamalarda ayrıca cevherin zenginleştirme işlemlerinde de yoğun su kullanımı söz konusu olmaktadır. Piritik kükürt içeren kömür yataklarıyla, sülfür içeren metalik maden sahalarında, maden ile temas eden suların, oksijen ve mikroorganizmalar yardımıyla, sülfürlü mineralleri çözündürüp asiditesini yükseltme durumu bulunmaktadır (Karadeniz, 2008).

Asit maden drenajı, sülfür mineralleri içeren kömür, sülfürlü baz metal, uranyum ve değerli metal madenlerinin işletme sürecinde ve/veya işletme sonrası aşamasında, atmosferik koşullara maruz kalan bu minerallerin bozunmasıyla

ortaya çıkan ve gerek ülkemizde ve gerekse uluslararası yapılan bir çok madencilik faaliyeti sonrasında yaygın bir şekilde karşılaşılan önemli bir madencilik ve çevre sorunudur. Asit maden drenajı oluşumu genellikle pasa malzemesi, atık barajında biriken ve terk edilen cevher artıkları, konsantre stokları, açık ve yeraltı maden işletmeleri gibi bozunma süreçlerinin etkin olduğu yerlerde gözlenmektedir (Kontopoulos, 1996; Kuyucak, 2000). Daha çok kimyasal ve biyokimyasal bozunma ile oluşan bu özellik, genellikle pirit ve/veya kalkopirit gibi bir 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, 1981). Cevher mineralizasyonuna bağlı yüksek metal konsantrasyonu sonucu yüksek oranda toplam çözülmüş katı miktarı ve organik madde eksikliği ile çevresel olumsuzluklar oluşabilmektedir (Ulrich, 1999). Avustralya'da, terkedilmiş bir uranyum madenindeki atık kayalardan elde edilen AMD, Kuzey Toprakları'ndaki Finnis Nehri'nin yaklaşık dokuz kilometre boyunca sudaki faunanın kaybında temel neden olmuştur (NTDME, 1987).

3.1.1.1. Asit Maden Kaya Drenajı Oluşumu

Sülfidler, güçlü indirgeyici koşullar altında kararlıdır. Bu minerallerin oksitleyici koşullara maruz kalması, onları dengesizleştirecek ve sülfürler yoluyla çeşitli oksidasyon mekanizmaları ile parçalayacaktır. Pirit, sülfid minerallerinin en bol olanıdır, neredeyse tüm jeolojik ortamlarda meydana gelir ve yaygın olarak kömür ve metal cevheri yatakları ile birlikte ilişkilendirilir. Bu nedenle, pirit oksidasyonu kapsamlı bir şekilde detaylandırılmıştır.

Mineral oksijene maruz kaldığında pirit oksidasyonu gerçekleşir (Rimstidt ve Vaughan, 2003). Mikroorganizmaların varlığında ortaya çıkan oksidasyon

biyotik olarak bilinir. Pirit oksidasyonu ayrıca abiyotik olarak mikroorganizmalar olmadan da inorganik kimyasal oksidasyon işlemi olarak oluşabilir. Biyotik ve abiyotik degradasyon olabilir oksijen (yani direkt oksidasyon) veya oksijen ve demir (yani dolaylı oksidasyon) (Evangelou ve Zhang, 1995). Demir, iki değerli ve üç değerlikli hallerinde, piritin dolaylı oksidasyonunda merkezi bir rol oynamaktadır. Bu farklı pirit oksidasyon mekanizmaları şöyle özetlenebilir (Lottermoser, 2010);

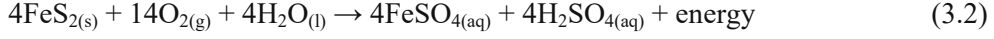
1. Oksijen ile oksidasyon (abiyotik doğrudan oksidasyon)
2. Mikroorganizmaların varlığında oksijen ile oksidasyon (biyotik direkt oksidasyon)
3. Oksijen ve demir yoluyla oksidasyon (abiyotik dolaylı oksidasyon)
4. Mikroorganizmaların varlığında oksijen ve demir ile oksidasyon (biyotik dolaylı oksidasyon)

Stokiyometrik kimyasal reaksiyonlar yaygın olarak bunları tanımlamak için kullanılır oksidasyon mekanizmalarıdır. Abiyotik ve biyotik doğrudan oksidasyon işlemlerinde (reaksiyonlar 1 ve 2), oksijenle pirit doğrudan oksitlenmektedir (Lottermoser, 2010):

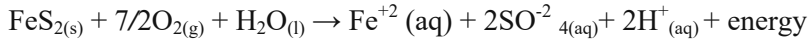


Bununla birlikte dolaylı oksidasyonla pirit oksidasyonunun öncelikle yapıldığı kabul edilmektedir (reaksiyon 3 ve 4). Piritin dolaylı oksidasyonu piritin oksijen ve ferrik demir (Fe^{+3}) ile kimyasal oksidasyonunu içerir. Bu tepkime birbirine bağlı üç adımda gerçekleşir. Piritin bu tür dolaylı oksidasyonu için genel olarak kabul edilen kimyasal denklemler;

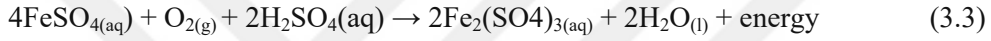
Piritin oksijen ile oksidasyonu (Adım 1):



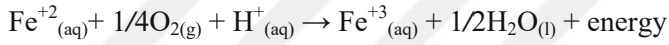
veya



Piritin Fe^{+2} ye oksidasyonu (2. Adım):



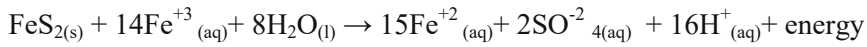
veya



Piritin ferrik demir ile oksidasyonu (3. Adım):



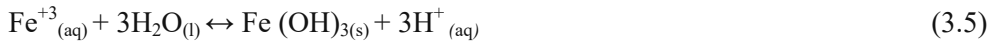
veya,



Reaksiyon 2-3-4 enerjii serbest bırakır. Dolaylı pirit oksidasyonu ekzotermiktir. İlk aşamada (Reaksiyon 2), pirit çözünmüş Fe^{+2} , sülfat ve hidrojen iyonları üretmek için oksijen ile oksitlenir. Çözünmüş demir sülfat iyonları suyun toplam çözünmüş katı maddelerinde bir artışa neden olur. Hidrojen iyonlarının

salınımı sülfat anyonları ile, başka reaksiyonlar ortaya çıkmadıkça, asidik bir çözelti ile sonuçlanır. İkinci adım (Reaksiyon 3) oksidasyonu temsil eder (Fe^{+2}) ile ferrik demire (Fe^{+3}) oksijen yoluyla ve düşük bir pH'ta meydana gelir. Üçüncü reaksiyonda (Reaksiyon 4) pirit, oluşturulan Fe^{+3} yardımıyla Reaksiyon 3'de oksitlenir. Böylece, Fe^{+3} piritin oksitleyici maddesi olarak işlev görür. Oksidasyon piritin Fe^{+3} ile sırayla daha fazla Fe^{+2} üretmesi gerçekleşir.

Pirit oksidasyonunun Fe^{+3} ile bu döngüsel yayılımı reaksiyon sistemine pirit veya Fe^{+3} tükenene kadar devam eder. Reaksiyon 4'ün gerçekleşmesi için oksijen gerekli değildir, yine de Fe^{+2} 'nin, Fe^{+3} 'e dönüştürülmesi gereklidir. Oksitleyici ajan Fe^{+3} 'ün bolluğu, hava koşullarının pH'ından etkilenir. Fe^{+3} 'ün çözünürlüğü nötr ve alkali sularda çok düşüktür. Bu nedenle, Fe^{+3} konsantrasyonları bu çözeltilerde çok düşüktür ve pirit oksidasyonu Fe^{+3} ile nötr bazda alkali sularda yavaş ve önemsizdir. Ayrıca çözünmüş Fe^{+3} konsantrasyonu, Fe^{+3} çözünürlüğü olarak artan pH ile azalır Ferrik hidroksitlerin ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) ve oksihidroksitlerin çökertilmesi ile sınırlıdır (FeOOH). Başka bir deyişle, eğer pH yaklaşık 3'ten daha fazla artarsa; kısmi nötürleştirme, örneğin, karbonat mineralleri reaksiyonları ortaya çıkacaktır:

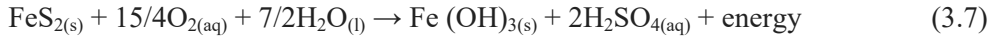


Çözünmüş Fe^{+3} (Reaksiyon 5 ve 6) yağışlarda önemli ölçüde Hidrojen iyonlarının suya salınması ile çözelti asitliği oluşturur . Bu reaksiyon pH'ı düşürür ve daha fazla Fe^{+3} 'ün çözeltide kalmasını sağlar. Fe^{+3} daha sonra piritin oksidasyonuna katılarak (Reaksiyon 4), bu pH'da daha fazla bir düşüşe yol açar.

Reaksiyon 5 ve 6'daki demir hidroksitlerin kimyasal çökeltilmeleri hidrolizi tanımlar. Hidroliz, su moleküllerinin reaksiyona girdiği kimyasal süreçtir. Çözünmüş katyonlar; katyonlar hidroksi grubuna ve hidrojene bağlanır iyonlar

serbest bırakılır. Sonuç olarak, hidroliz hidrojen üretimi ile sonuçlanır. Hidrojen iyonları böylece pH'ın düşmesine neden olur. Yukarıda belirtildiği gibi, hidroliz reaksiyonu demir, pH ile kontrol edilir. pH 3'ün altındaki asit koşulları altında, Fe^{+3} kalır çözümde daha yüksek pH değerlerinde, Fe^{+3} hidroksitlerin çökmesi meydana gelir. Böyle bir çökelti yaygın olarak bilinen kırmızımsı-sarı ila sarımsı-kahverengi renklerinde görülür.

Reaksiyon 2, 3, 4, 5 ve 6 moleküler varlığında olduğunu göstermektedir. Pirit içinde oksijen, Fe^{+2} ve S^{-2} katı demir hidroksitlerin üretilmesi için oksijen ile oksitlenir ve oksihidroksitlerin yanı sıra çözünmüş sülfat ve hidrojen iyonlarını içerir. Oksijen ve Fe^{+3} piritin ana oksidanlarıdır (Evangelou, 1998; Singer ve Stumm, 1970). Piritin oksidasyonu, hayati olanlardan biri olmadığı sürece süresiz olarak devam eder. Pirit oksidasyonun bileşenleri kaldırılır (yani Fe^{3+} , oksijen veya pirit) veya pH'ı ayrışma çözümü önemli ölçüde artar. Piritin reaksiyon yolları (Reaksiyonlar 2, 3, 4, 5 ve 6) AMD olarak anılır. Piritin dolaylı oksidasyonu (Reaksiyon 2, 3, 4, 5 ve 6) bir genel kimyasal reaksiyonla Reaksiyon 7'de verilmiştir:



Yukarıdaki reaksiyon, piritin ayrışmasını açıklar, ihtiyacı vurgular su ve oksijen için ve asit ve demir hidroksit üretimini göstermektedir. Bununla birlikte, literatürde kesin reaksiyon mekanizmaları hakkında çok az fikir birliği vardır. Piritin kimyasal oksidasyonunu tarif eder.

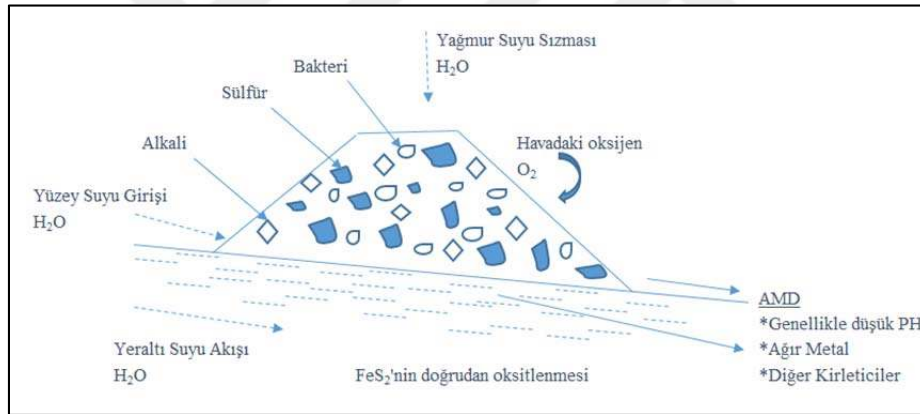
Reaksiyon 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 sadece gerçek alan için yaklaşık değerleri gösterir. Pirit zayıflıklarının mineralojik özelliklerinden ve dış kimyasal, fiziksel ve biyolojik faktörler önemli faktörlerdir.

Mineralojik özellikleri, parçacık büyüklüğü, gözeneklilik, yüzey alanı, kristalografi ve iz element içeriği, pirit dış faktörler, diğer sülfürlerin varlığı veya

Mikroorganizmaların yanı sıra oksijen ve karbon dioksit konsantrasyonunun bulunmaması, ayrışma çözeltisinin sıcaklığı, pH ve Fe^{+2} / Fe^{+3} oranı. Bu yüzden pirit oksidasyon hızı (yani, piritin yıpranma kinetiği) aşağıdaki faktörlere bağlıdır ; (Nordstrom ve Alpers, 1999; Ritchie, 1994).

- *Pirit parçacık büyüklüğü, gözeneklilik ve yüzey alanı
- *Pirit kristalografisi
- *İz element değişimi
- *Diğer sülfürlerin varlığı

Şekil 3.1’de AMD oluşm mekanizması şekilsel öğelerle verilmiştir.

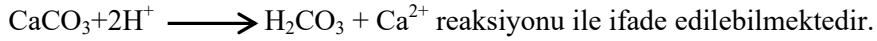


Şekil 3.1. Asit Maden Drenajı temsili gösterim (Robertson ve Kirsten, 1989; Karadeniz, 2008)

3.1.1.2. Nötürleşme Potansiyeli

Asidite üretiminde nem, hava ve sülfürlü mineraller birincil etmenler olarak adlandırılmıştır. Buna karşılık ortaya çıkan asidi nötürleştiren ve reaksiyon ürünleriyle tepkimeye giren kalsit ve dolomit gibi mineraller içeren karbonatlar ile daha az etkili bazı silikat mineralleri ikincil etmen olarak tanımlanmıştır. Oluşan asidi nötürleştiren veya reaksiyon ürünleriyle tepkiyenler ikincil, asidin

taşınmasında ve tüketilmesinde etken olanlar üçüncül faktörler olarak kabul edilirler. Bunlar oksitlenme sırasında açığa çıkan asit ile reaksiyona girerek ortamın pH'ını yükselterek çözünmeyi azaltıp nötürleştirmektedir. Bu olay da en basit şekliyle;



Buna göre, ortamın mineralojik yapısına bağlı olarak, hem oksidasyon, hem de nötürleştirme reaksiyonları gerçekleşebilir. Çoğu kez beşeri faaliyetlerinin dışında tamamen doğal olarak da gelişebilen AMD; düşük pH (yüksek asidite), yüksek iyon konsantrasyonu (zengin metal içeriği), askıda ve çözünmüş katı özellikleriyle çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Gray, 1997). Ancak bütün sülfürlü mineralleri içeren maden yataklarının işletilmesinde yan kayaç ve gang minerallerinin özelliklerini belirlemeden AMD'ye sebep olacağının ileri sürmek bilimsel bir yaklaşım değildir.

AMD'de üçüncül faktör olarak değerlendirilen gerek madenin bulunduğu ana veya yankayacın fiziksel yapısı, dokusu, tektonik özellikleri ve bölgede hüküm süren iklim durumu oluşacak drenajı büyük ölçüde etkilemektedir. Öte yandan cevher üretildikten sonra zenginleştirme işlemlerine başvuruluyorsa seçilen yöntem, tane boyutu ve kullanılan prosesteki kimyasallar bu asit drenajında elbette etkilidir. Madenin bulunduğu yerin topoğrafik özellikleri de önemli bir etkindir. AMD'nin ilk adımı sülfürlü demir mineralleri (pirit, pirotin, markazit gibi)'nin oksitlenmesi olup, sonra çözünmesiyle ortama yayılır ve pH'nın yükselmesiyle ikincil minerallerin çökmesiyle de son bulurak oluşan Demir şapka (gossan da denir) adı verilen bu oluşum yüzeye yakın konumda bulunan metalik maden cevherleşmelerinde gelişmektedir (Guilbert, 1985; Pertille ve ark, 2013; Yoğurtçuoğlu ve Alp, 2018'den). Demir şapka yapıları yüzeye yakın konumda olduğundan gerek hava fotoğrafları ve gerekse günümüzdeki uydu görüntülerinde jeologlar tarafından maden arama yöntemi olarak kullanılagelmiştir. Oksidasyon

zonunun başlangıcı olan bu demir şapkalar atmosferik suların yüzeydeki etkinliği ile asidik drenajı başlatır. Son 60 yılda çevresel bir kaygı olarak değerlendirilen asit drenajların belki de milyonlarca yıldır doğada var olduğu ama doğal dengeyle asiditeyi nötürleştirebilecek reaksiyonlarla korunduğu, dengelenemeyen yerlerde de kirlenmenin süregeldiği bilinmektedir. Asit maden drenajını yalnızca başta demir olmak üzere sülfür fazındaki metalik madenleriyle gerek üretim ve gerekse cevher hazırlama safhalarıyla sınırlandırmak gerçekçi bir tavır olacaktır. Cevher üretimi yapılırken kazı arınında veya stok sahasında ya da atık yığını ve barajlarının kapladığı alanlarda atmosferik sular ve havanın bol oksijeni (rüzgâr dahil) ile çözünerek pH'nı düşmesiyle artan asidite asit kaya drenajını oluşturmaktadır. Bazı mikroorganizmaların da bu olayda rol alması mümkündür. Bu sebeple başta kimyasal reaksiyonlarla başlayan bu olay fizikokimyasal, jeokimyasal ve biyokimyasal karaktere bürünmektedir (Karadeniz, 2008). Asit maden drenajında en önemli rolü oynayan pirit, pirotin ve markazit, magmatik ve hidrotermal maden yataklarında sıkça görülürler.

Sülfürlü demir minerallerinin sebep olduğu asiditenin nötürleşmesinde en etkin mineraller, yerkabuğunda yaygın olarak bulunan karbonat grubu içinde yer almaktadır. Karbonatlarla birlikte silikatlar, oksitler, hidroksitler ve oksihidroksitler nötürleştirme kapasitesine sahip mineral gruplarıdır. Bu minerallerin bir kısmı Çizelge 3.1' de, nötürleştirme kapasiteleri ise Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Oluşan asiditeyi nötürleştirme potansiyeli olan bazı mineraller (Paktunç, 1998).

Mineral	Kimyasal Formül	Mineral	Kimyasal Formül
Kalsit	CaCO_3	Kaolenit	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Albit	NaAl_3O_8
Ankerit	CaFeMgCO_3	Klorit	$\text{Mg}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
K-	KAlSi_3O_8	Anortit	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Biyotit	$\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{AlFe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	Olivin	$(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$
Muskovit	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Brusit	$\text{Mg}(\text{OH})_2$

Çizelge 3.2. Bazı minerallerin azami nötürleştirme potansiyeli (Paktunç, 1998).

Mineral	Kimyasal Formül	1 mol H ₂ SO ₄ 'i ntrleştirmek için gerekli mol sayısı
Kalsit	CaCO ₃	1
Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	1
Ankerit	CaFeMgCO ₃	1.25
Klorit	MgsAl ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	0.125
Muskovit	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂	0.2
Kaolenit	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0.67
Olivin	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	0.5
Homblend	Ca _{1.7} M _{3.5} Fe _{1.3} Al _{1.3} Si ₇ O ₂₂ (OH) ₂	0.11
K-Feldspat	KAlSi ₃ O ₈	0.5
Plajioklas (An ₀)	NaAlSi ₃ O ₈	0.5
Plajioklas (An ₁₀₀)	CaAlSi ₃ O ₈	0.25
Götit	Fe(OH) ₃	0.67
Brusit	Mg(OH) ₂	1
Gibs	Al(OH) ₃	0.67

Mineralin tamamen znei ve ikincil fazların çökelmeden etkilenmeyei varsayılmıştır.

3.1.1.3. Mikrobiyolojik Aktivite

AMD ortamları genellikle bol miktarda mikroorganizma içerir. Bu mikroorganizmalardan bazıları aerobik veya anaerobik koşullar altında gelişir ve asit veya nötr pH rejimlerinde aktif olurlar (Bernier ve Warren, 2007; Blowes ve ark, 1998; Bond ve ark, 2000).

Bazı bakteriler pH 2-3 ortamlarında özellikle iyi büyür. Bu asidofilik (yani asit seven) bakteriler Fe²⁺ 'in Fe³⁺ 'a dönüşümü, kükürt ve kükürt bileşiklerinin oksidasyonunda etindirler. Metal bileşiklerinin oksidasyonunu (yani ağırlıklı olarak Fe) kullanırlar ve büyümeleri için enerji elde etmek için kükürt bileşikleri kullanırlar. Bazı bakteriler Fe²⁺ nin Fe³⁺ 'e oksidasyonunu önemli ölçüde hızlandırır. Aslında, bu bakteriler, Fe²⁺ oksidasyon oranını hızlandırır; abiyotik, asit (pH<4) koşulları altında yavaş yavaş reaksiyona girer Fe³⁺ konsantrasyonunun artması, piriti okside eder ve asit oluşumunu hızlandırır. Kendi kendine kalıcı veya

otokatalitik bir reaksiyon olarak adlandırılan bir reaksiyon gelişir. Mikroorganizmalar Fe^{+2} oksidasyonu için bir reaksiyon katalizörü görevi görür. Bunlar; Acidithiobacillus ferrooxidans, Leptospirillum gibi demir oksitleyici bakteriler ferooksidans ve Ferroplasma spp.dir. Fe^{2+} ila Fe^{3+} 'ı okside ederken sülfür oksitleyici Acidithiobacillus thiooxidans gibi tiyobakteriler sülfidler ve diğer kükürt bileşiklerini oksitler. Bu aerobik bakteriler moleküler oksijen olduğunda Fe^{2+} ve sülfür bileşiklerinin oksidasyon hızını artırır (Lottermoser, 2010).

3.1.2. Asit Maden Drenajı Potansiyelinin Kestirimi

Asit Maden Drenajı için öncelikle uygun bir çözüm için, öncelikli olarak ocak, pasa alanı, stok alanında nötürleşme potansiyelinin (NP) tespit edilmelidir. Bunun için kinetik ve statik testlerden, matematiksel yöntemlerden faydalanılmaktadır (Yörükoğlu ve Karadeniz, 2003).

AMD sorununun çözümü için etkin bir çevre yönetimi uygulanmalıdır. Bu uygun zamanda yapılacak çalışmalar, potansiyelin yeterli oranlarda ortaya konmasına bağlıdır. AMD sorununun çözümü için etkin bir çevre yönetimi uygulanmalıdır. Bu uygun zamanda yapılacak çalışmalar, potansiyelin yeterli oranlarda ortaya konmasına bağlıdır. AMD sorununun çözümü için etkin bir çevre yönetimi uygulanmalıdır (Paktunç, 1999). Bunun için ilk adımda maden alanının ilgili yerlerinden alınan temsili numunelerin kimyasal ve mineralojik analizleriyle, onların fiziksel ve jeoteknik karakterlerinin tayinini, sıvı ve katı numunelerde demir ve kükürtleri oksitleyen bakterilerin mevcudiyetini ve miktarını tespit etmek gerekir (Kontopoulos ve ark, 1996).

Kestirim AMD'nin olup olmadığını, varsa büyüklüğünün, sürekliliğinin, çevreye metal salımlarının ve uzun dönem etkilerinin değerlendirilmesini kapsar. Kestirim için kullanılmakta olan yöntemler arasında jeokimyasal statik ve jeokimyasal dinamik (kinetik) testler, jeokimyasal modellemeler, liç (özütme) testleri, jeostatistiksel modellemeler (3D

modelleme), saha ve laboratuvar çalışmalarıyla sağlanan verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması sayılabilir. Ayrıca, benzer özellikler gösteren başka maden alanlarındaki artık malzeme ile ilgili gelişmelerden (gözlem ve izleme) edinilen veriler de çalışmalarda kullanılmaktadır.

En sık başvurulmuş metodlar arasındaki jeokimyasal statik testler, örneklenen sahaların asit üretme potansiyelleriyle üretilebilecek asidi nötürleştirme potansiyelleri arasındaki cebirsel farkın veya oranın sonucunda bulunan değer yorumuna dayalıdır. Büyük ölçüde kimyasal ve mineralojik analizler ile basit testlere dayalı olup; uygulama kolaylıkları, düşük maliyetleri ve kısa sürede netice vermeleri münasebetiyle tercih edilirler. Statik testler ya toplam sülfür veya sülfütlü mineral içeriğini dikkate alarak asit üretme potansiyelini öngörür. Toplam sülfür içeriği ile hesap yapıldığında, barit ve jips gibi asit üretmeyen mineraller de hesaba katıldığından gerçek değer üzerinde bir potansiyel değeri bulunur. Öte yandan, sülfütlü mineraller dikkate alınarak hesap yapıldığında ise melanterit, jarosit gibi asit üreten mineraller hesaba katılmadığından, bulunan değer gerçek potansiyelin altındadır. Buradan çıkarılacak sonuç odur ki, aynı numune için farklı statik test metodlarıyla birbirini tutmayan nötürleştirme potansiyeli değerleri bulunabilir. Burada, maden artıklarının tane boyutu, kullanılan asit, ilave edilen asit miktarı (ortamın pH değeri), sıcaklık, süre ve geriye titrasyon işlemi yapılıyorsa geriye titrasyonun nihai pH değeri gibi değişkenler buna sebep olabilir. En etkin olanları tane boyutu, asit ilavesi ve geriye titrasyon uygulamasıdır. Ortaya çıkabilecek farklılığın ne ölçüde büyük olabileceği numunenin mineralojisine bağlıdır.

Jeokimyasal kinetik testlerden sonuç alınması uzun sürmektedir. Sonuçlar doğal koşulların laboratuvar ortamında benzeştirilmesi esas alınarak elde edilmektedir.

En kısa süre zarfında sonuç almayı hedefleyen matematiksel modeller ise, asit drenaj oluşum mekanizmalarını birtakım varsayımlara dayanarak basite

indirger. Ancak, süre ve maliyet azalırken, güvenilirlik de azalmaktadır. Kullanımları henüz yaygın olmayıp, gelişme sürecinde oldukları söylenebilir.

Çalışmada maden sahasındaki faaliyetlerin AMD oluşturma potansiyelinin tespiti için jeokimyasal statik testler kullanılmıştır.

3.1.3. Çevresel Boyuttaki Önemi

Maden sahalarında cevher stok sahaları, pasa alanları, açık ve kapalı ocak yüzeyleri, atık barajları gibi AMD kaynaklarından oluşabilecek sızıntılar ile yeraltı sularına taşınan asidik karaktere sahip suların etkisiyle fiziksel, kimyasal ve ekolojik dengenin bozulmaması ve canlı yaşamının olumsuz bir şekilde etkilenmemesi için, AMD doğru olarak karakterize edilmeli, periyodik olarak izlenmeli ve yönetim prosedürleri oluşturulmalıdır. Uygun metodlarla karakterize edilen ve jeokimyasal modellemeler yapılarak yönetilen AMD, çevre kirliliğinin önlenmesi ve maden işletmesinin uzun vadede yaşayacağı sorunları ve maliyetleri engellemek açısından önem arz etmektedir.

Her maden sahasının kendine özgü bir karakteristiği olduğu için çözüm yöntemleri de bu karakteristiğe uygun bir şekilde uygulanmalıdır. Bunun için de sahanın jeolojik, topoğrafik, mineralojik, hidrojeolojik, çevresel ve madencilik anlamında iyi araştırılması, uygulanacak yöntemlerin başarılı olmasını sağlayacaktır.

İnsan faaliyetlerinin dışında tamamen doğal olarak da meydana gelebilen asit drenajı; düşük pH, yüksek iyon konsantrasyonu (zengin metal içeriği), asitide, çözünmüş ve askıda katı özellikleriyle çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir (Gray, 1997). Bu bağlamda üzerinde durulması gereken önemli husus, sülfür içeren her maden sahasında AMD probleminin oluşacağının ileri sürülmesinin doğru olmayacağıdır (Karadeniz, 2005).

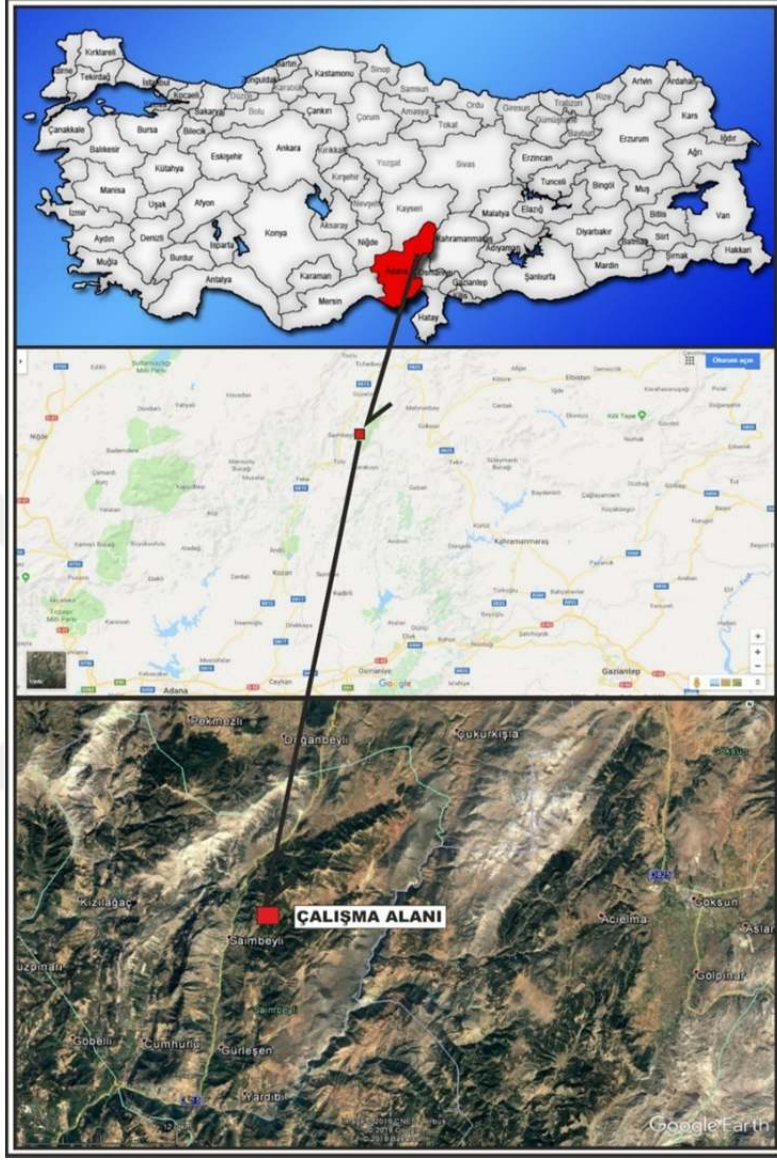
Bir maden işletmesinin planlanması aşamasında öncelikli olarak maden yatağının mineralojik, jeolojik, fiziksel, kimyasal, biyolojik ve bölgesel açıdan

inceleyip değerlendirerek tanımlamak gerekmektedir (Karadeniz, 2004). Bu değerlendirme sonrasında statik ve kinetik testler yada farklı kestirim yöntemi kullanarak (Yörükoğlu ve Karadeniz, 2003), asit maden drenajına ilişkin oluşma potansiyellerini önceden, belli oranda da olsa belirlemek gerekir.

Belirtilen değerlendirme ve işlemlerden sonra, bir maden işletmesinde AMD oluşturma potansiyeli varlığı tespit edilmişse, örtü kayaç veya pasanın kontrollü bir şekilde stoklanması ve suların yönetimi temeline dayanan, sorun ortaya çıkmasını engellemek adına kaynağında önleme prensibi doğru bir tercih olacaktır. Bu açıdan bakıldığında kaynağında önleme tartışmasız en etkin ve ucuz yöntem olmaktadır. Kaynağında önleme prensibine göre gerekli çalışmalar yapılarak sorun oluşmadan önce halledilmez ise maden yatağının mineralojik ve jeolojik yapısı, üretim yöntemi, tesis ömrü, yeraltı ve yerüstü su rejimi, sahanın topografyası, bölgenin iklimi ve maliyet dikkate alınarak en uygun arıtma yöntemi belirlenmelidir (Karadeniz, 2005).

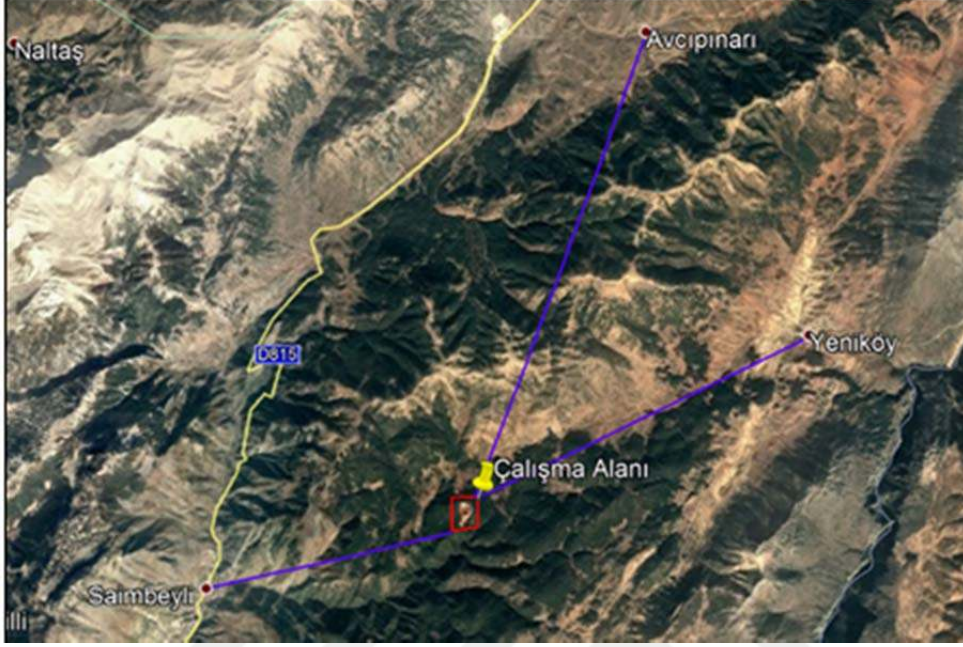
3.1.4. Çalışma Alanı Genel Bilgi

Çalışma alanı Adana İl merkezine 180 km, Saimbeyli İlçesine 22 km mesafede yer almaktadır (Şekil 3.2, Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Proje alanı yer bulduru haritası (Google Maps)

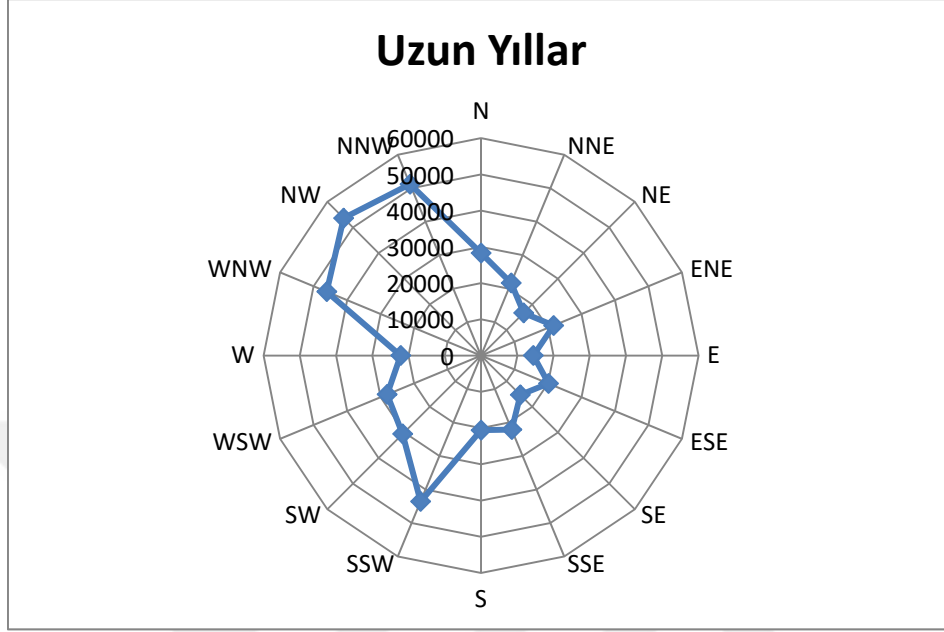
Çalışma alanına, D815 Karayolunun Saimbeli-Tufanbeyli istikmetinde 12. kilometresinden orman yolu 10 km. takip edilerek ulaşılabilir. Sahanın yakın çevresinde herhangi bir yerleşim yeri bulunmamaktadır. Sahaya en yakın yerleşim yeri 6500 m. Kuzeydoğu istikametinde Yeniköy'dür.



Şekil 3.3. Proje alanı ve çevresini gösterir uydu görüntüsü (Google Maps)

3.1.4.1. İklimsel Özellikler

Bölge iklim olarak Akdeniz kuşağı içine girmekte ve İç Anadolu'nun karasal iklimi etkisi altında kalmaktadır. Kışları sert ve soğuk, yazları serin ve yağışlıdır. 1961-2018 Yılları Arası Rüzgar Esme Sayılarına Göre Rüzgar Gücü diyagramı Şekil 3.4'de verilmiştir. Çalışma bölgesi meteorolojik verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen, bölgeyi temsil eden rasathane kayıtlarına göre oluşturulmuştur.



Şekil 3.4. 1961-2018 yılları arası rüzgar esme sayılarına göre rüzgar gülü

Çizelge 3.3. Şekil 3.4 incelendiği zaman 1. Hakim Rüzgar yönünün NW, 2. Hakim Rüzgar Yönünün NNW, 3. Hakim Rüzgar Yönünün WNW olduğu görülmektedir. Çalışma alanı ve çevresinde kuzey yönlü rüzgarlar hakimdir.

Çizelge 3.3. Uzun yıllar yönlerine göre rüzgar esme sayıları toplamı

Yönler	Uzun Yıllar Yönlerine Göre Rüzgar Esme Sayıları Toplamı (1961-2017)
N	28299
NNE	21694
NE	16634
ENE	21674
E	14414
ESE	20143
SE	15329
SSE	22134
S	20605
SSW	43597
SW	30613
WSW	28035
W	22174
WNW	46075
NW	53629
NNW	51174

Bölgenin uzun yıllar meteorolojik verilerine göre yıllık sıcaklık ortalaması 8.8 °C dir. Çalışma alanında karasal iklim özellikleri hakim sürmektedir. Yaz ayları nispeten daha sıcak geçmekte olup kış aylarında sıcaklık düşmektedir. Uzun yıllar verilerine göre ocak ayı sıcaklık ortalaması -3.9 °C'dir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Aylık ve yıllık sıcaklık ortalaması

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)
Ocak	-3.9
Şubat	-2.3
Mart	2.8
Nisan	8.4
Mayıs	12.7
Haziran	17.2
Temmuz	20.8
Ağustos	20.5
Eylül	16.1
Ekim	10.6
Kasım	4.2
Aralık	-1

Bölgenin uzun yıllar meteorolojik verilerine göre toplam yıllık yağış ortalaması 362.71 mm/kg-m²'dir. Bölgede en az yağış yaz aylarında görülmekte olup diğer aylarda yağış artmaktadır. En fazla yağış Bahar ve Kış aylarında görülmektedir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Aylık ve yıllık yağış ortalaması

Aylar ve Yıl	Aylık ve Yıllık Toplam Yağış Ortalaması (mm=kg÷m ²)
Ocak	44.84
Şubat	35.28
Mart	58.51
Nisan	47.75
Mayıs	43.8
Haziran	18.89
Temmuz	7.36
Ağustos	7.05
Eylül	9.07
Ekim	36.93
Kasım	41.53
Aralık	40.98
Yıllık	362.71

Bölgedeki yağış ve sıcaklık ortalamaları potansiyel kayaç ve cevherlerin daha kolay/zor alterasyona uğramalarını noktasında önemlidir. Çalışma alanında bulunan mevcut durum özellikle uzun süreli kar örtüsünün bulunması, sıcaklık ortalamalarının yaz aylarında kısmen yüksek olması kimyasal dönüşümü hızlandırıcı bir etki yapacaktır.

3.1.4.2. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı, 1/100.000 ölçekli Kozan L36 ve M36 paftaları içerisinde yer almaktadır.

İnceleme alanı bölgesel olarak Toros kuşağında, Ecemiş Fayı ile Yumurtalık Fayı arasında oluşur. Bu sınırlar içerisinde kalan Adana İli ve çevresi, ayırtman stratigrafi, yapı ve kaya türü özellikleri açısından, aralarında belirgin ayrımlar bulunan, birbirleriyle tektonik dokanıklı değişik tektonostratigrafik birlikleri kapsar (Usta, 2004).

Bölgede Toros Tektonostratigrafik istiflerden Geyik Dağı Birliğine ait kayaçlar yer almaktadır.

Bölgedeki kayaçlar Üst Devoniyen–Orta Devoniyen yaşlı karbonatlar ve kırıntılılar olarak adlandırılmıştır.

Cevherleşme, Üst Devoniyen şeyl kumtaşı-kireçtaşı ardalanmasının tabanında bu formasyonların oluşturdukları bir kapanda dolomitik kireçtaşları içinde hidrotermal metasomatik olarak yerleşmiştir.

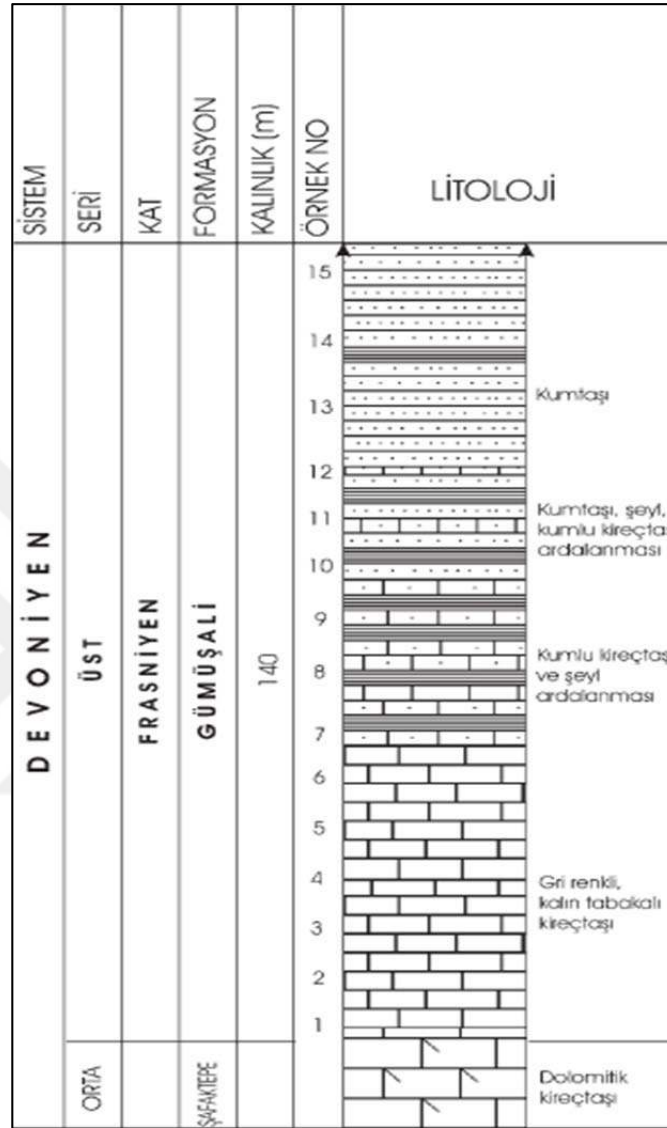
Çalışma alanı ve çevresinde gözlemlenen formasyonlar Demirtaşlı (1967)'e göre yaşlıdan gence doğru Şafaktepe Formasyonu; bütünüyle kireçtaşından yapılmış olup koyu gri, siyah; kalın tabakalı, masif ve yer yer dolomitiktir ve Orta Devoniyen yaşlıdır, Gümüşali Formasyonu; formasyon kumtaşı, şeyl ve kireçtaşı ardalanmalıdır ve Üst Devoniyen yaşlıdır.

Gümüşali formasyonu, ilk kez Demirtaşlı (1967) ile Özgül ve ark (1973) tarafından ayrırtılan birim, kireçtaşı–şeyl ardalanmasıyla başlayıp kireçtaşı–şeyl-

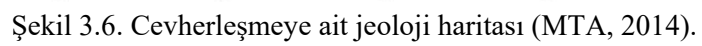
kumtaşı ardalanmasıyla devam etmektedir. Tabanda orta-kalın ve üst seviyelerde ince-orta tabakalı olan birim gri, siyah ve kahve renklidir. Tabaka yüzeylerinde kurt izleri ve ripl marklar gözlenmektedir. Tabandaki kireçtaşları bol mercan fosili içermektedir. Sıcak, sık ve dalga enerjisinin etkin olduğu bir ortamda çökelen birimin yaşı Üst Devoniyen olarak tespit edilmiştir. Formasyon tabandan tavana doğru kireçtaşı-şeyl ardalanması, kireçtaşı-şeyl-kumtaşı ardalanması ve kumtaşı litolojilerinden oluşmaktadır (Özgül ve ark, 1973).

Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti aşağıda yer almaktadır (Şekil 3.5).

Cevherleşme Orta Devoniyen yaşlı formasyon bünyesinde bulunmaktadır Orta-Üst Devoniyen birim stratigrafik kesit, çalışma alanı jeoloji haritası Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5. Gümüşali formasyonu stratigrafik kesiti (Nalcıoğlu, 2004)



kesiminin faylarla sınırlanmış olması batı bölümleri ile doğu bölümleri arasında bir eğim farkının oluşmasına neden olmuştur. Güneyde yer alan dağlık ve tepelik alanların ikinci grubunu Yeniköy'ün batısında Avcıpınar köyünün doğusunda KD-GB doğrultusunda uzanmakta olan Göçyolu, Üçkoyak, Süt ve Yalıncak tepelerinin oluşturduğu yüksek kütle oluşturur (Ege ve Tonbul, 2003).

Çalışma alanında hali hazırda açılmış ancak işletme faaliyeti çalışma zaman çizelgesinde bulunmayan bir cevherleşme alanı bulunmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Gümüşali formasyonu içerisinde gözlenen demir cevherleşmesinin arazi görüntüsü

3.1.4.4. Örnek Alım Noktaları

Cevherleşme, kalın katmanlı kireçtaşı içerisinde merceksel olarak bulunmaktadır. Bölgeden alınan örnek numune alım noktaları Şekil 3.9’da uydu görüntüsü üzerinde verilmiştir.

Numune alım koordinatları ise Çizelge 3.6’da verilmiştir. Çalışma alanından 10 adet cevher numunesi (C1 - C10 olarak kodlanmış), 10 adet yan kayaç numunesi (K1-K10 olarak kodlanmış) alınmıştır (Şekil 3.9, Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Çalışma alanında yapılan arazi çalışmalarında alınan örneklere ait noktaların işaretlendiği uydu görüntüsü (C: Cevher, K:Yankayaç)

Çizelge 3.6. Numune alım yeri ve koordinatları

Numune No	Numune Alım Yeri	Numune Koordinatları (Y-X)
C1	Cevher	249075-4209573
C2	Cevher alt zon	249045-4209590
C3	Cevher alt zon (-10 kotu)	249057-4209685
C4	Cevher	249049-4209468
C5	Cevher	249102- 4209605
C6	Cevher	249128-4209534
C7	Stok Sahası	249068-4209700
C8	Stok Sahası	249062-4209649
C9	Stok Sahası	249068-4209700
C10	Stok Sahası	249062-4209649
K1	Yankayaç	249060-4209579
K2	Yan Kayaç	249041-4209575
K3	Yan Kayaç	249036-4209485
K4	Yan Kayaç	249133-4209600
K5	Yan Kayaç	249013-4209410
K6	Alan Yan Kayaç	248969-4209314
K7	Yankayaç	248998-4209314
K8	Yankayaç	249109-4209372
K9	Yankayaç	249168-4209453
K10	Yankayaç	249099-4209424

C: Cevher, K:Yankayaç



Şekil 3.10. Cevherleşmeden örnek alım işlemi

3.2. Metod

Çalışma alanından cevher örnekleriyle bu bölgedeki kayalardan alınan 10'ar adet numunenin ince ve parlak kesitleri üzerinde determinasyon cevher ve yankayaç mineralleri ortaya çıkarılmıştır.

3.2.1. Cevher ve Yankayaç Minerolojisi

Çalışma alanından cevher örnekleriyle bu bölgedeki kayalardan alınan 10 adet numunenin (Çizelge 3.6, Şekil 3.9) ince ve parlak kesitleri üzerinde, Stereo mikraskopta ve binoküler mikraskopta incelenerek, determinasyon cevher ve yankayaç mineralleri ortaya çıkarılmıştır.

3.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Arazi çalışmaları sırasında stok alanından, ocak sahasından alınan cevher ve yan kayaç örnekleri üzerinde aşağıda detayları verilen ve AMD potansiyelinin anlaşılmasında ilk adım olan bir dizi statik test yapılmıştır. Bu testler AMD ile ilişkisi olan kayaç ve cevherin karakterlerinin tanımlanmasını içermektedir (Lapakko, 2002). Jeokimyasal statik testlere tabii tutulan örnekler cevherden alınan (C1-C10) ile yan kayaktan alınan (K1-K10) örneklerdir. Jeokimyasal statik testler için farklı yöntemler geliştirilmiş olmakla birlikte, temelde sülfürlü minerallerin AÜP'leri (sülfür minerallerinin oksidasyonu) ile karşı grupta yer alan minerallerin (karbonatlar ve silikat minerallerinin çözünürlükleri) asiti nötrleştirme kapasiteleri arasındaki denge irdelenmektedir (EPA, 1994; Environment Australia, 1997).

3.2.2.1. Numune Hazırlanması

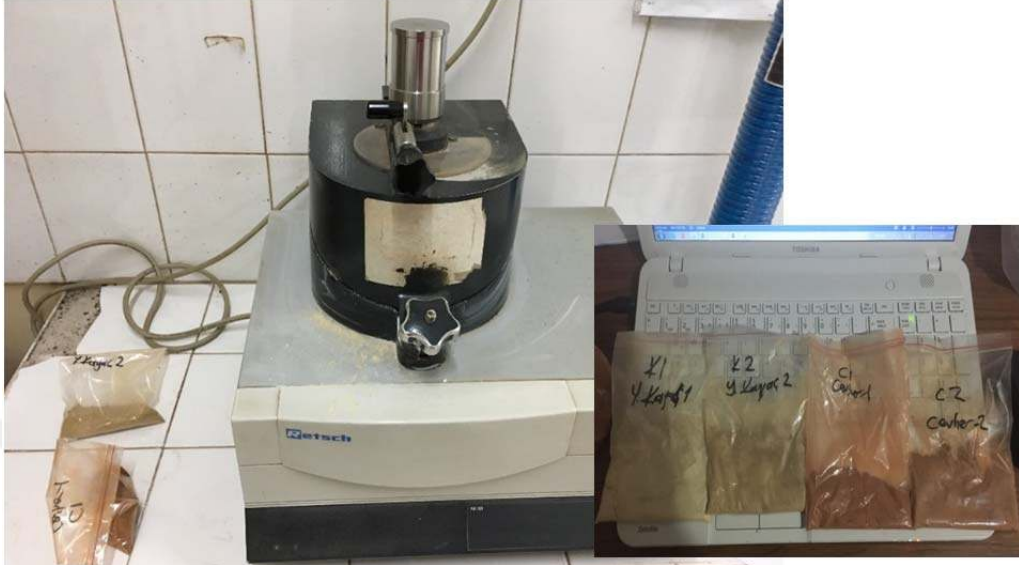
Çalışma alanından alınan cevher ve yan kayaç örnekleri Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında hazırlanmıştır (Şekil 3.11-12-13). Laboratuvara getirilen numuneler Nüve 120 Kuru Havalı Sterilizatörde 24 saat kurutma işlemine tabi tutularak nemi giderilmiştir.



Şekil 3.11. Örnek numuneler



Şekil 3.12. Numunelerin kırıcıda öğütülmesi



Şekil 3.13. Luppo kırıcıda numunelerin hazırlanması

Kırıcıda öğütülen numuneler homojen bir karışım elde edebilmek için konileme, dörtleme, numune azaltma yöntemiyle luppo kırıcıda öğütülmek üzere hazırlanmıştır.

Numuneler hazırlandıktan sonra analiz aşamasına geçilmiştir.

3.2.2.2. Kimyasal Analiz Yöntemi

X-Işını Floresans analizi; katı, toz ve sıvı numunelerinin içerdiği elemanların nitel ve nicel analizlerini yapmak için kullanılmaktadır. XRF berilyumdan uranyuma kadar olan elementlerin ppm seviyesinden %100'e kadar ölçümleri yapılabilmektedir. XRF Spektroskopisi yöntemi ile toz örneklerinin analizi yapılmaktadır.

XRF analizinde kullanılacak olan numune örnekleri 250 mikron boyutunda olmalıdır. Bu boyuttaki numuneden 10 g alınarak üzerine %20 oranında bağlayıcı malzeme eklenir ve homojen bir karışım elde edene kadar karıştırılır.

Karışım alüminyum kapsüle konarak hidrolik pres içerisinde yaklaşık 10-12 tonluk basınç ile tablet haline getirildikten sonra analize hazır hale gelmiş olur. XRF analizleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında ve Panalytical (MiniPal-4) marka X-Işını Floresans (XRF) cihazı ile ve MTA Jeokimya Laboratuvarında Thermo ARL marka XRF cihazı ile yapılmıştır.

3.2.2.3. X-Işını Difraktometresi (XRD) Ölçümleri

Luppo Kırıcıda hazırlanan cevher ve yankayaç numunelerinden 2 gr'lık numuneler hazırlanarak Çukurova Üniversitesi Merkezi Laboratuvarda XRD analizleri yapılmıştır.

3.2.2.4. Mineraloji Tespit Çalışmaları

Ocak alanı ve stok alanından alınan cevher örnekleriyle bu bölgedeki kayaçlardan alınan 10 adet numunenin ince ve parlak kesitleri üzerinde Polarizan ve Maden Mikroskobu üzerinde incelenerek determinasyon yapılmış cevher ve yankayaç mineralleri ortaya çıkarılmıştır. Kayaç ve cevher örnekleri lupla, kırıcıdan geçirilerek milimetrik boyuta indirgenmiş hali ile stereo mikroskopta ve ince kesit haline getirilen örnekler ise binoküler mikroskopta incelenerek mineralojik içerik ve petrografik özellikler saptanmıştır.

3.2.2.5. Fışkırdama Testi

Örnekler üzerinde fışkırdama testleri uygulanmıştır. Alınan örnekler üzerinde 1 birim suya 3 birim HCl karıştırılarak asit çözeltisi elde edilir ve 0,5 g numune üzerine damlatılır ve kaynama izlenir. Fışkırdama veya köpürmenin şiddetine göre tane boyutu 60 mesh'den küçük olacak şekilde öğütülmüş 2 g numuneyle muameleye tabi tutularak HCl çözeltisinin hacim ve konsantrasyonu belirlenir. Asit miktarının hacmi ve konsantrasyonu belirlendikten sonra numune asit ile karıştırılır. Bu karışım kabarcıklaşma son buluncaya kadar ısıtılır ve oda

sıcaklığında soğumaya terk edilir. Reaksiyon boyunca tüketilen asit miktarı NaOH ile pH 7 oluncaya kadar titrasyona tabi tutularak deney numunesinin nötürleştirme değeri hesaplanır. NP birimi olarak daha çok $\text{CaCO}_3/1000$ ton veya kg CaCO_3 eşdeğeri/ton numune, daha seyrek olarak da % CaCO_3 ile kg $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{t}$ numune kullanılmaktadır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Fışkırdama testi için fışkırdama gözlemiyle asit miktar ve şiddetinin belirlenmesi (Paktunç, 1998).

Fışkırdama Hızı	Gözlem	Asit Miktarı	Asit Şiddeti
0-Yok	Tepkime yok	20 ml	0,1 M
1-Hafif	Çok az tepkime, saniyede birkaçtan çok sayıda küçük baloncucu kadar	40 ml	0,1 M
2-Orta Şiddette	Küçük sıçramayla beraber aktif baloncuklaşma	40 ml	0,5M
3-Kuvvetli	Esaslı sıçramalar içeren son derece aktif baloncuklaşma	80 ml	0,5 M

3.2.2.6. Laboratuvar Sonuçlarına Göre Yapılan Hesaplamalar

XRF analizi, Fışkırdama Testi, XRD analizleri sonuçlara göre kayaç, cevher parajenezleri ortaya çıkarılmıştır.

Sahanın AÜP, NP, NNP, Fışkırdama Testleri statik ve kimyasal testler sonuçları kapsamında teorik hesaplamalar yapılarak irdelenmiştir.

Toplam karbonat miktarı hesaplaması Çizelge 3.8'e göre yapılmıştır.

Çizelge 3.8. Toplam karbonat formül tablosu

% CaO	% MgO	X_{CaCO_3}	X_{MgCO_3}	$X_{CaMg(CO_3)_2}$	Toplam karbonat
		(%)	(%)	(%)	$X_{CaCO_3} + X_{CaMg(CO_3)_2}$

Toplam S'e göre AÜP, üretilcek malzemenin her tonunu nötrleştirebilmek için gerekli $CaCO_3$ eşdeğeri ton biriminden Çizelge 3.9'a göre verilmiştir.

Çizelge 3.9. Toplam kükürde göre AÜP hesaplama tablosu

% Toplam S	Üretilcek malzemenin her tonunu nötrleştirebilmek için gerekli $CaCO_3$ eşdeğeri ton biriminde AÜP
------------	--

Toplam % S = % Sülfidik S + % Sülfat S + % Organik S

AÜP=31,25 * % S eşitliği uygulamalarda oldukça kabul gören bir hesaplama yöntemidir. Sülfürler sadece çözünürlükleri yönüyle değil, çözündüklerinde asit üretilip üretilmemesi bakımından da değişkenlik gösterirler.

Asit oluşumu gerçekleşecekse bunun su ve oksijenle olması öteki alternatiflerden çok daha muhtemel olduğu ve diğer oksitleyici olasılıkların çok özel şartlarda gerçekleşebileceği ve oksitleyici olarak Fe^{3+} ve Mn iyonlarının reaksiyonların başlangıçta yer alma olasılığının çok düşük olacağı jeokimyanın temel konuları arasında belirtilmektedir (Marin ve Hutt, 1997).

Yığın asit üretme potansiyeli;

$$YAP = \sum_{S=1}^k \frac{n_{M,a} * \omega_a * X_s * 10}{\omega_s}$$

YAP : Yığın Asit Potansiyeli (sülfürik asit eşdeğeri (kg/ton))

$n_{M,a}$: Stokiyometrik faktör (1 mol sülfürlü mineralin oksidasyonu ile oluşan sülfürik asidin mol sayısı, pirit için 2 ve pirotin için 1 alınır)

ω_a	: Sülfürik asidin moleküler ağırlığı (g/mol)
ω_s	: Sülfürlü mineralin S'nin moleküler ağırlığı (g/mol)
X_s	: Sülfürlü mineral S'nin numunedeki ağırlıkça yüzdesi
k	: Numunedeki sülfürlü minerallerin sayısı
10	: Çevrim faktörü (kg/ton)

ile hesaplanmıştır.

AÜP ve NP hesaplandıktan sonra NNP bir matematiksel işlemle belirlenmektedir. Bu hesaplamada numunedeki S içeriği yardımıyla hesaplanan AÜP nin ve test edilerek ölçülen NP'nin birimlerinin aynı olması gerekir.

Çalışma alanında henüz cevher alımı ilerletilmediğinden henüz yığın uygulaması şu anda imkansızdır. Bu formülü alınan numuneler üzerinde Paktunç (1998) yöntemini uygularsak; tarafımızdan alınan numunelerin sahayı temsil ettiğini varsayıp bulunan kükürt içeriklerinin de tamamının sülfürlü minerallerden kaynaklandığı savıyla örneğin bir alanı karakterize ettiği öngörüldüğünde sülfürik asit eşdeğeri olarak bulunan AÜP hesaplama detayı Çizelge 3.10'da verilmiştir. NP detay bilgisi Çizelge 3.11 ve NNP detay bilgisi Çizelge 3.12' de verilmiştir.

Çizelge 3.10. Paktunç (1998) yöntemiyle asit üretim potansiyeli hesaplama tablosu

X_s (%)	W_s (g/mol)	W_a (g/mol)	$n_{M,a}$	AÜP (kg/ton) Sülfürik asit eşdeğeri
-----------	------------------	---------------	-----------	--

Nötürleşme potansiyeli CaCO_3 ve $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ içeriği, kızdırma kaybı esas olarak karbonat minerallerinden kaynaklandığı varsayılmıştır. Paktunç (1998) yönteminde belirtilen benzer kabullerle hesaplanan nötürleştirme potansiyeli detay bilgisi Çizelge 3.9 'da verilmiştir.

Çizelge 3.11. Nötürleşme potansiyeli hesaplama tablosu

Wa	$n_{M,a}$	X_{CaCO_3}	W_{CaCO_3}	$X_{CaMg(CO_3)_2}$	$W_{CaMg(CO_3)_2}$	NP_{CaCO_3}	$NP_{CaMg(CO_3)_2}$	$\Sigma NP(kg/ton)$
(g/mol)		(%)	(g/mol)	(%)	(g/mol)	(kg/ton)	(kg/ton)	sülfürik asit eşdeğeri

$NNP = NP - A\ddot{U}P$ veya $NNP = NP / A\ddot{U}P$ eşitliklerinden biri kullanılarak hesaplanır. Net nötürleşme potansiyeli detay bilgisi Çizelge 3.12 'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Net nötürleştirme potansiyeli formül tablosu

A $\ddot{U}P$	NP	$NNP(NP - A\ddot{U}P)$	$NNP(NP / A\ddot{U}P)$
---------------	----	------------------------	------------------------

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Asit maden drenajının oluşum potansiyelinin tespitinde, nispeten basit denebilecek ve aynı ölçüde çabuk sonuç veren statik testler sıkça başvurulmuş yöntemlerdir. Bu kapsamda Adana İl merkezine 180 km, Saimbeyli İlçesine 22 km mesafede yer alan demir cevherleşmesinin asit üretme potansiyelinin araştırılması bölgede bulunan oldukça fazla olan rezervin değerlendirilmesi noktasında oluşabilecek problemlerin öncesinde referans olacaktır. Sahanın, statik ve kimyasal testleri yapılarak elde edilen verilerle AÜP, NP, NNP hesaplanarak sonuç irdelenmiştir.

Numunelerin asit ve nötürleştirme potansiyellerinin belirlenmesinde esas hata kaynağı, arazi çalışmalarıyla derlenen numunelerin incelenen maden sahasını temsil etmesi veya etmemesi ile ilgilidir. Bu çalışmada arazi incelenerek potansiyel olarak görülen noktalar koordinat bilgileri ile Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Demir Cevheri oluşumu Orta Devoniyen dolomitik kireçtaşları içinde Üst Devoniyen şeyl kumtaşı-kireçtaşı ardalanmasının tabanında Orta-Üst Devoniyen yaşlı birimlerin oluşturdukları bir kapanda yerleşmiştir (Şekil 4.1, 4.2). Cevherleşmede hematit-limonit gelişimi önceliklidir (Şekil 4.3).



şekil 4.1. Arazi genel görünüm



şekil 4.2. Yankayaç-cevher görünümü



şekil 4.3. Limonit oluşumu

4.1. Yankayaç Kimyasal ve Minerolojik Analiz Sonuçları

Araziden getirilen örneklerden yapılan mineralojik ve kimyasal test sonuçlarına göre kayaç kalsit-dolomit mineral determinasyonuna göre kalkerli dolomit olarak isimlendirilmiştir.

Kalkerli dolomitler hidrotermal-metasomatik oluşumlardır. Bu tür dolomitleşmenin erken diyajenetik olduğu düşünülmektedir. Kimyasal analizlerle başta sülfür ve karbonat miktarları olmak üzere ortamda tepkimeye girebilecek metalik ve diğer iyonların varlığı tayin edilerek maden sahasının asit üretme potansiyelinin olup olmadığı, tepkime ürünlerinin neler olabileceği, oksitlenme reaksiyonlarının hangi aşamaya kadar devam edebileceği ve drenaj sularının karakterinin nasıl gelişebileceği öngörülebilmektedir.

4.1.1. Yankayaç Kimyasal Analiz Sonuçları

Koordinatlı olarak alınan kayaç örneklerinden MTA laboratuvarında yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yankayaç XRF analiz sonuçları

Element	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
% CaO	35.2	30.6	51.8	39.3	35.7	36.02	33.7	36.8	33.7	35.2
% MgO	15.8	3	2.98	10	14.2	16.3	14.5	15.4	16.7	13.5
% Al ₂ O ₃	0.2	2.1	1.4	0.2	0.8	0.5	1.8	3.2	0.4	2.3
% SiO ₂	0.3	5	0.3	0.8	3.2	0.5	4.1	4.7	0.2	2.8
% ZnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
% MnO	0.1	0.1	0.74	0.1	0.1	0.1	0.1	0.74	0.1	0.74
% Fe ₂ O ₃	1.6	26.8	6.04	1.6	2.3	1.6	2.1	2.01	1.6	6.04
A.K.	46.5	31.25	36.08	39.81	41.03	44.9	40.8	31.8	46.9	38.06

Alınan 10 örnekten K2 (cevher zonuna çok yakın) hariç esas olarak karbonat içerikli olduğu ve demir içeriğinin fazla değişkenlik göstermemesine

rağmen silis içeriğinin % 5'e kadar çıkabildiği görülmektedir. Bu özellikteki bir yankayacın kırık ve çatlaklarında yataklanmış olması oksitlenme ve alterasyonlar sırasında ortaya çıkacak AMD'nin nötürleşmesinde ortamı bazikleştirerek çözülmeye karşı büyük avantaj sağlayacaktır.

Numunelerinin kızdırma kayıpları ve mineralojik incelemelere dayanan karbonat içerikleri ve CaCO_3 - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ içerikleri esas alınarak (Çizelge 4.1'de görülen kızdırma kayıplarının esas olarak karbonat minerallerinden kaynaklandığı varsayılmıştır) toplam karbonat miktarları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Örneklere ait % CaCO_3 ve % $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ değerleri

	Kızdırma Kayıpları	X_{CaCO3}	X_{CaMg(CO3)2}	Toplam Karbonat
Numune No	(%) (1000°C'de 2 Saat)	(%)	(%)	(%)
K1	46.5	62.76	33	95.80
K2	31.25	54.56	6	60.83
K3	36.08	92.36	6	98.59
K4	39.81	70.07	21	90.98
K5	41.03	63.65	34	93.35
K6	44.9	64.22	32	98.31
K7	40.8	60.09	30	90.41
K8	31.8	65.61	32	97.82
K9	46.9	60.09	35	95.01
K10	38.06	62.76	28	90.99

4.1.1.1. Yankayaç S Analiz Sonuçları

10 adet Yan kayaç örneklerinden yapılan S analiz sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Yan kayaç örneklerindeki kükürt miktarları

KAYAÇ NUMUNE NO	% TOPLAM S
K1	0.25
K2	0.42
K3	0.25
K4	0.41
K5	0.21
K6	0.40
K7	0.35
K8	0.25
K9	0.42
K10	0.30

Kayaç içerisinde % toplam kükürt (S) 0.21-0.42 aralığında tespit edilmiştir. Bu oran karbonatlı kayaç normal içeriğine göre yüksek bir değerdir. Örneklerde sülfatik kükürt ve organik kükürt oranı göz ardı edilecek miktarlarda olduğu için bulunan oran piritik kükürt olarak değerlendirilmiştir.

4.1.2. Yankayaç Mineralojik Analiz Sonuçları

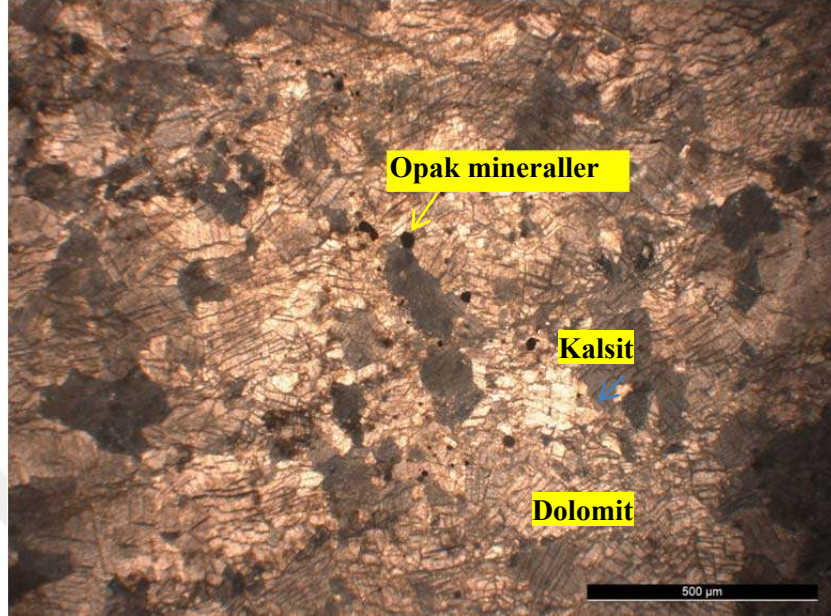
Araziden getirilen 10 adet kayaç örneğinin ince kesit üzerinde incelenerek determinasyon yapılmış yankayaç parajenezleri ortaya çıkarılmıştır.

Makro özellikleri ile; gri renkli, hafif kokulu, HCl asite tepkili kayaç mikroskop analiz sonucunda kalsit, dolomit ve opak minerallerden oluşmaktadır (Şekil 4.4).

Dolomit mineralleri yüksek röliefi ile belirgin olup, kataklastik bir görünümde bulunmaktadır.

Kalsit; basınç ikizli ve özşekilsizdir.

Opak mineraller fromboidal görünümde demir minerali olarak tahmin edilmiştir.

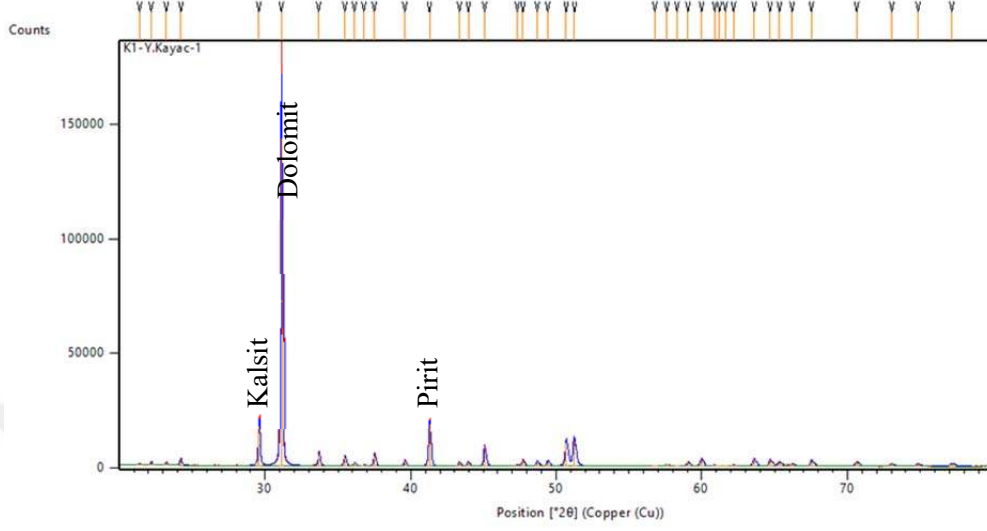


Şekil 4.4. Dolomit, kalsit ve opak mineralleri (pirit) ince kesit görünüm

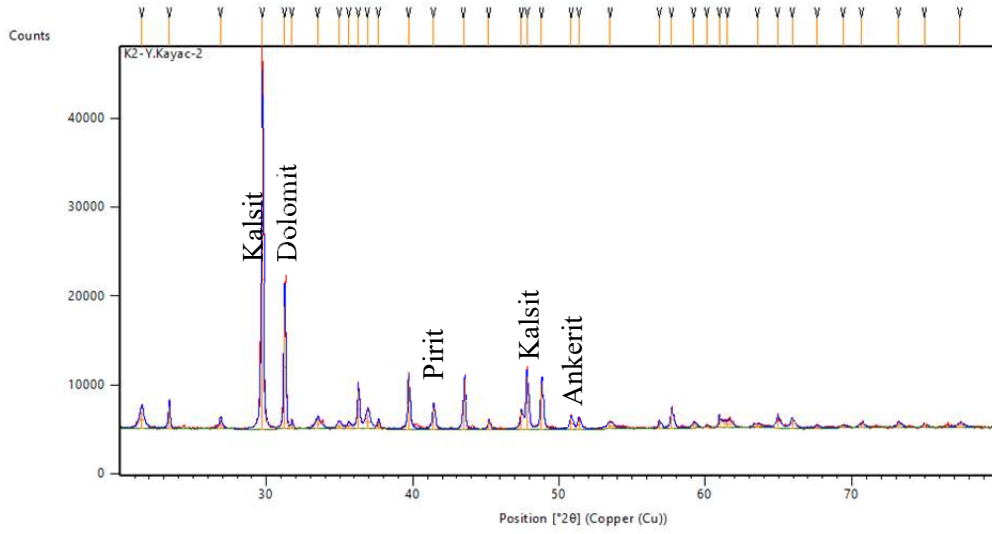
4.1.2.1. XRD Mineralojik analiz

Araziden alınan kayaç numunesinin mineralojik analizi Çukurova Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında XRD Spektroskopisi cihazı kullanılarak 5-80° arasında yapılmıştır.

Şekil 4.5’de X- Işını Difraksiyon (XRD) mineralojik analiz patern 2 adet sonuçları verilmiştir.



Patern 1



Patern 2

Şekil 4.5. XRD Patern çekim analiz sonucu

Sonuçlara göre ana mineraller, kalsit, dolomit, pirit, ankerit olarak tespit edilmiştir.

4.2. Cevher Kimyasal ve Minerolojik Analiz Sonuçları

10 adet koordinatlı cevher örnek alımı gerçekleşmiştir. Parlak kesit mineralojitespiti ve Çukurova Üniversitesi Merkezi Laboratuvarlarında (Adana) XRF Spektroskopisi cihazı kullanılarak 5-80° arasında yapılmıştır.

4.2.1. Cevher Kimyasal Analiz Sonuçları

Cevher kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.4 'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Cevher XRF analizi sonuçları

Element	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
% CaO	0.3	1.5	2.3	3.0	1.2	0.8	1.6	1.1	2.5	1.1
% MgO	0.7	1.4	1.7	2.1	1.6	0.6	0.8	0.53	2.1	1.5
% Al ₂ O ₃	11.5	10.2	12.0	13.4	9.2	11.8	9.4	11.4	12.1	11.7
% SiO ₂	20.5	19.2	18.1	22.3	20.1	16.3	15.8	17.3	15.6	17.1
% ZnO	0.04	0.14	0.04	1.4	0.12	0.1	0.15	0.14	1.1	0.7
% MnO	0.1	0.3	0.4	0.02	0.3	0.03	0.45	0.08	0.12	0.1
% Fe ₂ O ₃	54.4	52.5	54.6	47.39	55.25	56.11	58.23	56.01	54.5	57.74
A.K.	9.7	12.1	9.01	7.98	9.1	8.5	9.7	11.6	10.1	7.5

Bu sonuçlara göre % Fe₂O₃;47.39-58.23, % CaO; 0.3-3,0, % SiO₂; 15.6-22.3; % Al₂O₃; 9.2-12.0; % SO₃; 0.01-0.18 olarak tespit edilmiştir. Nötürleşme potansiyelini etkileyecek karbonat içeriği oldukça düşük bulunmuştur.

4.2.1.1. Cevher S Analiz Sonuçları

Araziden alınan 10 adet cevher örneklerine ait S oranı Çizelge 4.5'de verilmiştir.

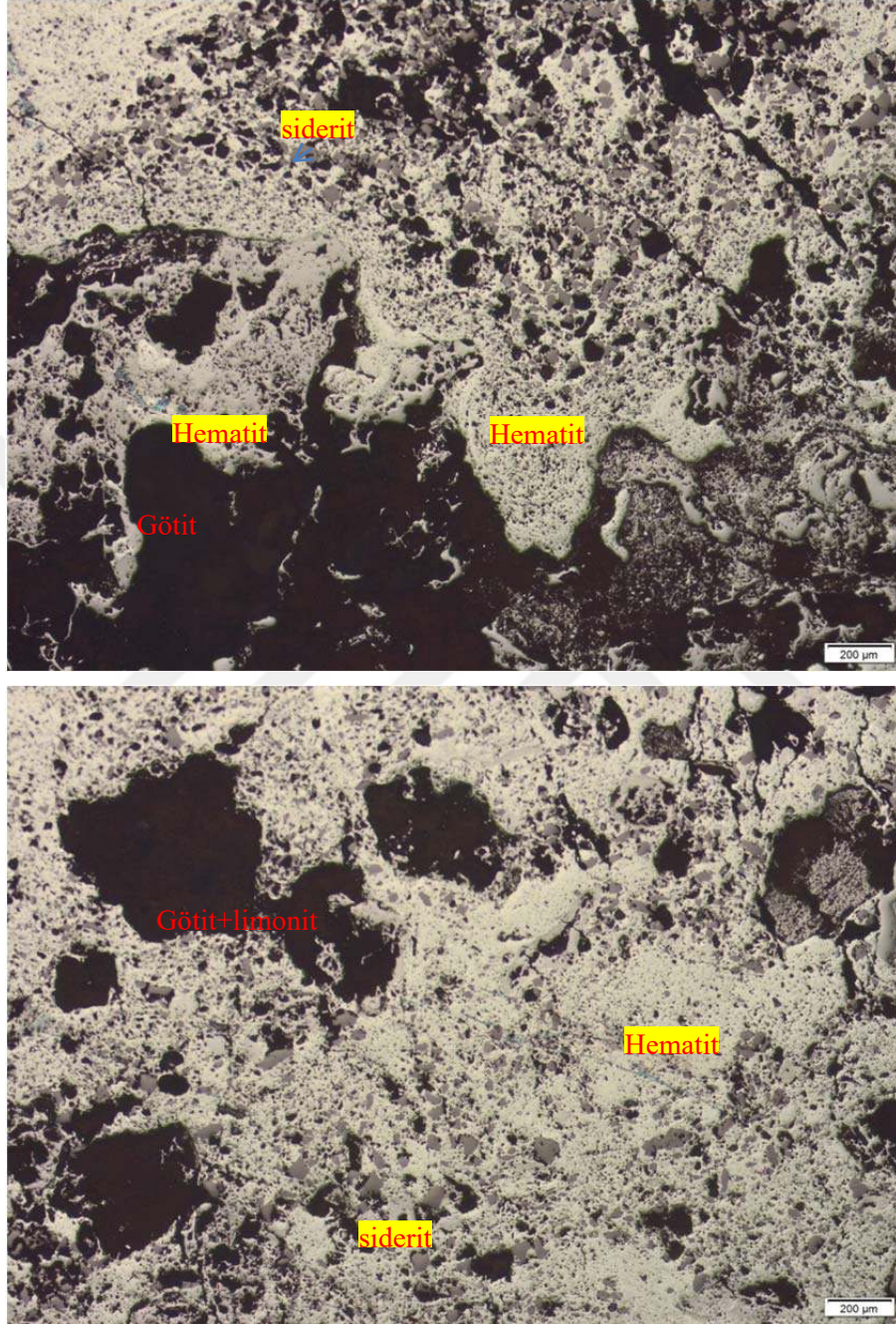
Çizelge 4.5. Alınan cevher örneklerindeki kükürt miktarları

Cevher Numune No	% TOPLAM S
C1	0.05
C2	0.089
C3	0.053
C4	0.055
C5	0.057
C6	0.025
C7	0.084
C8	0.051
C9	0.045
C10	0.028

Yan kayaca göre cevherde kükürt (S) oranı oldukça düşüktür. %0,028-0,089 aralığında tespit edilmiştir.

4.2.2. Minerolojik Analiz Sonuçları

Gerek XRF analiz sonuçları ve gerekse parlatılmış kesitlerin maden mikroskopundaki incelemelerinden sonra Sülfürlü mineral içermesi muhtemel olan cevher örnekleri içerisinde pirit ve markasit minerallerinin gözlenmediği görülmüştür. Ana parajenezler, hematit, götit, siderit, limonit olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Gang minerali olarak kalsit, az oranda kuvars mineralleri bulunmaktadır. Hematit açık gri renkli, ağsal damarlar şeklindeki dokusal özelliği ile belirgindir. Götit iç yansıma özellikleri ile gözlenmekte ve bazı örneklerde demir karbonat minerallerinden dönüşmüş halde bulunmaktadır.

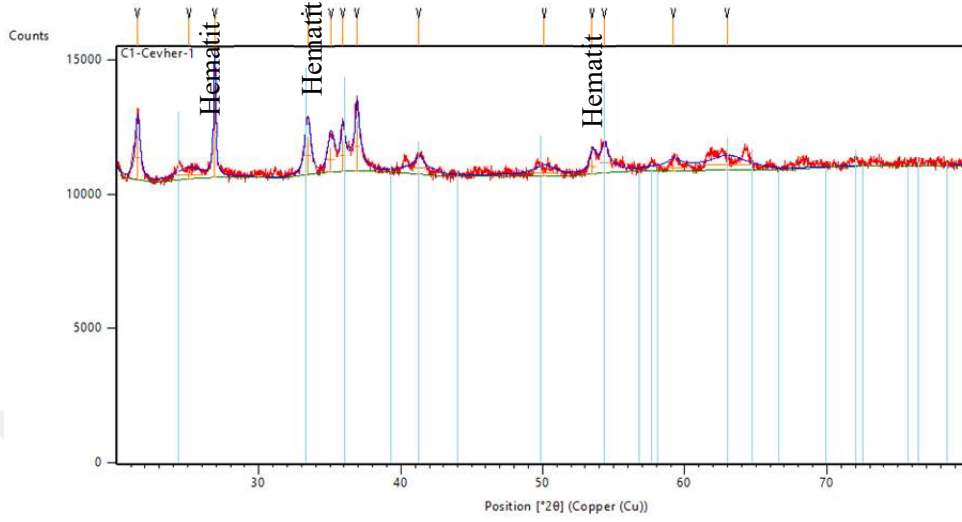
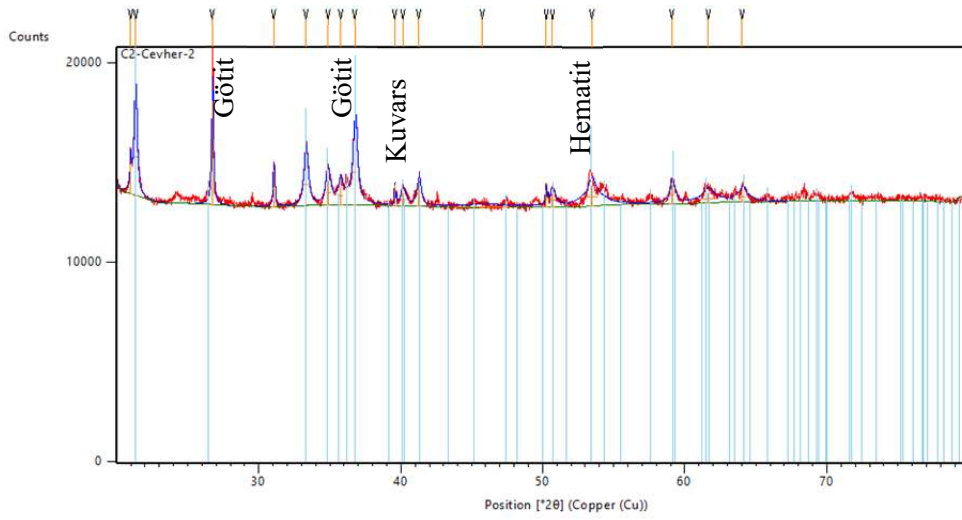


şekil 4.6. Ağsal Hematit, Siderit ve Götüt minerali

4.2.2.1. XRD Minerolojik Analiz Sonuçları

Araziden alınan cevher numunesinin mineralojik analizi Çukurova Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı XRD Spektroskopisi cihazı kullanılarak 5-80° arasında yapılmıştır. şekil 4.7’de X- Işını Difraksiyon (XRD) mineralojik analiz patern 2 adet sonuçları verilmiştir. XRD Mineral analiz sonuçları, mikroskop analiz sonuçları ile uyum sağlamaktadır.



*Patern 1**Patern 2*

Şekil 4.7. Cevher XRD analizi sonuçları

4.3. Sahanın Asit Üretme Potansiyelinin Statik Test Sonuçları

Adana İli, Saimbeyli İlçesi, Kaburluk Mevkiinde Bulunan Demir Cevherleşmesinin mineralojik, kimyasal ve jeokimyasal incelemeler sonucunda elde edilen bulgular ışığında statik testler ve laboratuvar sonuçları asit üretim potansiyeli hesaplanmıştır. Numunelerin azami asit üretme potansiyelleri azami nötürleştirme potansiyelleriyle kıyaslanarak asidik drenaj oluşma olasılığı tahmin edilmiştir.

Bu bölümde, Asit Üretme Potansiyeli, Nötürleştirme Potansiyeli, Net Nötürleştirme Potansiyeli ve Fışkırdama testi yapılarak sonuçta Asit-Baz hesabı yorumlanmıştır.

4.3.1. Fışkırdama Test Sonuçları

Örnekleri üzerinde fışkırdama testleri uygulanmıştır. Bulunan sonuçlar Çizelge 4.6 'da verilmiştir. Cevherde hız '0' iken kayada '2' olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. Gerçekleştirilen Fışkırdama Testi için yapılan gözlemlene yoluyla asit miktar ve şiddetinin belirlenmesi (Paktunç, 1998).

Numune No	Yapılan Gözlem	Asit Miktarı	Asit Şiddeti	Fışkırdama Hızı (0=Yok, 1=Hafif, 2=Orta, 3=Kuvvetli)
C1	Kaynama yok, baloncuklaşma oluşmadı	40 ml	0,5 M	0 (Yok)
C2	Kaynama yok, baloncuklaşma oluşmadı	40 ml	0,5 M	0 (Yok)
C3	Kaynama yok, baloncuklaşma oluşmadı	40 ml	0,5 M	0 (Yok)
C4	Kaynama yok, baloncuklaşma oluşmadı	40 ml	0,5 M	0 (Yok)
C5	Kaynama yok, baloncuklaşma oluşmadı	40 ml	0,5 M	0 (Yok)

Çizelge 4.6. devamı

C6	Kaynama baloncuklaşma oluşmadı	yok,	40 ml	0,5 M	0 (Yok)
C7	Kaynama baloncuklaşma oluşmadı	yok,	40 ml	0,5 M	0 (Yok)
C8	Kaynama baloncuklaşma oluşmadı	yok,	40 ml	0,5 M	0 (Yok)
C9	Kaynama baloncuklaşma oluşmadı	yok,	40 ml	0,5 M	0 (Yok)
C10	Kaynama baloncuklaşma oluşmadı	yok,	40 ml	0,5 M	0 (Yok)
K1	Kaynama baloncuklaşma belirgin	var,	40 ml	0,5 M	2 (Orta)
K2	Kaynama baloncuklaşma belirgin	var,	40 ml	0,5 M	2 (Orta)
K3	Kaynama baloncuklaşma belirgin	var,	40 ml	0,5 M	2 (Orta)
K4	Kaynama baloncuklaşma belirgin	var,	40 ml	0,5 M	2 (Orta)
K5	Kaynama baloncuklaşma belirgin	var,	40 ml	0,5 M	2 (Orta)
K6	Kaynama baloncuklaşma belirgin	var,	40 ml	0,5 M	2 (Orta)
K7	Kaynama baloncuklaşma belirgin	var,	40 ml	0,5 M	2 (Orta)
K8	Kaynama baloncuklaşma belirgin	var,	40 ml	0,5 M	2 (Orta)
K9	Kaynama baloncuklaşma belirgin	var,	40 ml	0,5 M	2 (Orta)
K10	Kaynama baloncuklaşma belirgin	var,	40 ml	0,5 M	2 (Orta)

Minerallerin çözünme kinetiklerine ilişkin yayımlanan araştırmaların sonuçları, büyük değişkenlikler göstermektedir. Çünkü, minerallerin doğadaki çözünürlük değerleri çok sayıda faktöre bağlıdır. Kayaç matriksi içindeki kristal yapıları, tane boyutları, yüzeye açık boşluklar, mineral yüzeyinin şekli (yüzey morfolojisi), yüzeyin bir başka mineralle kaplı olup olmaması, taneciklerin tepkimeye açık yüzey alanları, suyun niteliği ile minerallerin saflıkları ilk akla gelenlerdir. Ayrıca, ortamın fizikokimyasal karakteri de önemli rol oynamaktadır. Örneğin, kalsitin çözünmesinde CO₂ kısmi basıncının değişmesiyle, çözünürlük değerinin de değiştiği görülmüştür (Paktunç, 1998).

4.3.2. Toplam Kükürt'e Göre Asit Üretme Potansiyeli (AÜP)

Bu teste her hangi bir deneysel işlem yapılmadan numunelerdeki kükürt miktarı analizle belirlenmekte ve AÜP (asit üretme potansiyeli) katı fazdaki kükürtün (S⁻²) yalnızca -2 değerinde bulunan kükürt olup piritten kaynaklandığı kabullenir. Mevcut kükürtün tamamının reaksiyona girerek sülfata (SO₄) dönüşeceği varsayılmaktadır.

Çalışma sahasından getirilen örnekten yapılan statik test sonuçlarına göre aşağıdaki veriler elde edilmiştir. Alınan cevher ve yankayaç örneklerinden yapılan yukarıda açıklanan yöntem doğrultusunda yapılan S deneyi sonuçları Çizelge 4.3 ve 4.5'de verilmektedir.

Numuneler üzerinde Paktunç (1998) yöntemini uygularsak; numunelerin sahayı temsil ettiğini varsayıp bulunan kükürt içeriklerinin de tamamının sülfürlü minerallerden kaynaklandığı savıyla her bir örneğin bir alanı karakterize ettiği öngörüldüğünde sülfürik asit eşdeğeri olarak bulunan AÜP Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Numunelerin toplam kükürde göre AÜP

ÖRNEK No	% Toplam S	Üretilecek malzemenin her tonunu n�treleştirmek için gerekli CaCO_3 eşdeğeri ton biriminde A�P
C1	0.05	1.56
C2	0.089	2.78
C3	0.053	1.66
C4	0.055	1.72
C5	0.057	1.78
C6	0.025	0.78
C7	0.084	2.63
C8	0.051	1.59
C9	0.045	1.41
C10	0.028	0.88
K1	0.25	7.81
K2	0.42	13.13
K3	0.25	7.81
K4	0.41	12.81
K5	0.21	6.56
K6	0.4	12.50
K7	0.35	10.94
K8	0.25	7.81
K9	0.42	13.13
K10	0.3	9.38

Çizelge 4.8. Çalışma alanından alınan örneklerin Paktunç (1998) yöntemiyle hesaplanan asit üretim potansiyelleri

ÖRNEK NO	X _s (%)	AÜP (kg/ton) Sülfürik asit eşdeğeri
C1	0.05	3.13
C2	0.089	5.56
C3	0.053	3.31
C4	0.055	3.44
C5	0.057	3.56
C6	0.025	1.56
C7	0.084	5.25
C8	0.051	3.19
C9	0.045	2.81
C10	0.028	1.75
K1	0.25	15.63
K2	0.42	26.25
K3	0.25	15.63
K4	0.41	25.63
K5	0.21	13.13
K6	0.4	25.00
K7	0.35	21.88
K8	0.25	15.63
K9	0.42	26.25
K10	0.3	18.75

4.3.3. Nötürleşme Potansiyeli (NP)

Aynı örneklerin kimyasal analizleri ve mineralojik tayinleriyle nötürleşmede çok etkili olan CaCO_3 ve $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ içerikleri esas alınarak ve Çizelge 4.2’de görülen kızdırma kayıplarının esas olarak karbonat minerallerinden

kaynaklandığı varsayılmıştır. Paktunç (1998) yönteminde belirtilen benzer kabullerle hesaplanan nötürleştirme potansiyelleri de Çizelge 4.9 'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Numunelerden hesaplanan nötürleşme potansiyeli

ÖRNEK NO	X_{CaCO_3} (%)	$X_{CaMg(CO_3)_2}$ (%)	$W_{CaMg(CO_3)_2}$ (g/mol)	NP_{CaCO_3} (kg/ton)	$NP_{CaMg(CO_3)_2}$ (kg/ton)	$\Sigma NP(kg/ton)$ sülfürik asit eşdeğeri
K1	62,76	33	184,4	313,8	89,479	403,279
K2	54,56	6	184,4	272,8	16,269	289,069
K3	92,36	6	184,4	461,8	16,269	478,069
K4	70,07	21	184,4	350,35	56,941	407,291
K5	63,65	34	184,4	318,25	92,191	410,441
K6	64,22	32	184,4	321,1	86,768	407,868
K7	60,09	30	184,4	300,45	81,345	381,795
K8	65,61	32	184,4	328,05	86,768	414,818
K9	60,09	35	184,4	300,45	94,902	395,352
K10	62,76	28	184,4	313,8	75,922	389,722
C1	0,53	2	184,4	2,65	5,423	8,073
C2	2,67	5,6	184,4	13,35	15,184	28,534
C3	4,1	7,66	184,4	20,5	20,770	41,270
C4	5,35	9,74	184,4	26,75	26,410	53,160
C5	2,14	5,49	184,4	10,7	14,886	25,586
C6	1,43	2,68	184,4	7,15	7,267	14,417
C7	2,85	4,53	184,4	14,25	12,283	26,533
C8	1,96	3,07	184,4	9,8	8,324	18,124
C9	4,46	8,85	184,4	22,3	23,997	46,297
C10	1,96	5,1	184,4	9,8	13,829	23,629

K:Yan kayaç, C:Cevher

Çizelge 4.9 'dan ilk çıkarılacak sonuç alınan temsili numunelerin asit üretme potansiyellerinin oldukça düşük, buna karşılık oldukça yüksek oranlarda karbonat içermeleri sebebiyle nötürleştirme potansiyellerinin yüksek olduğu görülmektedir.

Bu durumda $NNP=NP-AÜP$ veya $NNP=NP/AÜP$ eşitliklerinden biri kullanılarak hesaplanır. Net nötürleşme potansiyeli Çizelge 4. 10 'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Demir cevherleşmesinden alınan 10 adet temsili numunenin net nötürleştirme potansiyelleri

Örnek No	<i>AÜP</i>	<i>NP</i>	<i>NNP(NP-AÜP)</i>	<i>NNP(NP/AÜP)</i>
K1	15,63	403,279	387,649	25,802
K2	26,25	289,069	262,819	11,012
K3	15,63	478,069	462,439	30,587
K4	25,63	407,291	381,661	15,891
K5	13,13	410,441	397,311	31,260
K6	25,00	407,868	382,868	16,315
K7	21,88	381,795	359,915	17,449
K8	15,63	414,818	399,188	26,540
K9	26,25	395,352	369,102	15,061
K10	18,75	389,722	370,972	20,785
C1	3,13	8,073	4,943	2,579
C2	5,56	28,534	22,974	5,132
C3	3,31	41,270	37,960	12,468
C4	3,44	53,160	49,720	15,453
C5	3,56	25,586	22,026	7,187
C6	1,56	14,417	12,857	9,242
C7	5,25	26,533	21,283	5,054
C8	3,19	18,124	14,934	5,682
C9	2,81	46,297	43,487	16,476
C10	1,75	23,629	21,879	13,502

K: Yan kayaç, C: Cevher

Bulunan bu değerlerden sonra Saimbeyli bölgesi demir cevherleşmesinin asit kaya/maden drenajı (Çizelge 4.11, Çizelge 4.12).

Çizelge 4.11. Kayaç numunelerinin asit üretme potansiyelinin yorum tablosu

Asit-Baz Hesabı	(NP/AÜP)		Yorum
Asit Üretir	<1	--	--
Belirsiz Zon	1<(NP/AÜP)<3	--	--
Asit Üretmez	>3	Hepsi 3'den büyük	Temsili numuneler asit üretmez

Çizelge 4.12. Cevher numunelerinin asit üretme potansiyelinin yorum tablosu

Asit-Baz Hesabı	(NP/AÜP)		Yorum
Asit Üretir	<1	--	--
Belirsiz Zon	1<(NP/AÜP)<3	--	--
Asit Üretmez	>3	Hepsi 3'den büyük	Temsili numuneler asit üretmez

Bu hesaplamalara göre cevherleşme yan kayacı ve cevherleşmelerin asit kaya/maden drenajı geliştirmeyeceği söylenebilir. Ancak işletme faaliyetleri sırasında ve gerekse muhtemel cevher hazırlama işlemler sonunda oluşacak pasa, artık/atık havuzlarında şu anki durumundan çok daha büyük yüzeylerin atmosferik su ve havanın oksijeni ile birleşerek reaksiyon denklemleri asit üretimine olanak sağlaması ve böylece asit drenajı oluşturabilmesi olanak dahilinde olup sahada gerekli önlemlerin alımı şarttır. Cevherleşme sahasında mevsimsel akışlı olan dere bulunmaktadır. Dereler daha sonra kurumaktadır. Ancak bölgenin kış aylarında yoğun kar yağışı altında olması özellikle yan kayacıkta bulunan pirit minerallerinin kimyasal dönüşüme uğramasına neden olabilecektir.

4.4. Kinetik Testler

Statik testlerden sonraki adım kinetik testlerdir. Kinetik testler genel olarak simölasyon niteliğinde testlerdir. Kinetik testler, statik testlerdeki elde edilen verileri doğrulamak, etkin reaksiyonları tanımlamak, drenaj suyunun kalitesi ve asit üretme hızını tespit etmek için yapılır. Uzun süre nemin ve havanın etkisine maruz kalmış kayaç ve proses artığı gibi numuneler üzerinde oksidasyon ve bozunma, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen testlerle simüle edilir. Kinetik testler yardımıyla asit üretiminin başlaması için gereken süre ve kontrol tekniklerinin etkinliği konusunda sonuçlar elde edilebilir (Yörükoğlu ve Karadeniz 2003).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Adana İli, Saimbeyli İlçesi, Kaburluk Mevkii, Kozan L36 ve M36 paftaları içerisinde bulunan çalışma alanında, cevherleşme, Üst Devoniyen şeyl kumtaşı-kireçtaşı ardalanmasının tabanında bu formasyonların oluşturdukları bir kapanda dolomitik kireçtaşları içinde hidrotermal metasomatik olarak yerleşmiş olup yankayaç olan karbonatlı birimler içerisinde merceksel olarak bulunmakta ve yüzeyde oksidasyon zonu ile oldukça belirgin bir görünüm sunmaktadır.

Araziden getirilen 10 adet cevher ve 10 adet kayaç örneğinde;

1. Gerek XRF ve XRD analiz sonuçları ve gerekse parlatılmış kesitlerin mikroskop incelemelerinden sonra sülfürlü mineral içermesi muhtemel olan cevher örnekleri içerisinde pirit ve markasit minerallerinin gözlenmediği görülmüştür. Cevher örneklerinin mikroskop incelemelerinde ana parejenezler, hematit, götit, siderit, limonit olarak tespit edilmiştir.
2. Cevher örneklerinde fışırdama hızı 0 (yok), NP; 8,073-53,160 NNP; 2,579-16,476 aralığında, toplam S'e göre Asit Üretme Potansiyeli'leri 0,78-2,78 aralığında hesaplanmıştır. Cevher numunelerinde toplam S değeri % 0,025-0,089 aralığında belirlenmiştir.
3. Yapılan mikroskop incelmeleri, jeokimyasal statik test ve teorik hesaplamalar ışığında yankayaçta dolomit, kalsit, opak mineralleri tespit edilmiş olup XRD ve XRF analizlerinde ise opak minerallerinin pirit olduğu belirlenmiştir.
4. Yankayaçta toplam karbonat miktarı % 60,83 -98,58 Fışırdama hızı 2 (orta), NP (Nötürleştirme Potansiyeli) 289,069-478,069 aralığında, NNP (Net Nötürleştirme Potansiyeli) 11,012-31,260 aralığında, toplam S'e göre

AÜP'leri 6,56-13,13 aralığında hesaplanmıştır. Yankayaç numunelerini toplam S değeri % 0,21-0,42 aralığında belirlenmiştir.

5. Cevher örneklerinin asit üretme potansiyellerinin oldukça düşük, buna karşılık yankayaç örneklerinin yüksek oranlarda karbonat içermeleri sebebi ile nötürleştirme potansiyellerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.
6. Cevher ve Yankayaç numunelerinin Net Nötürleşme Potansiyelleri 3'ten büyük olarak tespit edilmiş olup, çalışma alanındaki yankayaç numune örneklerinin asit üretme potansiyeli bulunmamaktadır.

Cevher sahasından alınan örneklerde yapılan statik testlerde asit üretme potansiyelinin düşük buna karşılık nötürleştirme potansiyelinin yüksek olması sebebiyle AMD hususunda bir tehlike görülmesi de işletmenin aktif halde çalışması aşamasında ve stoklama sırasında mutlaka tüm risklerin önceden belirlenebilmesi için kinetik testlerin de yapılması gerekir.

Önlem olarak;

1. Maden atıklarının depolandığı tesislerin tabanı ve yan yüzeylerinde sızıntı suyunun yer altı suyuna karışmasını önleyecek şekilde bir geçirimsizlik tabakası olması önemlidir. Dolayısı ile pasa ve cevher stok sahaları geçirimsiz zemin üzerinde oluşturulmalıdır,
2. Stok sahasından akarsu ve derlere bir malzeme akışı olmaması için uygun yığın yüksekliği, kademe ve açısı oluşturulmalıdır, stok sahası çevresine yağmur suyu drenaj ağı oluşturulmalıdır.
3. Maden işletmelerinin projelendirilmesi aşamasında, her tür maden atıkları için bir atık yönetim planı hazırlanırken AMD Yönetim Planı hazırlanması da gerekli ve önemlidir (<https://ced.csb.gov.tr/sektorel-kilavuzlar-i-85878>).

4. Maden atıklarının depolanmasında, depolama işlemi tamamen bittikten sonra depolama sahasında üst örtü oluşturmada önce, alan kurutularak susuzlaştırılmalı, tampon tabaka olarak kazı toprağı veya asit üretme potansiyeli olmayan pasalar serilmeli ve tesviye edilmelidir (Maden Atıkları Yönetmeliğı, 2015).





KAYNAKLAR

- Agricola, G., 1556. De Re Metallica. Available on internet: <https://www.gutenberg.org/files/38015/38015-h/38015-h.htm>
- Anıl, M., 2014. Parajenezlerinde Sülfürlü Mineraller İçeren Maden Yataklarında Oluşabilecek Asit Kaya (Maden) Drenajlarının Çevresel Etkileri, Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29 (1): 1-26.
- Anıl, M., Özdemir, A.C., Altınçelep, Z., Demirel, E., 2014. Sülfürlü Mineraller İçeren Maden Yataklarında İşletme Sırasında ve Sonrasında Asit Kaya (Maden) Drenajlarının Oluşup Oluşmayacağına Yönelik Kestirimler: Akdağ, Karıncadağ ve Bolkardağ Örneği 2. Bölüm: Asit Kaya/Maden Drenajı Oluşup Oluşmayacağının Kestirimi, Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29 (1): 127-144.
- Balcı, N., Thomas, D.B., Wayne, C.S., Mikael, M., Kevin W.M., 2006. Iron Isotope Fractionation During Microbially Stimulated Fe(II) Oxidation and Fe(III) Precipitation, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 3: 622-629.
- Bernier, L., Warren, L.A., 2007. Geochemical diversity in S processes mediated by culture-adapted and environmental-enrichments of *Acidithiobacillus* spp, *Geochim Cosmochim Acta*, 71: 5684–5697.
- Blowes, D.W., Jambor, J.L., Hanton-Fong, C.J., Lortie, L., Gould W.D., 1998. Geochemical, mineralogical and microbiological characterization of a sulphide-bearing carbonate-rich gold-mine tailings impoundment, Joutel, Québec, *Applied Geochemistry*, 13 (6): 687-705.
- Bond, P.L., Druschel G.K., Banfield J.E., 2000. Comparison of acid mine drainage microbial communities in physically and geochemically distinct ecosystems, *Appl Environ Microbiol*, 66 (11): 4962–4971.
- Çiftçi, H., Akçıl, A., 2006. Asidik Maden Drenajının (AMD) Giderilmesinde Uygulanan Biyolojik Yöntemler, *Madencilik*, 45 (1): 35-45.

- CSS, 2002. Center for Streamside Studies, Environmental impacts of hardrock mining in Eastern Washington, College of Forest Resource and Ocean and Fishery Sciences, University of Washington, Seattle, WA.
- Delibalta, M.S., Uzal, N., Lermi, A., 2016. İlgin Linyit İşletmeleri Göletlerinde Asit Maden Drenajı ve Rehabilitasyonu, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5 (1): 73-82.
- Demirtaşlı, E., 1967. Pınarbaşı-Sarız-Mağara civarının jeoloji raporu; MTA Enst. Raporu, Rap. No: 1935, 129s. (yayınlanmamış).
- Downing B.W., Mills CH., 2000. Natural Acid Rock drainage and its impact upon background metal concentration. Available on internet: <http://technology.infomine.com/ enviromine/ard/Introduction/Natural.htm>
- Ege, İ., Tonbul, S., 2003. Tufanbeyli Havzası ve Yakın Çevresinin (Adana) Jeomorfolojisi, Coğrafi Bilimler Dergisi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 1 (2): 103-122.
- Environment Australia, 1997. Managing Sulphidic Mine Wastes and Acid Drainage, Best Practice Environmental Management in Mining Booklet Series.
- Environmental Protection Agency - EPA (US), 1994. Technical Document - Acid Mine Drainage Prediction.
- Evangelou, V.P., Zhang, Y.L., 1995. A review, pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention, Crit Rev Environ Sci Technol, 25: 141–199.
- Evangelou, V.P., 1998. Pyrite Chemistry: Pyrite Chemistry: The Key for Abatement of Acid Mine Drainage, Acidic Mining Lakes: 197-222.
- Gray, N.F., 1997. Environmental Impact and Remediation of Acid Mine Drainage: A Management Problem, Environmental Geology: 62-71.

- Jennings, S.R., Neuman, D.R., Blicher, P.S., 2008. Acid Mine Drainage and Effects on Fish Health and Ecology: A Review, Reclamation Research Group Publication, Bozeman, MT.
- Johnson, D.B., Hallberg K.B., 2005. Acid Mine Drainage Remediation Options: A Review, Science of The Total Environment, 338 (1-2): 3-14.
- Karadeniz, M., 2004. Sülfürlü Madenlerde AMD için evresel Yönetim Stratejisi Geliştirilmesi, X. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, eme, Türkiye.
- Karadeniz, M., 2005. Madencilik ve evre Sempozyumu, 5-6 Mayıs 2005, Ankara Asit Maden (Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif zm Yöntemleri, MTA Genel Mdrlg, Ankara.
- Karadeniz, M., 2008. Asit Maden Drenajı ve zm, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 186: 231.
- Kleinmann, R.L.P, 1981. Field evaluation of a bactericidal treatment to control acid drainage, Proceedings of the Symposium on Surface Mining Hydrology Sedimentology and Reclamation, University of Kentucky, Lexington, Kentucky.
- Kontopoulos, A., Adam, K., Monhemius, J., Cambridge, M., Kokkonis D., 1996. Environmental Management in Polymetallic Sulphide Mines, Proceedings of the Fourth International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production: 321-336.
- Kuyucak, N., 2000. Microorganisms, Biotechnology and Acid Rock Drainage- Emphasis on Passive- Biological Control and Treatment Methods, Minerals&Metallurgical Processing, 17 (2): 85-95.
- Lapokko, K. A., 2002. Metal Mine Rock and Waste Characterization Tolls: An Overview, International Institute for Environment and Development, 67:31.
- Lottermoser, B.G., 2010. Mine Wastes, 3rd ed., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 393p.

- Maden Atıkları Yönetmeliği, 2015. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 15.07.2015 Tarih ve 29417 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Marin, K.A., Hutt, N.M., 1997. Environmental Geochmistry of Mines Drainage Pratical Theory Case Studies, MDAG Publ. Vancauver Canada.
- Mills, A. L., 2007. Manual of Environmental Geology, Introduction to Aerobiology: 925-938.
- Mills, C., 1995. An AMD/ARD Dedicated Blog Based on The Text of a Presentation Given Mills to British Columbia High School Science Teachers Seminar: Acid Rock Drainage at the Cordilleran Roundup, Hotel Vancouver, Vancouver, BC.
- MTA, 2014. L36-d3 M36-a2 paftalarına ait jeoloji haritası, Ankara
- Nalcıoğlu, G.E., 2004. Saimbeyli Yöresindeki Geç Devoniyen Yaşlı Gümüşali Formasyonundan Frasnien Brakiyopoda Faunası (Adana-Doğu Toroslar), MTA Dergisi 129: 57-68.
- Nordstrom, D. K., Alpers, C. N., 1999. Geochemistry of Acid Mine Waters, The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Society of Economic Geology: 133-160.
- NTDME, 1987. The Rum Jungle Rehabilitation Project, Final Project Report, Northern Tenitory Department of Mines and Energy, Darwin, Australia, 346p.
- Özgül, N., Metin, S., Göger, E., Bingöl, A., Baydar, O., Erdoğan, B., 1973. Tufanbeyli dolayının (Doğu Toroslar, Adana) Kambriyen-Tersiyer kayaları, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 16.
- Özkara, A., Karabacak, B., Çoşkun, D., Akçakoca, H., Ergüler G.K., 2012. Terk Edilmiş Bir Maden Sahasında Asit Maden Drenajı Oluşumunun Araştırılması, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.

- Paktunc, A.D., 1998. Characterization of Mine Wastes for Prediction of Acid Mine Drainage, In: Azcue J.M. (eds) Environmental Impacts of Mining Activities. Environmental Science, Springer, Berlin, Heidelberg: 19-40.
- Paktunç, A.D., 1999. Minerological Constrains on the Determination of Neutralization Potential and Prediction of Acid Mine Drainage, Environmental Geology, 38: 82-84.
- Rimstidt, J.D., Vaughan, D.J., 2003. Pyrite oxidation, a state-of-the-art assessment of the reaction mechanism, Geochim Cosmochim Acta, 67:873-880.
- Ritchie, A.I.M., 1994. The waste-rock environment, In: Jambor JL, Blowes DW (eds) Environmental geochemistry of sulfide mine-wastes, Mineralogical Association of Canada, Nepean, 22: 133-161 (Short course handbook).
- Robertson, S., Kirsten (B.C.) Inc., 1989. Draft acid rock drainage technical guide volume 1, Vancouver, B.C.
- Singer, P. C., Stumm, W., 1970. Acidic Mine Drainage, The reat determining step, Science, 167: 1121-1123.
- Ulrich, M., 1999. Non-metallic carbonous minerals in the passive treatment of mining wastewater in Slovenia, Chemical Engineering and Processing, 38 (3): 249-258.
- Usta D., 2004. Adana İli Sınırları İçinde Kalan Alanın Jeolojisi, MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana.
- Yoğurtçuoğlu, E., Alp, İ., 2018. Gossan yapılı cevherlerde Au/Ag kazanımı üzerine siyanürleme parametrelerinin etkisi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 3, 1203-1208.
- Yörükoğlu, A., Karadeniz, M., 2003. Asit Maden Drenajı Kestirim Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Türkiye 18. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Antalya: 125-131.
- Yücel, D.Ş., 2013. Türkiye’de asit maden göllerine Çan (Çanakkale) Havzası’ndan güncel birkaç örnek, Mavi Gezegen, Sayı 18.

<http://www.mta.gov.tr>

<https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.20913&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=maden%20at%C4%B1k>

<https://ced.csb.gov.tr/sektorel-kilavuzlar-i-85878>

<https://www.google.com/maps/place/Saimbeyli,+Kandilli,+Saimbeyli%2FAdana/@38.0018226,36.0880962,1141m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x152c1201c87035d5:0xe3296da4956ba7a6!8m2!3d37.98609!4d36.089587>

http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_potansiyel_2010/Adana_Madenler.pdf

ÖZGEÇMİŞ

09/08/1980 yılında Konya/Bozkır'da doğdu. İlk öğrenimini Üçpınar İlkokulunda, Lise eğitiminini Osmaniye Derviş Paşa Lisesinde tamamladı. 1998-2000 Yıllarında Çukurova Üniversitesi Kadirli Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı bölümünü bitirdi. Okulu bitirdikten sonra Bilgisayar Öğretmeni olarak çalıştı. 2002 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünden 2006 yılında mezun oldu.

2006-2008 Yılında Arı-Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti.'de Çevre Mühendisi olarak çalıştı.

2008 yılından bu yana çalıştığı Yerçet Yer Bilimleri Çevre Etüt Mühendislik Müşavirlik İnşaat Turizm San. Ve Tic. Ltd. Şti. firmasında ÇED ve Çevre Koordinatörü Çevre Mühendisi olarak iş hayatına devam etmektedir.

2011 yılında evlendi ve bir kız çocuk annesidir.