T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BALIKESİR İLİ BALYA İLÇESİNDE TERKEDİLMİŞ MADEN SAHASINDA BULUNAN ATIKLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ VE REHABİLİTASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet AKA

DANIŞMAN
Doç. Dr. Melayib BİLGİN

AKSARAY, 2020

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda yardımları için başta Danışmanım Doç. Dr. Melayib BİLGİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans dönemim boyunca çalışmalarımda yanımda olan arkadaşlarım Dr. Özlem YILMAZ, Kimya Yüksek Mühendisi Oğuzhan AKINÇ ve Çevre Mühendisi Erdoğan KARACA'ya, laboratuvar çalışmalarımda yardımcı olan Çevre Yüksek Mühendisi Hüseyin TEKİN'e teşekkür ederim.

Zorlu koşullarda okumamı ve hayatta kalmamı sağlayan rahmetli babama, hayatını ailemize adayan sevgili anacığıma, üniversite yılları ve işsizlik dönemimde maddi manevi hep destekçim olan ağabeyime şükranlarımı sunarım.

Bu tezi, yaşanabilir bir çevreyi hak eden tüm insanlara, Balıkesir ve Balya'nın güzel insanlarına ithaf ediyorum.

Mehmet AKA

AKSARAY, 2020

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ÖZET iv
ABSTRACT v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
SİMGELER VE KISALTMALAR ix
1. GİRİŞ 1
1.1 Maden Atıkları 2
1.1.1 Tanımlar 2
1.1.2 Atık karakterizasyonu 4
1.1.3 Maden atıklarının karakterizasyonu 6
1.1.4 Asit maden drenajı 9
1.1.5 AMD test metotları 15
1.1.5.1 Statik testler 15
1.1.5.2 Kinetik testler 17
1.1.6 AYY ek-3 ve liç/eluat değerlendirmesi 18
1.2 Rehabilitasyon/İyileştirme Teknikleri 19
1.2.1 Fitoremediasyon 20
1.2.2 Kimyasal ektraksiyon 20
1.2.3 Kimyasal indirgenme/yükseltgenme 21
1.2.4 Toprak yıkama 21
1.2.5 Solidifikasyon/stabilizasyon 22
1.2.6 Elektrokinetik ayırma 22
1.2.7 Hafriyat ve saha dışına taşıma 23
1.2.8 Yüzey kapatma 23
1.3 Sahanın Tanıtımı 24
1.3.1 Sahanın kısa tarihçesi 24
1.3.2 Sahanın konumu 25
1.3.3 Sahanın jeolojisi 27
1.3.4 Sahanın hidrolojisi 30
1.3.5 Sahanın hidrojeolojisi 32
1.3.6 Sahadaki atıkların miktarı ve değerlendirilmesi 33
1.3.7 Sahanın mülkiyeti 36
2. LİTARETÜR ÖZETİ 37
3. MALZEME VE YÖNTEM 42
3.1 Saha Çalışmaları 42
3.1.1 Atık örneklemesi 42
3.1.2 Yerüstü suyu ve sediman örneklemesi 44
3.2 Laboratuvar Çalışmaları 48
3.2.1 Analitik yöntemler 48
3.2.1.1 Yerüstü suyu ve sediman analizleri 48
3.2.1.2 Atık elementel analizleri 49
3.2.2 Deneysel çalışmalar 49
3.2.2.1 AMD statik testleri 49
3.2.2.2 Asit potansiyeli 49
3.2.2.3 Nötralizasyon potansiyeli 50
3.3 Rehabilitasyon Planı Çalışmaları 53

3.3.1 Hidroloji Hesapları 54
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 59
4.1 Atık Örnekleri Elementel Analiz Sonuçları 59
4.2 Atık Örnekleri Statik Test Sonuçları 60
4.3 Yerüstü Suyu Örnekleri Analiz Sonuçları 63
4.3.1 Konumsal değerlendirme 63
4.3.2 Mevzuata göre değerlendirme 66
4.4 Sediman Örneği Analiz Sonuçları 68
4.5 Rehabilitasyon Planı İçin Bulgular 68
4.6. Rehabilitasyon Yaklaşık Maliyeti 70
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 71
KAYNAKLAR 74
EKLER 78
EK A Rehabilitasyon/yüzey kapatma yapıları şekil ve kesitleri 79
EK B Rehabilitasyon alternatifli yaklaşık maliyet kalemleri 82
ÖZGEÇMİŞ 88

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BALIKESİR İLİ BALYA İLÇESİNDE TERKEDİLMİŞ MADEN SAHASINDA BULUNAN ATIKLARIN ÇEVRESEL ETKİLERİ VE REHABİLİTASYONU

Mehmet AKA

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Melayib BİLGİN

ÖZET

Bu çalışmada, çok uzun yıllardır hiçbir önlem alınmadan Balıkesir İli, Balya İlçesinde depolanmış atıkların (maden atıkları, cüruflar) metal içeriği ve asit maden drenajı potansiyeli belirlenmiş, sahanın içinden geçerek Manyas Baraj Gölünü besleyen yerüstü suları ve sedimanda analizler yapılarak sonuçlar konumsal olarak ve mevzuat doğrultusunda değerlendirilmiştir. Sahadaki maden atıkları; uygulanan jeokimyasal statik test sonuçlarına göre (Modifiye SOBEK) asit üretici atıklar, elementel analiz sonuçlarına göre ise, Pb ve Zn başta olmak üzere yüksek miktarda ağır metal ihtiva etmesi nedeniyle Atık Yönetimi Yönetmeliği ve Maden Atıkları Yönetmeliğine göre tehlikeli atık olarak sınıflandırılmaktadır. Yerüstü suları açısından bakıldığında; atık yığınlarının mansabındaki örnekleme noktasında (YÜ-B-2) membaındaki örneklemeye göre (YÜ-B-1) pH azalmakta, EC, SO_4, bazı ağır metal ve metaloid konsantrasyonları (Pb, Zn, As, Cd, Fe, Mn, Al) pik yapmaktadır. Bu noktadan sonra Manyas Baraj Gölüne doğru alınan örneklerde (YÜ-B-3, YÜ-B-4), Kocaçay ve Madra Çayının katılımıyla pH'da artış, metal konsantrasyonlarında ise azalma görülmektedir.

Tüm bu bilgiler ışığında, atık sahasının Dünya'da benzer sahalarda gerçek ölçekli uygulamaları bulunması, uygulama süresinin kısa olması gibi nedenlerle "Yüzey Kapatma" yöntemi ile rehabilite edilmesi uygun görülmüştür. Bu yöntemle; atıkların toplanacağı B1 Bölgesi boyunca Maden Deresinin U kanala alınarak, B1 bölgesinin kuzeyinden gelebilecek yüzey sularının kuşaklama kanalı ile drene edilerek, atıkla temas eden tüm yüzeylere geçirimsizlik ve drenaj sistemleri teşkil edilerek, atıkların yerüstü ve yağmur suları ile teması tamamen kesilecek ve atıklardan ağır metal ihtiva eden sızıntıların kesilmesi sağlanmış olacaktır. Yöntemin yaklaşık maliyetinin ise, 10324123 TL ile 11224745 TL arasında olacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık, Maden Atığı, Asit Maden Drenajı, Çevresel Etki, Rehabilitasyon.

Haziran, 2020; 88 sayfa

M.Sc. THESIS

ENVIRONMENTAL EFFECTS AND REHABILITATION OF THE WASTE FROM ABANDONED MINE SITE IN THE BALYA DISTRICT OF BALIKESIR PROVINCE

Mehmet AKA

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

Supervisor: Doç. Dr. Melayib BİLGİN

ABSTRACT

In this study, metal content and acid mine drainage potential of waste deposited in the Balya District of Balıkesir Province without any precaution has been determined, analysis of surface waters which passes deposition field and flowing through the Manyas Dam Lake and sediments, has been carried out and results evaluated positionally and in accordance with the legislation. Mining wastes in the field metal has been classified as hazardous waste according the By-Law on Waste Management and By-Law on Mining Waste because of high amount of heavy metal containment mainly Pb and Zn according to elemental analyze results and acid producing wastes properties according applied geochemical static test results (Modified SOBEK). In point of surface waters, pH decreases, EC, concentration of SO_4, some of the heavy metals and metalloids (Pb, Zn, As, Cd, Fe, Mn, Al) reaches peak levels at the sampling point (YÜ-B-2) which is at the downstream of the waste heaps with respect to the sampling point (YÜ-B-1) which is at the upstream of. With the merge of Kocaçay and Madra Stream, increase in the pH and decrease in the metal concentration have been observed from taken samples (YÜ-B-3, YÜ-B-4) from this sampling point through the Manyas Dam Lake.

In the light of all this information, rehabilitation of waste dump has been found appropriate with the method of "Surface Closure" because of the reasons like short implementation duration and worldwide real scale implementations at the similar fields. With this method; U type channeling of Maden Creek throughout B1 Region where the wastes will be deposited, drainage of surface runoff which may come from north of B1 Region by the interception channel, total contact of wastes with surface waters and surface runoff will be eliminated by the constitution of drainage system and impermeable layer to the all surfaces contacting with the waste. Approximate cost of method has been determined between 10324123 TL and 11224745 TL.

Keywords: Waste, Mining Waste, Acid Mine Drainage, Environment Impact, Rehabilitation

June, 2020; 88 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Maden atıklarının karakterizasyonu. 8
Şekil 1.2. Asit maden drenajı görüntüleri. 10
Şekil 1.3. Pasa yığınında asit maden drenajı kaynakları ve taşınım yolları 14
Şekil 1.4. Atık barajınad asit maden drenajı kaynakları ve taşınım yolları. 14
Şekil 1.5. Balya ilçesinin konumu. 25
Şekil 1.6. Balya terkedilmiş maden sahasının konumu. 26
Şekil 1.7. Susurluk havzası ve alt havzalar ile drenaj ağı ve önemli su kütleleri 29
Şekil 1.8. Balya civarı jeoloji haritası 30
Şekil 1.9. Balıkesir meteoroloji istasyonu meteorolojik verileri. 31
Şekil 1.10. Havza yeraltı suyu kütleleri 34
Şekil 3.1. Atık örnekleme noktaları 43
Şekil 3.2. Atık örneklemesine ilişkin görseller 44
Şekil 3.3. Su ve sediman örnekleme noktaları 45
Şekil 3.4. Su ve sediman örneklemesine ilişkin görseller 47
Şekil 3.5. Laboratuvar çalışmalarına ilişkin görseller 52
Şekil 3.6. B1 bölgesi atık yığını görseli 53
Şekil 3.7. Maden deresi havzası 55
Şekil 3.8. Planlanan kuşaklama kanalları havzası 56
Şekil 4.1. Akış yönü doğrultusunda pH, SO_4, EC değişimi 65
Şekil 4.1 (devam). Akış yönü doğrultusunda metallerin değişimi 66
Şekil A.1. Planlanan maden deresi U kanal kesiti 79
Şekil A.2. Planlanan kuşaklama kanalları (K1 ve K2) kesitleri 79
Şekil A.3. Kuşaklama kanalı ve U dere kanalının uydu görüntüsünde gösterimi 80
Şekil A.4. Yüzey kapatma (Üst Örtü) teşkili şematik gösterimi 80
Şekil A.5. Atık yığını (B1 bölgesi) nihai rehabilitasyonu kesit detayı 81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. AYY ek-3/A tehlikelilik sınır değerleri 5
Çizelge 1.2. Maden atığı kodları 8
Çizelge 1.3. AMD oluşumuna etki eden temel faktörler 9
Çizelge 1.4. Oksidant maddeye göre sülfür mineralleri 11
Çizelge 1.5. AMD oluşumunda kaynak-taşıyıcı-alıcı zinciri 13
Çizelge 1.6. Statik testlere ilişkin bilgiler 16
Çizelge 1.7. İnorganik toprak kirliliğinin temizlenmesinde kullanılan teknolojiler 19
Çizelge 1.8. Susurluk havzası hidrolojik özellikleri 32
Çizelge 1.9. Tahmini atık miktarı ve ortalama tenörler 33
Çizelge 1.10. Metal rezervi ve atık miktarı 35
Çizelge 3.1. Atık kompozit örnek karışımları ve açıklamaları. 42
Çizelge 3.2. Su ve sediman örnekleme noktaları koordinat ve açıklamaları 46
Çizelge 3.3. Yerüstü sularında gerçekleştirilen analizler 48
Çizelge 3.4. Fışırdama (fizz) derecesine göre eklenen HCl hacimleri 51
Çizelge 3.5. Taşkın debisinde kullanılan değerler 56
Çizelge 3.4. Taşkın debisinde kullanılan değerler 57
Çizelge 3.4. Taşkın debisinde kullanılan değerler 58
Çizelge 4.1. Atık örnekleri element analizi sonuçları 61
Çizelge 4.2. Atık örnekleri statik test sonuçları 62
Çizelge 4.3. Yerüstü suyu analiz sonuçları. 64
Çizelge 4.4. Sediman örneği analiz sonuçları 68
Çizelge 4.5. Su yapıları tasarım kriterleri. 69
Çizelge B.1. Maden Deresi U kanal işi yaklaşık maliyet tablosu 82
Çizelge B.2. K1 Kuşaklama kanalı yaklaşık maliyet tablosu. 83
Çizelge B.3. K2 kuşaklama kanalı yaklaşık maliyet tablosu 84
Çizelge B.4. Yüzey kapatma (geosentetikler) teşkili yaklaşık maliyet tablosu 85
Çizelge B.5. Yüzey kapatma (doğal malzeme) teşkili yaklaşık maliyet tablosu 86

SİMGELER VE KISALTMALAR

AATTUT	Atıksu Arıtma Tesisi Teknik Usuller Tebliği
Ag	Gümüş
AKM	Askıda Katı Madde
Al	Alüminyum
AMD	Asit Maden Drenajı
AP	Asit Potansiyeli
As	Arsenik
ASTM	American Society for Testing and Materials
AT-	Atık Örneği
AYY	Atık Yönetimi Yönetmeliği
Ba	Baryum
Be	Berilyum
C	Karbon
ºC	Santigrad Derece
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Cl	Klorür
cm	Santimetre
Co	Kobalt
CO_3	Karbonat
Cr	Krom
Cu	Bakır
ÇKS	Çevresel Kalite Standardı
EC	Elektriksel İletkenlik
EPA	Environmental Protection Agency
F	Florür
Fe	Demir
HCl	Hidroklorik Asit
HCO_3	Bikarbonat
Hg	Civa
HNO_3	Nitrik asit
ICP-MS	İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Spektrometresi
İSTESKAHY	İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkındaki Yönetmelik
K	Potasyum
Kg	Kilogram
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	Litre
m	Metre
M	Molarite
MAP	Maksimum Asit Potansiyeli
MAY	Maden Atıkları Yönetmeliği
Mg	Magnezyum
mg	Miligram
µg	Mikrogram
mL	Mililitre
mm	Milimetr

Mn	Mangan
Mo	Molibden
µS	Mikrosimens
N	Normalite
Na	Sodyum
NaOH	Sodyum Hidroksit
NP	Nötralizasyon Potansiyeli
NPO	Nötralizasyon Potansiyeli Oranı
P	Fosfor
Pb	Kurşun
Ppm	Parts Per Million
S	Kükürt
Sb	Antimon
SDM-	Sediman Örneği
Se	Selenyum
Si	Silis
Sn	Kalay
SO_4	Sülfat
Sr	Stronsiyum
SSKKSYKHYT	Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkındaki Yönetmelik Taslağı
Te	Tellür
TİC	Toplam İnorganik Karbon
Tl	Talyum
TOK	Toplam Organik Karbon
TÜBİTAK-MAM	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu-Marmara Araştırma Merkezi
TS	Toplam Sülfür
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UTM	Universal Transverse Mercator
V	Vanadyum
YÜ-	Yerüstü Su Örneği
YSKY	Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği
Zn	Çinko
%	Yüzde

1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetlerinin doğal topoğrafyayı değiştirmesi nedeniyle dikkat çeken görsel kirliliğinin yanı sıra, maden arama, çıkarma ve hazırlama/zenginleştirme işlemleri sonucu ortaya çıkan maden atıkları, kontrollü mühendislik yapıları ile bertaraf edilmemesi durumunda özellikle su ve toprak kirliliği dolayısıyla olumsuz çevresel etkilere neden olabilmektedir. Mevcutta işletilmekte olan ve sahibi belli olan maden işletmeleri birçok kamu kurumunun mer'i mevzuatı ile kontrol edilmekle birlikte, geçmiş yıllarda işletilmiş ve kontrolsüzce terk edilmiş sahibi belli olmayan maden sahaları ve bu sahalarda bulunabilen maden atıkları dolayısıyla meydana gelen çevresel kirliliğin önlenmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla, vakit kaybetmeden Ülkemizde kontrolsüzce terkedilmiş ve sahibi belli olmayan maden sahalarının, özellikle maden atıkları dolayısıyla çevreye etkileri kapsamında risk değerlendirmeleri yapılarak her bir saha için sahaya özgü çözümler geliştirilmeli ve gerekli görülmesi durumunda sahalar ivedilikle rehabilite edilmelidir. Unutulmamalıdır ki, bu sahaların rehabilitasyon/iyileştirme çalışmaları ne kadar geç yapılırsa çevresel riskleri ve arıtma dahil iyileştirme faaliyetleri için harcanacak miktar o kadar artacaktır. Ortada bu faaliyetler için harcanacak paranın karşılanacağı bir işletmeci olmayacağından tüm harcamaların kamu tarafından karşılanacağı da diğer bir önemli husustur. Bugün Avrupa Birliği ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada gibi gelişmiş ülkeler geçmişte kontrolsüzce madencilik faaliyetleri yapılan sahalardan meydana gelen çevresel kirliliğin önlenmesi için çok yüksek miktarda paraları, kamu harcamaları şeklinde ödemek zorunda kalmışlardır.

Maden sahalarından maden atıkları dolayısıyla meydana gelebilecek önemli risklerden biri, asit maden drenajı (AMD) ya da asit kaya drenajı (AKD) olarak tabir edilen reaksiyondur. AMD ya da AKD temel olarak, sülfürlü cevherlerin çıkarılması ya da zenginleştirilmesi sonucu oluşan pasa (dekapaj, örtü kazı) ve zenginleştirme atıklarının hava ve sudaki oksijen ile reaksiyona girmesiyle pH'ın düşmesi sonucunda asidik sızıntı suları oluşmasıdır. Bu tepkime sonucunda 1,5-2'lere kadar düşebilen pH sonucu oluşan sızıntı suları, atıktan çözünen metal ve metaloidleri yüksek konsantrasyonlarda ihtiva edebilir. Mühendislik yapıları ile kontrollü depolama yapılmaması durumunda ise bu sızıntılar toprak, yerüstü ve yeraltı sularına karışarak orta ve uzun vadede ciddi kirliliğe neden olabilmektedir. Maden atıklarının AMD

potansiyelinin belirlenmesi için statik ve kinetik testler olarak tanımlanan çeşitli analizler bulunmaktadır. Ülkemizde 2017 yılında yürürlüğe giren Maden Atıkları Yönetmeliği ile, maden atıklarında AMD başta olmak üzere atık karakterizasyonu için çeşitli metot ve standartlar tariflenmiştir.

Çok uzun zamandır Balıkesir İli Balya İlçesinde terkedilmiş maden sahasında bulunan sahipsiz atıklarla ilgili yöre halkının ciddi şikayetleri olduğu, bunların bir kısmının yazılı ve görsel basında yer aldığı bilinmektedir. Söz konusu sahada bulunan atıkların AMD potansiyeli ile çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri üzerine farklı zamanlarda çeşitli çalışmalar yapılmış, konuyla ilgili makale ve tezler yayınlanmıştır. Bu çalışmalarda AMD ve çevresel etki analizleri üzerinde durulmakla birlikte, sahanın rehabilitasyonuna ilişkin kapsamlı bir öneri sunulmadığı görülmektedir.

Bu çalışmayla amaçlanan, söz konusu sahada kontrolsüzce ve doğrudan alıcı ortamla etkileşim halinde bulunan atıkların asit maden drenajı potansiyeli doğrultusunda çevresel etkilerini değerlendirmekle birlikte, sahaya özgü bir rehabilitasyon planının ortaya konulmasıdır. Sahaya özgü bir rehabilitasyon seçeneğinin ortaya konduğu rehabilitasyon planının yaklaşık maliyet hesabını da içermesi ve benzer sahalarda yapılacak çalışmalara örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır.

1.1 Maden Atıkları

1.1.1 Tanımlar

Atık; Herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan, çevreye atılan veya bırakılan her türlü madde (Çevre Kanunu, 1983).

Atık: Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal (Atık Yönetimi Yönetmeliği [AYY], 2015).

Tehlikeli atık; Fiziksel, kimyasal ve/veya biyolojik yönden olumsuz etki yaparak ekolojik denge ile insan ve diğer canlıların doğal yapılarının bozulmasına neden olan atıklar ve bu atıklarla kirlenmiş maddeler (Çevre Kanunu, 1983).

Tehlikeli atık; “Yönetmeliğin Ek-3/A’sında yer alan tehlikeli özelliklerden birini ya da birden fazlasını taşıyan ve ek-4’te altı haneli atık kodunun yanında yıldız (*) işareti bulunan atıklar” (AYY, 2015).

Tehlikesiz atık: Ek-4 atık listesinde yıldız (*) işareti bulunmayan atıklar (AYY, 2015).

Maden atığı: Madenlerin aranması, çıkarılması, hazırlanması ve zenginleştirilmesi veya depolanması sonucunda oluşan katı veya şlam/sulu çamur şeklinde madde veya malzeme (Maden Atıkları Yönetmeliği [MAY], 2015).

Tehlikeli maden atığı: Atık Yönetimi Yönetmeliği’nin Ek-3/A’sında yer alan tehlikelilik özelliklerinden birini ya da birden fazlasını taşıyan, Ek-4’te altı haneli atık kodunun yanında yıldız (*) işareti bulunan maden atıklarını ve/veya bu Yönetmeliğin Ek-3’ünde belirtilen analizler sonucunda ilgili mevzuatta yer alan sınır değerleri aşan maden atıkları (MAY, 2015).

Tehlikesiz maden atığı; Atık Yönetimi Yönetmeliği’nin Ek-4 atık listesinde yıldız (*) işareti bulunmayan maden atıklarından bu Yönetmeliğin Ek-3’ünde belirtilen analizler sonucunda ilgili mevzuatta yer alan sınır değerleri aşmayanlar (MAY, 2015).

İnert atık; Fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak önemli derecede herhangi bir değişime uğramayan, çözünmeyen, yanmayan, fiziksel veya kimyasal olarak reaksiyona girmeyen, biyolojik bozunmaya uğramayan veya temas ettiği maddeleri çevreye veya insan hayatına zarar verecek şekilde etkilemeyen ve toplam sızıntı kabiliyeti ve ekotoksisitesi önemsiz miktarda olan, özellikle yüzeysel su ve yeraltı suyu kirliliği tehlikesi yaratmayan atıklar (Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 2010).

İnert maden atığı; Ek-4/A’da verilen listede yer alan veya Ek-4/B’ye göre belirlenen maden atıklarını (MAY, 2015).

1.1.2 Atık karakterizasyonu

Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin ek-4'ünde yer alan atık listesinde 842 adet atık kodu bulunmakta olup bunların 408 tanesi tehlikeli atık kodudur. Bu 408 atığın ise 250'si herhangi bir analize tabi tutulmaksızın doğrudan tehlikeli atık olarak tanımlanmaktadır. Geriye kalan 158 atık ise muallak veya muhtemel tehlikeli atık olarak tanımlanmakta olup kesin olarak tehlikeli olup olmadıklarını belirlemek için Yönetmelik ek-3/B kriterlerine göre analiz yapılması gerekmektedir.

Mezkur Yönetmeliğin ek-4'ünde yer alan atık listesinde atık kodunun yanında (*) işareti bulunan atıklar tehlikeli atık olarak tanımlanmaktadır. Tehlikeli atıklar, ek-3/A'daki tehlikelilik özelliklerden bir veya daha fazlasına içerirler. Atık listesinde (A) ile işaretli atıklar, ek-3/B'de yer alan tehlikeli atık konsantrasyonuna bakılmaksızın tehlikeli atık sınıfına girmekte olup (M) ile işaretli atıklar ise tehlikeli olma olasılığı bulunan atıklardır. A işareti İngilizce "Absolute" kelimesinden, M işareti ise "Mirror" kelimesinden gelmektedir. M ile işaretli olan atığın hemen bir altında sınır değerlerin altında kalan tehlikesiz atık kodu yer almaktadır. M işaretli atıklara, Yönetmelik ek-3/B analizi sonucuna göre tehlikesiz atık çıkması durumunda bir altında bulunan tehlikesiz atık kodu verilir.

Yönetmeliğin ek-3/A'sında tehlikelilik özellikleri verilmektedir. H kodları ile 15 başlık altında tanımlanan tehlikelilik özellikleri aşağıda yer almaktadır;

H1 Patlayıcı, H2 Oksitleyici, H3-A Yüksek oranda alevlenir, H3-B Alevlenir, H4 Tahriş edici, H5 Zararlı, H6 Toksik, H7 Kanserojen, H8 Aşındırıcı (Korozif), H9 Enfeksiyon yapıcı, H10 Üreme sistemine toksik, H11 Mutajenik, H12 Havayla, suyla veya asitle temasında toksik veya aşırı toksik gazları üreten maddeler, H13 Hassaslaştırıcı, H14 Ekotoksik, H15 Atıldığında veya başka bir madde üreten, örnek olarak süzüntü suyu, yukarıdaki özelliklerden birini gösteren madde ve preparatlar.

Yönetmelik ek-3/A'da verilen tehlikelilik özellikleri esas alınarak belirlenen tehlikeli atık eşik konsantrasyonları ek-3/B'de yer almaktadır ve yapılan analizler bu sınır değerler esas alınarak gerçekleştirilir. Analizler Bakanlıktan bu kapsamda yeterlilik almış olan laboratuvarlarda (TÜBİTAK-MAM, Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarı) yapılır. Sınır değerler Çizelge 1.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1.1. Ek-3/A tehlikelilik sınır değerleri (AYY, 2015).

a) Parlama noktası ≤ 55 ºC,
b) Yüksek seviyede zehirli olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %0,1 olması,
c) Zehirli olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %3 olması,
ç) Zararlı olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %25 olması,
d) R35'e göre aşındırıcı olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %1 olması,
e) R34'e göre aşındırıcı olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %5 olması,
f) R41'e göre tahriş edici olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %10 olması,
g) R36, R37 ve R38'e göre tahriş edici olarak sınıflandırılan bir veya daha fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %20 olması,
ğ) Kategori 1 ya da 2'de kanserojen etkisinin olduğu bilinen bir maddelerdeki toplam konsantrasyonun ≥ %0,1 olması,
h) Kategori 3'de kanserojen etkisinin olduğu bilinen bir maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %1 olması,
ı) R60 ya da R61'e göre üreme yetisini azaltıcı olarak sınıflandırılan Kategori 1 ya da 2 maddesindeki konsantrasyonun ≥%0,5 olması,
i) R62 ya da R63'e göre üreme yetisini azalttığı özelliği ile sınıflandırılan kategori 3 maddesindeki konsantrasyonun ≥ %5 olması,
j) R46'ya göre kalıtımsal değişikliklere yol açıcı olarak sınıflandırılan Kategori 1 ya da 2 maddesindeki konsantrasyonun ≥ 0,1 olması,
k) R40'a göre kalıtımsal değişikliklere yol açıcı olarak sınıflandırılan Kategori 3 maddesindeki konsantrasyonun ≥ 1 de olması,

Atıklar listede altı haneli kodlarla tanımlanmaktadır. Altı haneli atık kodları ikişer basamaklı 3 gruptan oluşmaktadır. XX, YY ve ZZ olarak tanımlayacak olursak, XX ile gösterilen ilk basamak ana bölümü, YY ile gösterilen ikinci basamak alt bölümü ve kodu tamamlayan ZZ ile gösterilen üçüncü basamak ise atığın listelemesini göstermektedir. Atık kodları kullanılırken mutlaka altı haneli kodların kullanılması gerekmektedir.

Örnek olarak;

- "01 03 04*- Sülfürlü cevherlerin işlenmesinden kaynaklanan asit üretici maden atıkları (A)".
- Burada, bölüm 01 maden atıklarını ifade etmektedir.
- 01 03 alt bölümü metalik minerallerin fiziki ve kimyasal olarak işlenmesinden kaynaklanan atıkları ifade etmektedir.

- 01 03 04 ise atık kodunu tanımlamakta ve atık sülfürlü cevherlerin işlenmesinden kaynaklanan asit üretici maden atıkları olarak tanımlanmaktadır.
- Yıldız tehlikelilik işaretini göstermekte ve A ise atığın kesin tehlikeli atık olduğunu belirtmektedir.

Atık kodu belirlenirken listenin sınıflandırma yapısının esas alınması gerekmektedir. Listede birçok tesisten kaynaklanabilecek olan arıtma çamuruna ait birçok atık kodu bulunmaktadır. Ancak bu atık kodlarının hepsi ayrı ayrı sektörler bazında sınıflandırılmıştır. Bu sebeple atığın etkin bir şekilde yönetiminin sağlanabilmesi için atık kodunun doğru bölüm altından belirlenmesi gerekmektedir.

Bu amaçla yapılacak olan sınıflandırmada öncelikle 01'den 12'ye ve 17'den 20'ye kadar olan bölümlerde atığın kaynağı ve bu atığa uygun altı haneli atık kodu belirlenir.

- Atığın kodunun belirlenmesi için, 01'den 12'ye ya da 17'den 20'ye kadar olan bölümlerde uygun bir atık kodu bulunamaz ise 13, 14 ve 15 inci bölümler incelenir.
- Bu bölümlerde de uygun bir atık kodu bulunamaz ise atık, 16 ncı bölüm altında değerlendirme yapılır.
- Eğer atık, 16 ncı bölüme de uygun atık kodu bulunamıyorsa, Atık Listesindeki ana faaliyet kodlarına uygun olan ve sonu 99-başka türlü tanımlanamayan atıklar ile biten atık kodları ilk üç basamaktaki sıraya uygun olarak incelenir. 99'la biten bir atık kodunun kullanılabilmesi için Bakanlık onayı alınması zorunludur.

1.1.3 Maden atıklarının karakterizasyonu

Yukarıdaki bölümde genel olarak tüm atık türleri için tehlikeli atık tanımı ve tehlikeli atık sınıflandırmasının nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Bu bölümde ise, doğrudan madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan maden atıklarının tanımı ve maden atıklarının karakterizasyonunun nasıl yapılacağından bahsedilecektir.

Maden Atıkları Yönetmeliği'nin Ek-3'ünde, maden atıklarının karakterizasyonunda yapılacak analizler aşağıdaki gibi açıklanmıştır;

Maden atığının tehlikeli olup olmadığını belirlemek amacıyla; Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin ek-4 atık listesi, tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesinde ek-3/A'da verilen tehlikelilik özellikleri ve ek-3/B'de verilen sınır değerler kullanılır. Yapılan

analize göre tehlikesiz olarak tanımlanan maden atıklarının karakterizasyonu için ek olarak;

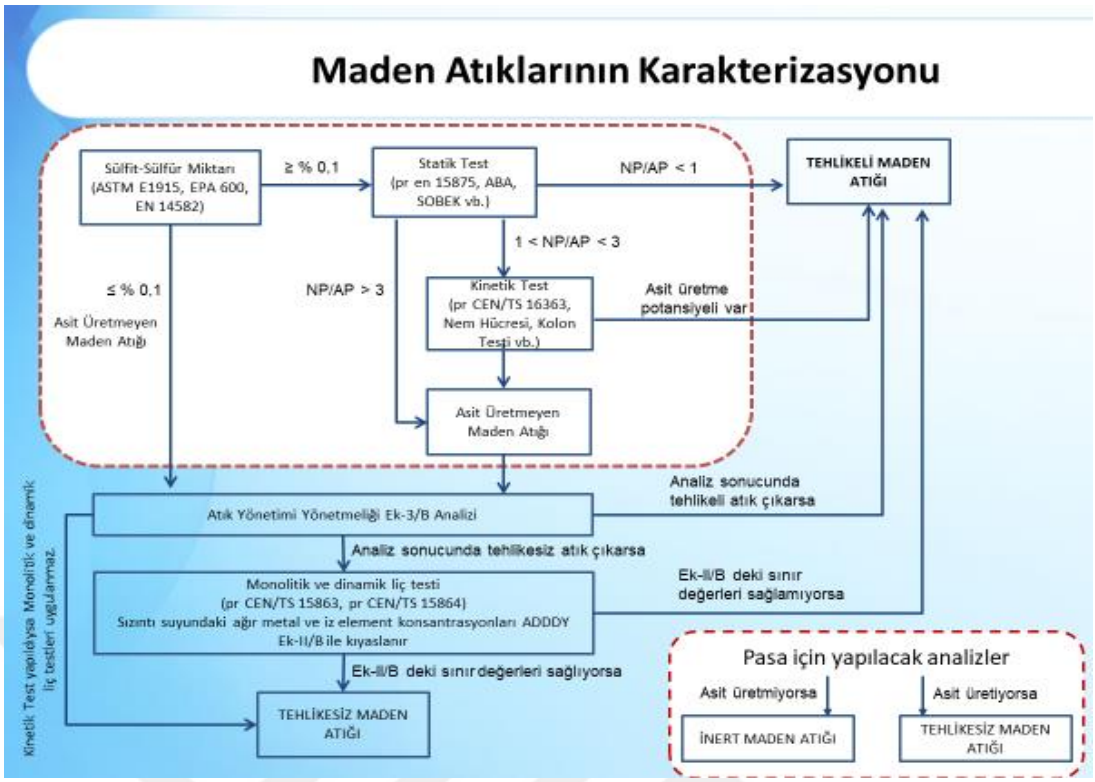
1. Proseste kullanılacak kimyasal maddelerin tanımı ve özellikleri,
2. Maden atığının jeokimyasal özellikleri ve durumu ile ilgili olarak maden atığının mineralojik ve kimyasal özellikleri ve atığın içerisinde kalmış olabilecek proses katkı maddeleri ya da kalıntıların tanımlanması,
3. Maden atığının jeokimyasal özellikleri ve durumu ile ilgili olarak belirli bir zaman aralığında metallerin, oksianyonların ve tuzların pH'a bağlı liç testi ve/veya perkolasyon testi ve/veya zamana bağlı salınımı ve/veya başka uygun testler yoluyla değerlendirmesi,
4. Maden atığının jeokimyasal özellikleri ve durumu ile ilgili olarak sülfür (S^{-2}) içeren atıklarda zamanla oluşabilecek asit maden drenajının ve metal liçinin belirlenmesi için statik testlerin ve bunun sonucuna göre gerekirse kinetik testlerin yapılması,

gerekmektedir. Bu analiz ve testlere göre ilgili mevzuatta yer alan sınır değerleri aşan atıklar tehlikeli olarak sınıflandırılır.

Özet olarak, maden atıklarının tehlikeli atık olarak karakterize edilmesini belirleyen 3 ana faktör bulunmaktadır. Bunlar;

1. Asit maden drenajı potansiyelinin bulunması veya asit üretmesi.
2. Maden atıklarının bileşiminde bulunan ağır metal ve iz elementler bakımından ek-3'te (AYY, 2015) yer alan tehlikelilik özelliklerini ihtiva etmesi ve sınır değerlerin üzerinde olması.
3. Maden atıklarının bileşiminde bulunan ağır metal ve iz elementlerin, liç/eluat testleri sonucuna göre sızıntı suyundaki miktarlarının sınır değerleri aşması.

Şekil 1.1'de iş akım şemasında da gösterilen maden atıklarının karakterizasyonuna ilişkin tüm detaylar (analizlerin standartları, sınır değerler, numune alımı vb.) "Maden Atıkları Yönetmeliğinin Uygulanmasına İlişkin Açıklamalar" metninde yer almaktadır (URL-1). Çizelge 1.2'de ise, ek-4 listesinde yer alan maden atık kodları gösterilmektedir (AYY, 2015).



Şekil 1.1. Maden atıklarının karakterizasyonu (URL-2).

Çizelge 1.2. Maden atığı kodları.

01	Madenlerin Aranması, Çıkarılması, İşletilmesi, Fiziki Ve Kimyasal İşleme Tabi Tutulması Sırasında Ortaya Çıkan Atıklar
01 01	Maden Kazılarından Kaynaklanan Atıklar
01 01 01	Metalik maden kazılarından kaynaklanan atıklar
01 01 02	Metalik olmayan maden kazılarından kaynaklanan atıklar
01 03	Metalik Minerallerin Fiziki ve Kimyasal Olarak İşlenmesinden Kaynaklanan Atıklar
01 03 04*	Sülfürlü cevherlerin işlenmesinden kaynaklanan asit üretici maden atıkları (A)
01 03 05*	Tehlikeli madde içeren diğer maden atıkları (M)
01 03 06	01 03 04 ve 01 03 05 dışındaki diğer maden atıkları
01 03 07*	Metalik minerallerin fiziki ve kimyasal işlenmesinden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren diğer atıklar (M)
01 03 08	01 03 07 dışındaki diğer tozumsu ve pudramsı atıklar
01 03 09	01 03 10 dışındaki alüminyum oksit üretiminden çıkan kırmızı çamur
01 03 10*	01 03 07 dışındaki alüminyum oksit üretiminden çıkan tehlikeli maddeler içeren kırmızı çamur (M)
01 03 99	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar
01 04	Metalik Olmayan Minerallerin Fiziki ve Kimyasal İşlemlerinden Kaynaklanan Atıklar
01 04 07*	Metalik olmayan minerallerin fiziki ve kimyasal işlenmesinden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren atıklar (M)

Çizelge 1.2. (devam). Maden atığı kodları.

01 04 08	01 04 07 dışındaki atık kaya ve çakıl taşı atıkları
01 04 09	Atık kum ve killer
01 04 10	01 04 07 dışındaki tozumsu ve pudramsı atıklar
01 04 11	01 04 07 dışındaki potas ve kaya tuzu işlemesinden kaynaklanan atıklar
01 04 12	01 04 07 ve 01 04 11 dışındaki minerallerin yıkanması ve temizlenmesinden kaynaklanan ince taneli atıklar ve diğer atıklar
01 04 13	01 04 07 dışındaki taş yontma ve kesme işlemlerinden kaynaklanan atıklar
01 04 99	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar
01 05	Sondaj Çamurları ve Diğer Sondaj Atıkları
01 05 04	Tatlı su sondaj çamurları ve atıkları
01 05 05*	Yağ içeren sondaj çamurları ve atıkları (A)
01 05 06*	Tehlikeli maddeler içeren sondaj çamurları ve diğer sondaj atıkları (M)
01 05 07	01 05 05 ve 01 05 06 dışındaki barit içeren sondaj çamurları ve atıkları
01 05 08	01 05 05 ve 01 05 06 dışındaki klorür içeren sondaj çamurları ve atıkları
01 05 99	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar

1.1.4 Asit maden drenajı

Asit maden drenajı, maden atıklarında bulunan bazı sülfür minerallerinin doğal (atmosferik) şartlar altında hava (oksijen) ve su (oksijen) ile reaksiyona girerek kimyasal oksitlenmenin gerçekleşmesi ve sonuç olarak drenaj sularının asidik karakter kazanması olayıdır. Bu asidik sular, etkileşimde olacağı litolojilere ve bu litolojilerdeki mineral yapılarına göre metal çözülümlerine (metal liçi oluşumlarına) ve sulardaki çözünmüş katı madde miktarlarında artışa sebep olabilirler. Asit maden drenajı doğal aşınma, ayrışma ve bozuşmalar sonucu oluşabileceği gibi (asit kaya drenajı), antropojenik aktivitelerden (madencilik, karayolu inşaatı, doğal tehlikelerden korunma amaçlı şev kırma veya düzeltme, vb.) de kaynaklanabilir (Şekil 1.2). AMD oluşumuna nem, sıcaklık, tane boyutu, bakteri varlığı gibi kompleks fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler (Lottermooser, 2007; EPA, 1994) etki etmektedir (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3. AMD oluşumuna etki eden temel faktörler.

Kimyasal	Fiziksel	Biyolojik
- Pirit, demir ve diğer metal sülfürlerin oksidasyonu ve hidrolizi -Nötralize edici gang mineralleri -Sıcaklık, buharlaşma -Su/nem ve oksijen mevcudiyeti ve taşınımı -Mineral çökelimi ve çözünmesi	-Jeoloji, mineroloji - İklim, hidroloji -Maden çıkartma ve zenginleştirme yöntemleri -Tane boyutu, porozite ve yüzey alanı	-Mikroorganizmaların varlığı ve katalizörlüğü -Organik kompleks oluşumu -Mikrobiyal adsorbsiyon ve metal alımı



Şekil 1.2. Asit maden drenajı görüntüleri (URL-2).

AMD oluşumu, sülfür minerallerinden en yaygın ve en bol bulunan demir-sülfür minerali piritin (FeS_2) oksitlenme reaksiyonu ile aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

Pirit minerali hava ve su ile reaksiyona girerek ferro demir (Fe^{+2}), sülfat (SO_4^{-2}) ve hidrojen iyonu (H^+) oluşturur.

$$2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe^{+2} + 4SO_4 + 4H^+$$

Oluşan Fe^{2+} ve H^+, hava ile birleşerek ferri demir (Fe^{3+}) ve suyu (H_2O) oluşturur.

$$4Fe_2 + O_2 + 4H^+ \rightarrow 4Fe^{3+} + 2H_2O$$

Bu aşamada pirit minerali, Fe^{3+} ile oksitlenerek sülfirik asidin çözeltideki ayrışma ürünü olan hidrojen iyonu ve sülfat oluşur.

$$FeS_2 + 14Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{2+} + 2SO_4 + 16H^+$$

Özet olarak piritin genel oksitlenme reaksiyonu aşağıdaki gibidir;

$$FeS_2(k) + 7/2H_2O(s)\ 15/4O_2(g) \rightarrow FeOH_3(k) \downarrow + 2SO_4^{2-} + 4H^+$$

Diğer sülfürlü metallerin oksitlenme reaksiyonu ise;

$2MeS + 4Fe^{3+} + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Me^{2+} + 4Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 4H^+$

Me: Metal (Pb, Zn, As vb.)

şeklindedir (EPA,1994).

Belirtilen bu reaksiyonların net etkisi hidrojen iyonunun oluşmasıdır. Hidrojen iyonundaki artış da pH'ın azalmasına ve Fe^{3+}'ün sürekli olarak çözülmesine sebep olmaktadır. Yukarıdaki reaksiyon zincirinden de anlaşılacağı gibi, su ile birlikte havanın varlığı sonucu sülfür mineralinin oksitlenmesinin yanında, su ile birlikte ferri demirin de varlığı sülfür minerallerinde oksitlenmeye sebebiyet verebilir. Buna göre suyun yanında hem hava hem de ferri demir oksidant (oksitleyici) madde olarak sülfür minerallerinde oksitlenmeye ve asit üretimine sebep olabilir. Bu nedenle, sülfür minerallerini oksidant maddeye göre sınıflandırmak (Plumlee, 1999) daha doğru olacaktır (Çizelge 1.4).

Çizelge 1.4. Oksidant maddeye göre sülfür mineralleri.

Oksidant Maddenin Hava Olduğu Sülfür Mineralleri		Oksidant Maddenin Hava ve Ferri Demir Olduğu Sülfür Mineralleri	
Mineral Adı	Formülü	Mineral Adı	Formülü
Pirit ve Markasit	FeS_2	Sfalerit	ZnS
Pirotin	$Fe_{1-X}S$	Galen	PbS
Bornit	Cu_5FeS_4	Kalkopirit	$CuFeS_2$
Arsenopirit	FeAsS	Kovelit	CuS
Orpiment	As_2S_3	Zinober	HgS
Arsenik Sülfür	AsS	Millerit	NiS
Stibnit	Sb_2S_3	Grenokit	CdS

Sülfür minerallerinin oksitlenmesi ortamın biyolojik olma ve olmama özelliğine göre de değişmektedir. Biyotik ortamlarda oksitlenme oranı abiyotik ortamlara göre daha fazladır. Demir ve sülfür oksitleyici bakteriler (ferrooksidantlar ve tiyooksidantlar) oksitlenme oranını artırmaktadırlar. Bakterilerin verimi ise pH ve sıcaklık gibi çevresel etmenlere göre değişiklik gösterir. pH=5'in altında biyotik ortamlarda bakterilerin katkısı ile oksitlenme oranında artış gözlemlenmektedir. Bakterilerin oksitlenmeye en

verimli katkı sağlayabildikleri pH değeri ise 2-3 arasıdır. Sıcaklık artışı ise hem biyotik hem de abiyotik ortamlarda oksitlenme oranında artışa sebep olur (Balcı vd., 2007).

Asit maden drenajı sürecinde yukarıda özetlenen asit oluşumu sürecinin yanında, reaksiyonlar sonucu ortamda açığa çıkan hidrojen iyonları nötrleştirici özellikteki mineralleri tetikleyerek asit oluşumunu tamponlayan reaksiyonlar oluşturabilir. Bu reaksiyonların devamlılığı, ortamdaki nötrleştiren minarallerin miktarı ile ilgilidir (Karadeniz, 2008). Nötralizasyonda rol oynayan mineraller genel olarak; Ca ve Mg karbonatlar, Ca, Mg, Al oksit/hidroksitler ve çözünür silikatlar ile fosfatlar olarak sıralanabilir. Fe, Mn karbonatlar ise AMD sürecinde oksitlenmeleri nedeniyle diğer karbonatlar gibi nötralizasyon etkisi göstermeyip asit üretimine katkıda bulunurlar. K-feldspat ve silikatlardan oluşan minerallerin yavaş ve uzun vadede çözünmeleri nedeniyle, nötralizasyon potansiyeli yüksek olan ve hızla çözünen kalsit, dolomit ve ankerit gibi karbonatlı minerallere göre daha yüksek nötralizasyon kapasitesi bulunabilir. (Paktunç, 1998).

Çözünme hızı en yüksek olan kalsit ve dolomitin nötralizasyon sürecinde ayrışma reaksiyonu;

$$CaCO_3 + 2H^+ = Ca^{2+} + H_2O(s) + CO_2(g)$$

$$CaMg(CO_3)_2(k) + 2H^+(s) \rightarrow 2HCO_3^-(s) + Ca^{2+}(s) + Mg^{2+}(s)$$

olup ortam pH'ı düştükçe daha hızlı çözünmektedirler.

Çözünme hızları kalsit ve dolomite göre 100 ila 100 bin kat daha düşük fakat yüksek tamponlama potansiyeli bulunan K-feldspat ve silikatlar ise;

$$KAlSi_3O_8(k) + H^+(s) + 9/2H_2O \rightarrow 2H_4SiO_4 + 1/2Al_2Si_2O_5(OH)_4(k)$$

$$2MeAlSiO_4(s) + 2H^+(s) + H_2O \rightarrow Me^{x+}(s) + Al_2Si_2O_5(OH)_4(s)$$

$$MeAlSiO_4(s) + H^+(s) + 3H_2O \rightarrow Me^{x+}(s) + Al^{3+}(s) + H_4SiO_4(s) + 3OH^-(s)$$

(Me = Ca, Na, K, Mg, Mn yada Fe)

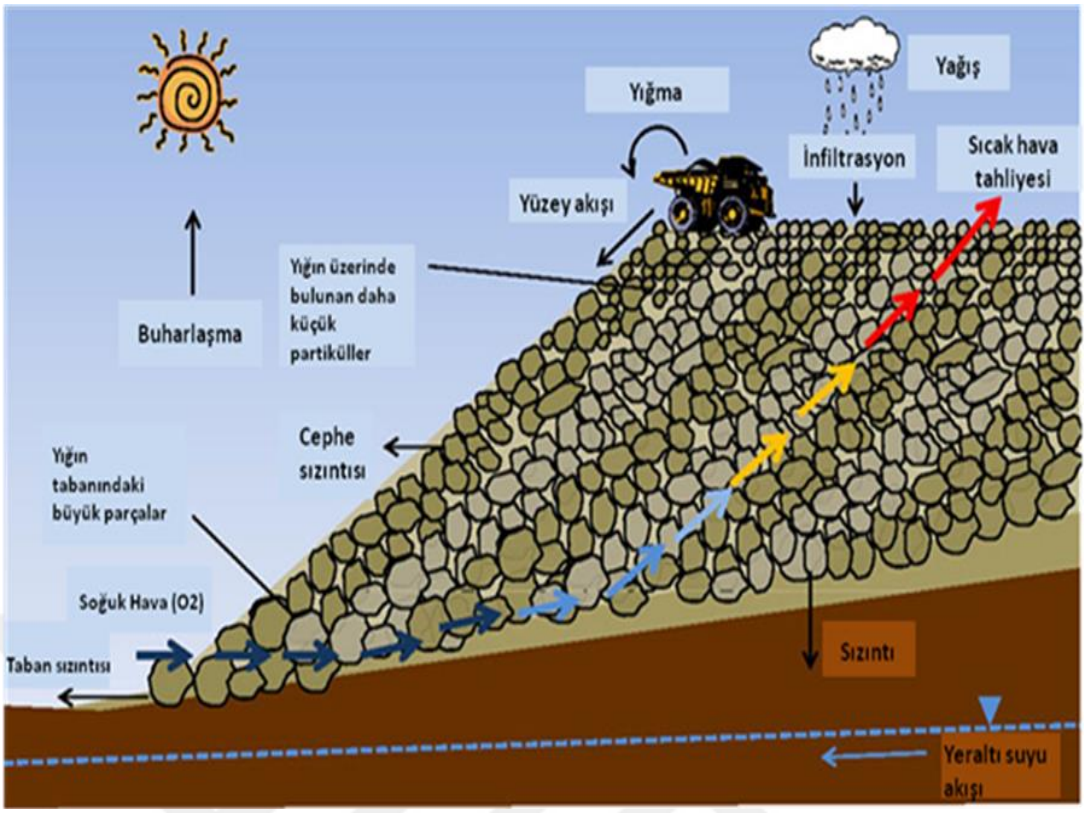
reaksiyonları ile çözünmektedirler (Paktunç, 1998; Lottermoser, 2007).

AMD sürecinde, yukarıdaki denge durumları dışında reaksiyonların meydana gelmesi ile ortam koşullarına göre; sülfat tuzları (jarosit, alunit, jips, barit), metal oksit/hidroksit (ferrihidrit, götit), halitler, arsenatlar (arsenopirit), fosfatlar ve karbonatlar (kalsit, dolomit, siderit) grubundan ikincil mineraller oluşur. Farklı pH'larda farklı çözünürlüğe sahip bu ikincil minerallerin bazıları asit üretimi ve metal salınımına, bazıları ise tamponlama ve metal adsorbsiyonuna neden olurlar (Lottermoser, 2007).

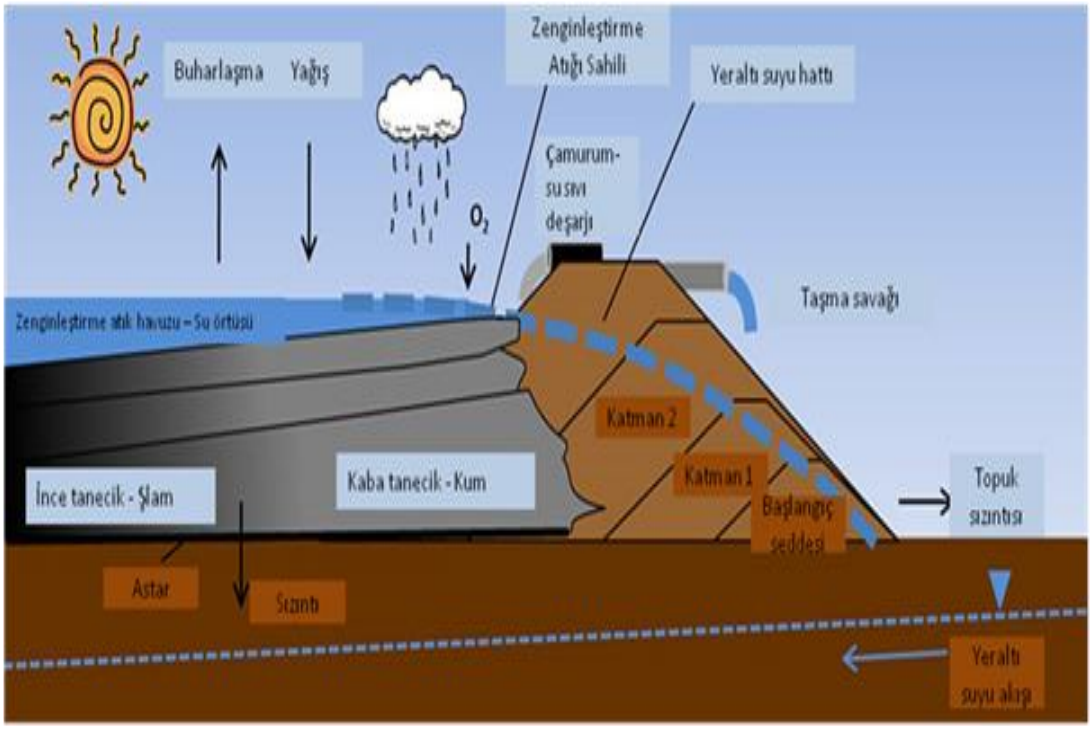
Asit maden drenajının alıcı ortama ulaşıp ulaşmaması çoğunlukla kaynak, taşınma yolları ve alıcıların niteliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kaynaklar, taşınma yolları ve alıcı ortamlara ilişkin genel bir kavramsal model Çizelge 1.5'te, pasa yığını ve atık barajlarında AMD oluşumu ve taşınım yolları ise Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te (URL-3) gösterilmektedir.

Çizelge 1.5. AMD oluşumunda kaynak-taşıyıcı-alıcı zinciri.

Kaynaklar	→	**Taşınma Yolları**	→	**Alıcı Ortamlar**
Zenginleştirme atıkları		Yüzey akış suyu		Yeraltı suyu
Pasa yığınları		Maden atıklarından kaynaklanan infiltrasyon		Yüzey suyu
Cevher ve düşük tenörlü cevher yığınları		Toprak/ya da zondan kaynaklanan infiltrasyon		Hava
Yığın liçi malzemeleri		Yeraltı suyu		Toprak
Açık ocak duvarları		Yüzey suyu		Sediman
Yeraltı kazıları		Biyota tarafından alım		
		Maden sularının hareketi		
		Hava		



Şekil 1.3. Pasa yığınında asit maden drenajı kaynakları ve taşınım yolları.



Şekil 1.4. Atık barajında asit maden drenajı kaynakları ve taşınım yolları.

1.1.5 AMD test metotları

1.1.5.1 Statik testler

Madenlerin çıkarılmasından kaynaklanan örtü-kazı/dekapaj malzemesi ya da pasa olarak adlandırılan atıklar ve cevher hazırlama/zenginleştirme işlemlerinden kaynaklanan proses atıklarının asit maden drenajı potansiyeline ilişkin ön kestirim yöntemleri olan jeokimyasal statik testler, 1930'lu yıllarda ABD'de özellikle kömür madenciliğinde anyonik ve katyonik elemenetlerin ortaya koyulması amacı ile ortaya çıkmış olup zamanla asit üretme potansiyeli olan mineraller ve nötrleştirici mineral/kayaçların tespiti doğrultusunda çeşitli modeller kazanmıştır. En bilineni olan Asit-Baz Muhasebesi ya da Sobek Testi (acid-base accounting) EPA 600 olarak standart metot haline gelmiştir (Sobek vd., 1978). Bu yöntem ile beraber yaygın olarak kullanılan diğer statik test yöntemleri; Modifiye Sobek (Modifiye ABA), British Columbia Araştırma Başlangıç (British Columbia Research İnitial), ph6, Alkali Üretme Potansiyeli/Kükürt, Çamur pH, Net Asit Üretimi testleri olarak sayılabilir (Karadeniz, 2011).

Söz konusu jeokimyasal statik testler genel olarak, maden atıklarındaki sülfür türlerinin asit üretme potansiyeli (AP) ile karbonat mineralleri vb. nötrleştirme potansiyellerinin (NP) hesaplanması ve bunların oranları (NP/AP) ya da çıkarılması (NP-AP) ile net nötrleştirme potansiyellerinin ya da doğrudan net asit üretme potansiyelinin kestirilmesi esasına dayanır. Birçok ülkenin nötralizasyon potansiyeli ve asit üretme potansiyeli arasındaki fark ya da orana göre maden atıklarının asit üretme potansiyellerini değerlendirmede farklı yaklaşımları bulunmaktadır. Ülkemizde ise bu değerlendirme; NP/AP<1 ise asit üreten maden atıkları, 1<NP/AP<3 arasında ise belirsiz bölgede olduğu için kinetik teste tabi tutulması gerekli maden atıkları, NP/AP>3 ise asit üretmeyen maden atıkları, şeklinde yapılmaktadır (MAY, 2015, URL-1). Çizelge 1.6'da AMD tahmininde yaygın olarak kullanılan statik testlere ilişkin bilgiler bulunmaktadır (EPA, 1994).

Çizelge 1.6. Statik testlere ilişkin bilgiler.

Asit Baz Muhasebesi	Modifiye Sobek	British Columbia Araştırma Başlangıç	Alkali Üretme Potansiyeli/Kükürt	Net Asit Üretimi
Asit Üretme Potansiyeli				
AP=31,25*Toplam Kükürt	AP=31,25*Piritik Kükürt	AP=31,25*Toplam Kükürt	Toplam Kükürt	Toplam Kükürt H_2O_2 ile oksitlenir
Nötralizasyon Potansiyeli				
0,24 mm örnek HCl eklenerek fışırdama testi sonrası kaynatılır. Soğuma sonrası pH=7'ye titre edilir.	0,24 mm örnek HCl eklenerek fışırdama testi sonrası 24 saat oda sıcaklığında çalkalayıcıda tabi tutulur. pH 2 ile 2,5 arasında tutulur ve nihayetinde pH=8,3' titre edilir.	0,038 mm örnek 100 ml saf su ile 15dk çalkalanarak 1 N H_2SO_4 ile pH=3,4'e titre edilir.	0,023 mm 0,4 g örnek 20 ml 0,1 N HCl ile karıştırılarak 2 saat oda sıcaklığında bekletilir. pH=4'e titre edilir.	0,074 mm 1 g numune %30 luk 100 ml H_2O_2 eklenerek ısıtılır ve soğumaya bırakılır. pH=7'ye titre edilir.
Avantajları ve Dezavantajları				
Basittir, kısa sürede birçok örnek test edilir, özel ekipman gerektirmez ve yorumu kolaydır. Kinetik veri üretmez, paralel asit/alkali üretimi varsayar, farklı tane boylarını yansıtmaz, AP ve NP değeri yakınsa yorumlamak zordur, AP toplam kükürt ile hesaplandığından yüksek çıkabilir, kaynatma işlemi nedeniyle ve siderit giderimi olmadığından NP olduğundan yüksek çıkabilir.	Basittir, kısa sürede birçok örnek test edilir, özel ekipman gerektirmez ve yorumu kolaydır. Kinetik veri üretmez, paralel asit/alkali üretimi varsayar, farklı tane boylarını yansıtmaz, AP ve NP değeri yakınsa yorumlamak zordur, sülfatların tamamı göz ardı edildiğinden AP düşük hesaplanabilir.	Basittir, çok kısa sürede birçok örnek test edilir, özel ekipman gerektirmez ve yorumu kolaydır. Kinetik veri üretmez, paralel asit/alkali üretimi varsayar, farklı tane boylarını yansıtmaz, AP ve NP değeri yakınsa yorumlamak zordur.	Basittir, kısa sürede birçok örnek test edilir, özel ekipman gerektirmez. Kinetik veri üretmez, yorumu çok kolay değildir.	Basittir, kısa sürede birçok örnek test edilir, özel ekipman gerektirmez ve yorumu kolaydır. Kinetik veri üretmez, örneklere uygulanan H_2O_2 nedeniyle AP düşük hesaplanabilir ve saha koşullarını temsil etmeyebilir

1.1.5.2 Kinetik testler

Yukarıda bahsedildiği üzere jeokimyasal statik testler, maden atıklarının yalnızca asit üretme potansiyeli ile nötrleştirme potansiyelinin tahmini üzerinden bir ön değerlendirme/tahmin yapmaya yarayan ve hangi numunelerin ileri testlere tabi tutulması gerektiği hakkında fikir veren ön aşama testlerdir.

Maden atıklarının saha şartlarında uzun vadede su, hava ve mikrobiyal etki ile göstereceği davranışı, pH değişimini, ağır metal ve iz element salınımı yani sızıntı suyu kompozisyonunu belirlemek için laboratuvar şartları ya da sahada uygulanan testler ise kinetik testlerdir. Kinetik testler, statik testlere göre asit üretim potansiyeli belirsiz olan maden atıklarının asit üretim durumunun kesin olarak belirlenmesi ya da asit üreten maden atıklarının drenaj kimyası/sızıntı kompozisyonunun kesin olarak belirlenmesi amacıyla yapılır. Başta pH, sülfat ve elektriksel iletkenlik ile ağır metal ve iz element içeriklerinin zamanla değişiminin ortaya konulduğu kinetik test sonuçlarına göre, maden atıklarından kaynaklanacak sızıntı suyu yönetimi ve arıtma seçenekleri belirlenir.

Yaygın olarak kullanılan kinetik testler bazıları ASTM ya da EPA tarafından standart hale getirilmiş olan; Nem Hücresi (ASTM D5744-96), Kolon (EPA 1627), Sokshlet Ekstraksiyon, British Columbia Araştırma Doğrulama ve Çalkalama testleridir. Kinetik testler genel olarak, maden atıklarının belirli deney ekipmanları içinde değişik miktar ya da oranlarda hava, su, basınç, sıcaklık muamelesi ve bakteri ilavesiyle elde edilen sızıntı sularının içeriğinin haftalık olarak izlenmesi esasına dayanır ve minimum 12 ila 20 hafta arasında sürdürülmektedir (EPA, 1994; Sobek vd., 1978).

Yukarıda özetlenen jeokimyasal test/analiz sonuçlarına göre, madenlerin hazırlanması/zenginleştirilmesinden kaynaklanan ve asit maden drenajı üretme potansiyeli bulunan maden atıkları, tehlikeli maden atığı olarak tanımlanır ve AYY ek-4 atık listesinden “01 03 04*- Sülfürlü cevherlerin işlenmesinden kaynaklanan asit üretici maden atıkları (A)” atık kodu verilir ve başka analize gerek olmadan karakterizasyon çalışmaları sonlandırılır.

1.1.6 AYY eK-3 ve liç/eluat değerlendirmesi

Tüm atık türleri gibi maden atıklarının da atık kodları AYY'de yer almaktadır. AYY ek-4 atık listesinde 01…. başlığı altında yer alan kodlar ile maden atıkları tanımlanmıştır. Atık kodlarına göre tehlikeli atık tanımlaması, Ek-3/A'da yer alan tehlikelilik özellikleri ve Ek-3/B'de yer alan eşik konsantrasyon değerleri detaylı olarak anlatılmıştır. Söz konusu analizlerde atığın elementel ve minerolojik faz analizleri (ICP-MS, XRD vb.) yapılarak, içeriğinde bulunan ağır metal ve iz elementlerin kontsantrasyon limitlerini aşıp aşmadığı kontrol edilir, değerleri aşan atıklar tehlikeli maden atığı olarak tanımlanır. Elementel ve minerolojik faz analizleri dışında atığa toksisite, ekotoksisite, balık biyodeneyleri vb. bir dizi analiz silsilesi uygulanır ve bunların sonucunda limit değerlerin aşılması durumunda atık yine tehlikeli maden atığı olarak tanımlanır.

AYY ek-3 değerlendirmesine göre maden atıkları için yapılacak elementel/minerolojik faz analizi doğrultusunda, Pb ve As üzerinden örnek verecek olursak; Pb için sınır değer olarak %2,5 ya da 2500 mg/kg değerini aşması durumunda H6-Toksik, H7-Kansorejen özelliğinden dolayı, As için sınır değer olan %1 ya da 1000 mg/kg değerini aşması durumunda H6-Toksik, H7-Kansorejen özelliğinden dolayı, tehlikeli atık olarak değerlendirilir ve uygun atık kodu verilir (URL-4).

Sabit/monolitik veya belirli senaryolarda/dinamik liç/eluat testlerinde ise (pr CEN/TS 15863, pr CEN/TS 15864, EPA 1310B, EPA 1320) amaç; madenlerin hazırlanması/zenginleştirilmesinden kaynaklanan atıkların belirli zaman aralıklarında (12 saat- 216 saat), belirli pH'larda (ph=3-7) ve katı/sıvı oranında (1/16 mg/lt- 1/4 mg/lt) su ile çalkalanması sonrası, suda ağır metal, iz element konsantrasyonları ve TOC, EC, TİC, SO_4, AKM vb. parametrelerin hesaplanması ve bu değerlerin mevzuatta (Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik) yer alan limit değerlerler ile karşılaştırılmasıdır. Bu limit değerleri aşan atıklar tehlikeli maden atığı olarak tanımlanır ve uygun atık kodu verilir.

Maden atıklarının karakterizasyon çalışmalarının yapılmasının ve atıkların tehlikeli atık olup olmadığının belirlenmesinin temel amacı; mevzuatta atıkların depolanması durumunda taban geçirimsizlik teşkili ve üst örtü teşkili başta olmak üzere, çevresel izleme standartları, arıtma ihtiyaçları, çevresel risk analizi ve buna bağlı getirilen

sorumluluklar/kısıtlamaların atıkların karakterizasyon çalışmaları sonucuna bağlanmış olmasıdır. Bu doğrultuda, söz konusu mevzuat kapsamında Balya terkedilmiş maden sahasında bulunan atıkların karakterizasyonu yapılarak asit maden drenajı potansiyeli ve tehlikelilik özellikleri bu çalışma kapsamında belirlenmiştir.

1.2 Rehabilitasyon/İyileştirme Teknikleri

Tez konusu terkedilmiş maden atık sahası çok uzun yıllardır atıklardan kontrolsüzce doğrudan alıcı ortamla etkileşim halinde olan bir vahşi depolama sahası olarak tanımlanabilir. Atıklar, söz konusu sahada yüzeysel sularla (yağmur suyu, Sarısu/Maden Deresi, Kocaçay, Madra, Manyas Baraj Gölü), yeraltı sularıyla, tozuma yoluyla toprakla ve tüm bunlar dolayısıyla insan ve canlılarla etkileşim halindedir. Dolayısıyla atık sahasının rehabilitasyonu ve iyileştirmesi tüm bu etkinin ortadan kaldırılmasını amaçlayacaktır. Tabi bunu yaparken birçok etken göz önünde bulundurulacak olup en önemli iki etken ise finansman (harcanacak para) ve zaman olacaktır.

Maden atıkları için spesifik/önemli kirletici olarak en temel maddeler inorganik kirleticiler olmakla birlikte bunun yanında bazı anyon ve katyonlardan bahsedilebilir. Bu doğrultuda kirlenmiş sahalarda toprak kirliliğinin iyileştirilmesinde genel olarak kullanılan alternatif teknik/teknolojiler Çizelge 1.7'de verilmektedir (KSTİT Kılavuzu, 2017).

Çizelge 1.7. İnorganik toprak kirliliğinin temizlenmesinde kullanılan teknolojiler.

TOPRAKTA İNORGANİK KİRLİLİK	
Yerinde	Yerinden Alınarak
- Elektrokinetik Ayırma - Toprak Yıkama - Solidifikasyon/Stabilizasyon - Fitoremediasyon	- Kimyasal Ektraksiyon - Kimyasal İndirgenme/Yükseltgenme - Solidifikasyon/Stabilizasyon - Toprak Yıkama - Yüzey Kapatma - Hafriyat ve Saha Dışına Taşıma

Bu bölümde, söz konusu teknik/teknolojilerin seçimi ve uygulamasına esas teşkil edecek saha özelliklerinin dışında kalan bazı önemli bilgiler özetlenmektedir.

1.2.1 Fitoremediasyon

Kirlenmiş toprakta yer alan bazı kirleticileri (inorganikler, uçucu organik bileşenler vb.) ayırmak, taşımak ya da yok etmek için yerinde uygulanan bir biyolojik prosestir. Bitkiler tarafından yapılan kirlilik gideriminde; rizosfer biyoparçalanma, fitodegradasyon, fitoekstraksiyon, fitoakümülasyon ve fitostabilizasyon mekanizmaları rol oynar. Bazı bitkiler kirleticileri (metaller) köklerinde biriktirirken bazıları yapraklarında biriktirir. Bu yöntemde; kullanılan bitkinin türü, sahanın genişliği ve mevsimsel özellikleri, kirlenmiş toprak derinliği, kirletici türü ve konsantrasyonu, kirleticilerin havaya karışma riski, bitkilere uygulanacak analiz ve izlemeler nedeniyle prosesin uzun sürmesi (3 yıldan fazla) vb. kısıtlamalar ve dezavantajlar bulunmaktadır. Bu yöntemle kirlenmiş toprağın/sahanın temizlenmesinde metreküp toprak başına maliyetler, 147 USD ile 2322 USD arasında değişebilir. Bu derece geniş maliyet aralıklarının olması, prosesin henüz genel geçer uygulamalarının oluşmamış olmasından kaynaklanmaktadır (USEPA, 2012; KSTİT Kılavuzu, 2017).

1.2.2 Kimyasal ekstraksiyon

Kirlenmiş toprağın yerinden alınarak bir reaktörde çözücü madde ile karıştırılarak kirletici unsurlardan temizlenmesi olarak tanımlanabilecek bir kimyasal iyileştirme prosesidir. Kirleticilerin sıvı fazda yoğunlaştırılarak topraktan ayrılmasıyla nihai bertarafa gidecek tehlikeli atık hacminde büyük oranda azalma sağlanan yöntemin toprak yıkama teknolojisinden farkı ise su yerine çözücü kimyasallar kullanılmasıdır. Ekstraksiyon sonrası katı faz (toprak) susuzlaştırılır, proseste asit kullanılmışsa kireç veya gübre ile karıştırılarak nötralize edilir. Sıvı faz ise NaOH, kireçtaşı vb. topaklaştırma/çöktürme kimyasalları ile karıştırılarak temizlenen kısım geri kazanılır. Bu yöntem genellikle diğer yöntemlerle (stabilizasyon/solidifikasyon, toprak yıkma veya yakma) beraber uygulanır. Genellikle VOC, PCB, halojenli solventler ve petrol ile kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde kullanılan yöntemin inorganik kirliliğin gideriminde kullanımı diğer teknolojilere entegre olarak mümkündür. Yöntemin, pH, katyon değişim kapasitesi, organik içerik, nem miktarı, metal, uçucu, kil ve kompleks

atık karışımlarının varlığı gibi birçok kısıtlaması bulunmaktadır. PBB, DDT gibi bazı kalıcı organik kirleticilerin gideriminde tam ölçekli yurtdışı uygulamaları olan teknolojinin maliyeti ise metreküp toprak başına 358-1717 USD olup bu maliyete kazı ve yerinden taşıma maliyeti dahil değildir. Proses süresi ise değişken olmakla birlikte ortalama 6 ay ile 1 yıl olacağı varsayılabilir (URL-5; KSTİT Kılavuzu, 2017).

1.2.3 Kimyasal indirgenme/yükseltgenme

İndirgenme/yükseltgenme tepkimeleri ile yerinden alınan topraktaki tehlikeli kirleticilerin tehlikesiz veya daha etkisiz (kararlı, az hareketli ve/veya inert) bileşiklere dönüştürüldüğü bir kimyasal prosestir. Yaygın olarak kullanılan oksitleyici maddeler; ozon, hidrojen peroksit, hipoklorit, klor, klor dioksittir. Kimyasal redoks tepkimelerinde hedef kirletici grubu inorganikler olup içme suyu, atık su dezenfeksiyonu dışında krom ve siyanür atıklarının arıtımında kullanılmaktadır. Geliştirilmiş sistemler topraktaki tehlikeli atıkların arıtımında günümüzde daha çok kullanılmakta olup ağır metaller için ticari olarak işletilen ve askeri ve radyoaktif atıklarda sıklıkla kullanılan Ergimiş Tuz Oksidasyonu ile endüstriyel atıklardan tehlikeli atıkların arıtımında kullanılan Elektrokimyasal Oksitlenme prosesleri örnek olarak verilebilir. Tamamlanmayan yükseltgenme tepkimeleri sonucunda ara kirletici/ kalıntı oluşumu, çok yüksek kirletici derişimleri olduğunda artan oksidan madde gereksinimi nedeniyle ekonomik olmaması, proses öncesi temizleme ve ön işlem süresi gibi kısıtlamaları ve dezavantajları bulunmaktadır. Proses maliyeti metreküp toprak başına 190-660 USD olup bu maliyete kazı ve yerinden taşıma maliyeti dahil değildir. Proses süresi ise ortalama 1 yıldır (KSTİT Kılavuzu, 2017).

1.2.4 Toprak yıkama

Kirlenmiş topraktaki kirleticilerin su veya sulu çözeltiler ile yıkanarak çözeltiye alınması şeklinde özetlenebilecek, yerinde veya yerinden alınarak yapılan bir fiziksel/kimyasal prosestir. Yerinde yapılan işlemlerde yıkama suyunun toprağın hemen altındaki akiferden alınması ve geri dönüştürülmesi gereklidir. İnorganik kirleticilerin (metaller) giderimi için yıkama sıvısında su, asit çözeltisi (nitrik-hidroklorik asit) ve baz çözeltisi (NaOH) kullanılır. Metal işleme tesislerinden ve kontrolsüz tehlikeli atık sahalarından kaynaklı kirliliğin giderilmesinde Avrupa ve ABD'de kullanılan bir prosestir. Prosesin yüksek geçirgen topraklara uygun olması,

kil grubu malzemelerin prosesi olumsuz etkilemesi, yıkama sıvıları nedeniyle yeraltına sızıntı yapma riski, yıkama çözeltisi seçiminin zorluğu, yüksek hümik madde içeriğinde ön arıtım zorunluluğu gibi kısıtlamaları ve dezavantajları bulunmaktadır. Proses maliyeti metreküp toprak başına 24-187 USD olup bu maliyete kazı ve yerinden taşıma maliyeti dahil değildir. Proses süresi ise 1 ila 3 yıldır (URL-5; KSTİT Kılavuzu, 2017).

1.2.5 Solidifikasyon/stabilizasyon

Diğer yöntemlerinden farklı olarak hedefi kirleticileri yok etmek/ayırmak yerine hareket kabiliyetini/mobilitesini sınırlandırmak olan bu kimyasal prosesler yerinde veya yerinden alınarak uygulanabilmektedir. Stabilizasyon, kirlenmiş topraktan kirleticilerin çevreye sızma ihtimalini en aza indirmek için kimyasal tepkimeler yardımıyla kirlenmiş toprağı kararlı hale getirirken, Solidifikasyonda ise kirlenmiş toprak bağlayıcı ajanlar (çimento, asfalt, uçucu kul ve kil) ve su ile karıştırılıp kirletici ile toprak birbirine bağlanır. Atığın yeterince sığ olduğu durumlarda yerinden alınarak yapılan işlemlerle proses sonunda kuru ve katı hale getirilen atıklar dolgu olarak kullanılabilir ya da düzenli depolama tesislerinde bertarafa gönderilir. Yerinde yapılan işlemlerde ise kütlerler içinde derin kuyular açılarak stabilize edici malzemeler büyük karıştırıcılar (auger sistemler) ile karıştırılır ve genellikle atık kütlesinin üstü yüzey örtüsü ile kaplanarak kirlenmiş ortamın su ile teması kesilir. Kirlilik derinliği, kirletici çeşidi, arıtılabilirlik ön çalışmaları, su tablasının konumu, ilave üst örtü ya da taşıma ve bertaraf maliyeti gibi kısıtlama ya da dezavantajları bulunmaktadır. Proses maliyeti metreküp toprak başına 50-425 USD olup bu maliyete kazı ve yerinden taşıma ve nihai bertaraf maliyeti dahil değildir. Proses süresi ise ortalama 6 ay ila 1 yıldır (USEPA, 2012; KSTİT Kılavuzu, 2017).

1.2.6 Elektrokinetik ayırma

Elektrokinetik temizleme yöntemi düşük yoğunluktaki doğru akımın seramik anot ve katot elektrotlar ile topraktan geçirilmesi ile kirleticilerin topraktan ayrılması prensibine dayanan yerinde uygulanan bir kimyasal prosestir. Bu yöntemle yüklü parçacıklar harekete geçirilerek pozitif yüklü bileşenler (metal iyonları, amonyum iyonları ve pozitif yüklü organik bileşikler) katota, negatif yüklü bileşenler ise (klor, siyanür, flor, nitrat gibi anyonlar ve negatif yüklü organik bileşikler) anota doğru

hareket eder. Prosesin devamında ise kirleticiler uzaklaştırmak ya da arıtmak için konsantre edilir. Kirlilik konsantrasyonu, toprağın geçirgenlik durumu, klor gazı salınımı ihtimali, doğal jeolojinin elektriksel iletkenliğinde değişiklik yaratma ihtimali gibi kısıtlama ya da dezavantajları bulunmaktadır. Proses maliyeti metreküp toprak başına 50-117 USD olup bu maliyete kazı ve yerinden taşıma ve nihai bertaraf maliyeti dahil değildir. Proses süresi ise yaklaşık 1 yıldır (URL-5; KSTİT Kılavuzu, 2017).

1.2.7 Hafriyat ve saha dışına taşıma

Tüm kirletici tiplerinde uygulanabilen kirletilmiş ortamın yerinden alınarak temizlenmek/iyileştirmek amacıyla taşınması şeklinde tanımlanan fiziksel yöntemdir. Uygulamadan önce toprak karakterizasyonu ve atık bertarafına ilişkin analizlerin yapılması gerekmekte olup tek başına uygulanan bir yöntem değildir. Hafriyatın miktarı, derinliği ve kirlilik muhteviyatı önemlidir. Yöntemin süresi ve fiyatı hafriyatın miktarına, taşıma, iyileştirme prosesi ve/veya bertaraf maliyetine bağlıdır.

1.2.8 Yüzey kapatma

Kirlenmiş alan yüzeyindeki maruziyeti en aza indiren, alandan oluşabilecek kirlilik yayılımını (emisyon, sızıntı vb.) önleyen, rehabilitasyon sonrası alanı farklı kullanımlara açabilen, kirletici kaynağın kontrol edilmesinde kullanılan yerinde uygulanan fiziksel bir arıtma/iyileştirme yöntemidir. Yüzey kapatma tesisinin tasarımı saha koşullarına (meteorolojik, hidrojeolojik, hidrolik, topoğrafik vb.) ve sistemin amacına göre şekillenir. Bu sistemler, bitkilendirilmiş toprak katmanından geçirimsiz doğal (kil grubu mineraller) ya da yapay (geosentetikler) malzemelerin kullanımıyla oluşturulabilir (USEPA, 2012). Kapatma amaçlı doğal ya da yapay bariyerlerin amacı, kirlenmiş alana su girişini ya da kirletici unsurların hava yoluyla taşınımını engellemektir. Kapatma malzemesi olarak genellikle geçirimsiz (en az 10^{-8} m/sn) sıkıştırılmış doğal kil, geomembranlar ya da beraber uygulamaları kullanılmaktadır. Yine kapatmada yağmur sularının drenajı için doğal (çakıl) malzemeler veya geosentetik drenaj (geokompozit) malzemeleri kullanılır. Tüm bunların üstünde ise bitkisel toprak katmanı ve yöreye özgü bitkiler kullanılarak saha topoğrafyaya en uygun şekilde rehabilite edilir. Genellikle diğer arıtım teknolojilerinin uygulanmasının yeterli olmayacağı büyük atık kütlelerinde, örneğin maden sahalarında maden atıklarından kirliliğin suya ya da rüzgar etkisi ile çevreye yayılımını engellemek ve

bitki örtüsüne uygun zemin hazırlamak amacıyla bu yöntem kullanılır. Atıkların su tablasının üzerinde olması yöntemin verimi açısında önemli bir parametredir. Geleneksel düzenli depolama, vahşi depolama, çamurlar ve maden atıkları için uygulanmakta olup gelecekte sahanın farklı amaçla kullanılması söz konusu olursa kaldırılması kolaydır. Yöntem kendi başına yeraltı suyunun kirlenmiş sahadan yatay geçişini engellememekte olup sadece dikey karışmanın önüne geçer. Bu nedenle tasarımın yatay su geçişini engelleyecek yapılarla (derivasyon, kuşaklama kanalları vb.) desteklenmesi önemlidir. Bir diğer önemli husus geçirimsizlik ve drenajı amacıyla kullanılan doğal ya da yapay malzemelerin özelliklerinin (fiziksel ve kimyasal parametreler) uygun standartlarda olduğunun kontrol edilmesidir. Süre ve maliyet sahanın büyüklüğüne ve tasarımda kullanılacak malzemelere göre değişken olup fiyat için kabaca metrekare başına 43,2 ila 55,6 USD verilebilir (URL-5; KSTİT Kılavuzu, 2017).

Tez konusu sahanın rehabilitasyonu için, üst bölümlerde uygulama alanları, uygulama süreleri, kısıtlamaları, dezavantajları ve maliyetleri anlatılan kirlenmiş saha iyileştirme seçeneklerinden "Yüzey Kapatma" yöntemi tercih edilmiştir. Prosesin tasarımına ilişkin tüm detaylar ise rehabilitasyon planı kapsamında verilmiştir.

1.3 Sahanın Tanıtımı

1.3.1 Sahanın kısa tarihçesi

Pb-Zn-Cu-Au-Ag metalik minerallerinin bulunduğu Balya maden sahasında çok eski çağlardan beri madencilik faaliyeti yapılmaktadır. M.Ö. 500 yıllarından beri işletildiği ifade edilen maden sahasının Romalılar döneminde "Christian Madenleri" ismini taşıdığı rivayet edilmektedir (Kovenko, 1940., Akyol, 1977).

Osmanlı kayıtlarına göre; sahada 1839-1849 yılları arasında "Balya Maden İşletmeleri" adlı şirketin üretim yaptığı, 1868 yılında Alman vatandaşı olan Reiser isimli bir kişinin madenin işletme hakkını "Lorium" şirketine devrettiği, 1876 yılında ise "Riyol" isimli bir Fransız şirketinin sahadaki işletme hakkını 99 yıllığına kiraladığı, bu şirketin "Societe Anonyme Ottomane de Mines de Balia-Karaaydın" ismiyle sahada 70 yıl boyunca 4 milyon tona yakın tüvenan cevher işlediği, tahmini 400 bin

ton civarında metal kurşun ürettiği ve 3,5 milyon tona yakın atığın sahaya gelişigüzel atıldığı belirtilmektedir (Madencilik Bülteni, 2010., Akyol, 1976).

1940 yılında Devletleştirilen madenin 1960-1979 yılları arasında "Rasih ve İhsan Madencilik Şirketi" tarafından işletildiği, yine aynı dönemde sahada bulunan atıkların bölgede "Mutlu Türker İzabe Şirketi" kurşun-çinko izabe tesisinde işlendiği, sahanın 1979 yılında Etibank'a geçtiği ve 1984 yılına kadar Etibank tarafından işletildiği, 2002 yılından bugüne ise "Esan Eczacıbaşı A.Ş." ve "Dedeman Madencilik A.Ş." tarafından işletildiği belirtilmektedir (Baştürk, 2017).

1.3.2 Sahanın konumu

Balya maden sahası, Marmara Bölgesi Biga Yarımadası içinde, Balıkesir İline karayolu ile 51 km, Çanakkale İline 148 km uzaklıkta olup 1/25.000 ölçekli topografik haritasının İ19 paftasında yer almaktadır (Şekil 1.5). Terkedilmiş atıkların bulunduğu saha, Balya ilçesinin 1-2 km kuzey-kuzey doğu, doğu kısmında ve Balya Belediye sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.6).



Şekil 1.5. Balya İlçesi'nin konumu.



Şekil 1.6. Balya terkedilmiş maden sahasının konumu.

Balya Madeni olarak adlandırılan ve mevcutta aktif olarak madencilik faaliyeti gösteren iki firmanın sahalarına çok yakın konumda olan atıkların bulunduğu terkedilmiş maden sahası Susurluk Nehri Havzası'nın 03-6 no'lu Kocaçay-Manyas Gölü Alt Havzası içinde yer almaktadır. Türkiye yüzölçümünün yaklaşık %3,1'ini kaplayan Susurluk nehir havzası bölgesinin toplam alanı 26790 km^2 olup Kocaçay-Manyas Gölü Alt Havzası'nın su toplama alanı ise 4072 km^2'dir. Havza; doğuda Murat, Gümeş, Yirce ve Uludağlar, güneyde Şaphane ve Simav Dağları, Madra ve Deliçal Dağları, Karadağ ve Mudanya Tepeleri ile kuzeyde Marmara Denizi ile çevrelenmiştir (Susurluk NHYP, 2018).

Havzanın en önemli su kütleleri Manyas Gölü-Kuş Cenneti ile Ulubat Gölü olup akarsuların önemli bir kısmı bu su kütleleri aracılığıyla, küçük bir kısmı ise doğrudan Marmara Denizi'ne boşalmaktadır. Kocaçay-Manyas Gölü Alt Havzası'nın en önemli akarsuyu ise Kocaçay ve Madra Çayı'dır (Şekil 1.7). Madra Dağları'ndan doğan Kocaçay, Manyas Gölü'ne dökülmekte, sonrasında gölden çıkarak gölün suyunu Karadere vasıtasıyla Susurluk Çayı'na boşaltmaktadır (Susurluk NHYP, 2018).

Terkedilmiş maden sahasında bulunan atıkları da kapsayan Balya Maden sahası konumu itibarıyla, Madra Çayı ve Kocaçay'ın su toplama havzası içinde kaldığından, Manyas Baraj Gölü ve Manyas Gölü-Kuş Cenneti'nin etki alanındadır.

Sahanın konumuna ilişkin bilgiler, özellikle atıkların bulunduğu bölgenin tam içinden atıklarla temas ederek geçen Maden/Sarısu Deresi, bu derenin çok yakın bir noktada birleştiği Kocaçay ve Madra Çayı ile nihayet bulan Manyas Baraj Gölü, kaynak-taşıyıcı-alıcı zinciri doğrultusunda sahanın yüksek derecede çevresel risk içerdiğinin bir göstergesidir. Susurluk Havzası ve alt havzalar ile havzanın drenaj ağı ve önemli su kütlelerinin gösteren harita Şekil 1.7'de verilmiştir.

1.3.3 Sahanın jeolojisi

Sahanın bulunduğu bölgede Pb-Zn maden yataklarını bölgedeki porfiri, kalkerli, kontak ve sedimanter kayaçlar oluşturmaktadır. Maden minerolojisinde kalkopirit, arsenopirit, markazit, bornit, kalkozin, kovellin, hematit gibi sülfürlü minerallerin bulunmaktadır. Bu cevherleşme saçınmış durumda olup, derinlere doğru kurşun oranı azalmakta çinko oranı ise artmaktadır (Kovenko, 1940).

Bölgede yer alan Pb-Zn maden yatağı Biga magmatizması ve tektonizmasıyla ilişkili olup bölgenin Pb-Zn-Cu rezervi açısından 15-20 milyon ton gibi bir potansiyeli bulunmaktadır (Ovalıoğlu, 1973).

Tektonik Pontitler kuşağında yer alan bölge jeolojik olarak Paleozoyik, Mesozoyik ve Tersiyer yaşlarda ve magmatik aktivitenin etkisinde, cevherleşme kireçtaşı blokları arasında damar, dokanak ve saçınımlı tipte ve doğuya doğru artmaktadır (Akyol, 1976).

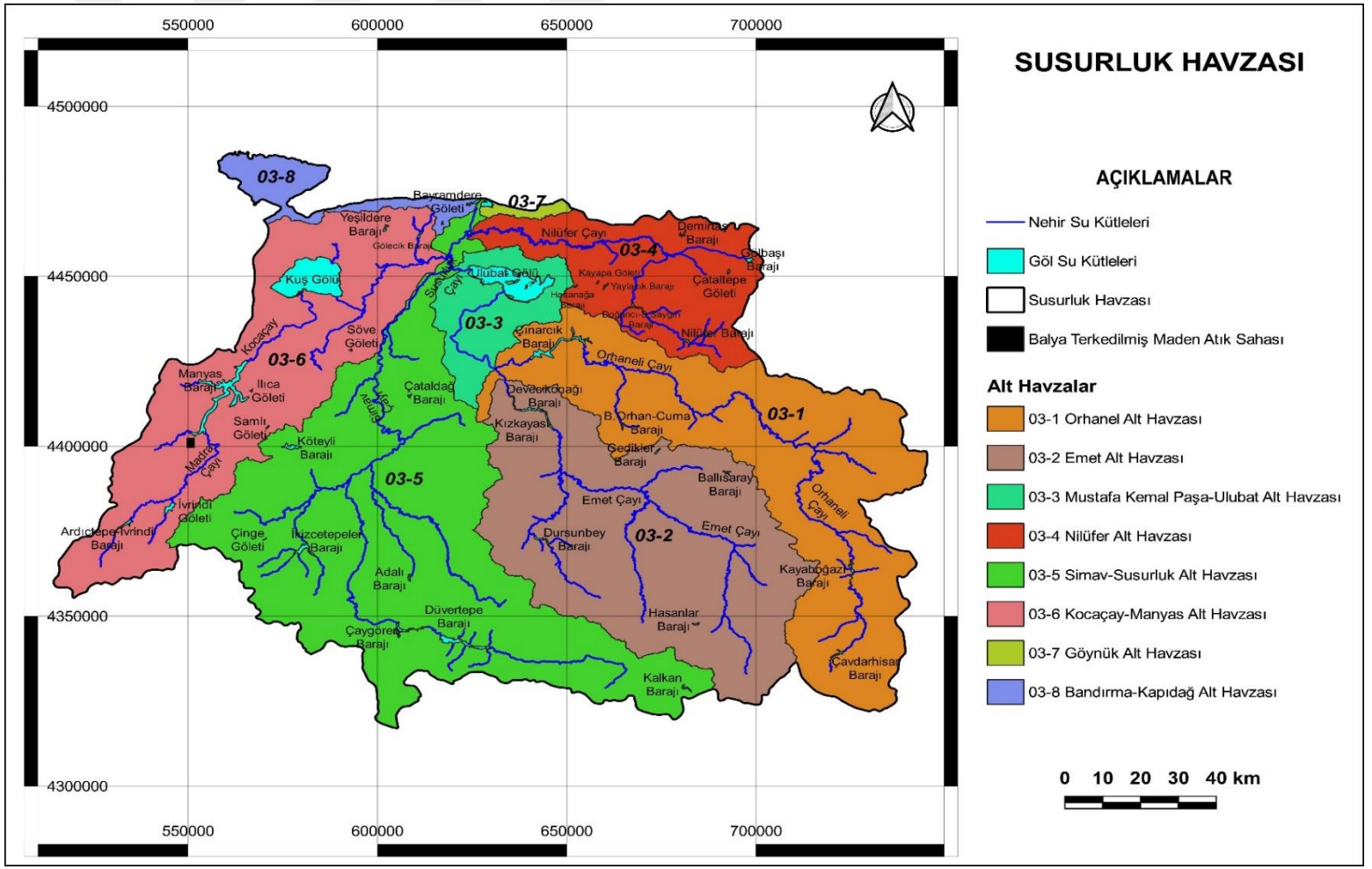
Balya maden sahasının temelini Paleozoyik yaşlı Metamorfik birimler oluşturur. Temel kayasını Paleozoyik kireçtaşları oluşturmaktadır. Kireçtaşı çalışma alanının büyük bir bölümü kaplamakta olup, gri renkli yer yer siyahımsı ve bol fosilli ve kalsit damarlıdır. (Akyol, 1977). Temel kayaları üzerine açısal uyumsuzlukla gelen Mesozoyik yaşlı fliş birimi ise Manyas Alt Havzası'nın orta kesimlerinde küçük alanlarda yüzlek vermelerine karşın Balya maden sahası ve çevresinde daha belirgin bir şekilde gözlenmektedir.

Mesozoyik kayalar üzerine Neojen yaşlı kırıntılı birimler ile volkanik birimler gelmekte olup Neojen kırıntılı birimleri, kumtaşı, çakıltaşı, konglomera, killi kireçtaşı ve marnlar ile kiltaşı ardalanması oluşturmaktadır Neojen magmatik kayalar ise genel olarak andezit, bazalt ve dasit türü genç volkanizma ürünüdür. Volkanik kayalardan en belirgin olanı andezitler daha genç olup dasitleri kesmiştir (Şekil 5). Dasitler ileri derecede alterasyona uğramış olup, silisleşme, piritleşme ve kaolinleşme belirgin olup, alterasyon renkleri olarak kahverengi, kırmızı ve beyazdır. Andezitler ise gri ve koyu gri renkli yer yer ayrışmış bir yapı sunmaktadır. (Akyol, 1977). Atık sahasının da bulunduğu maden sahasının jeoloji haritası Şekil 1.8'de verilmiştir

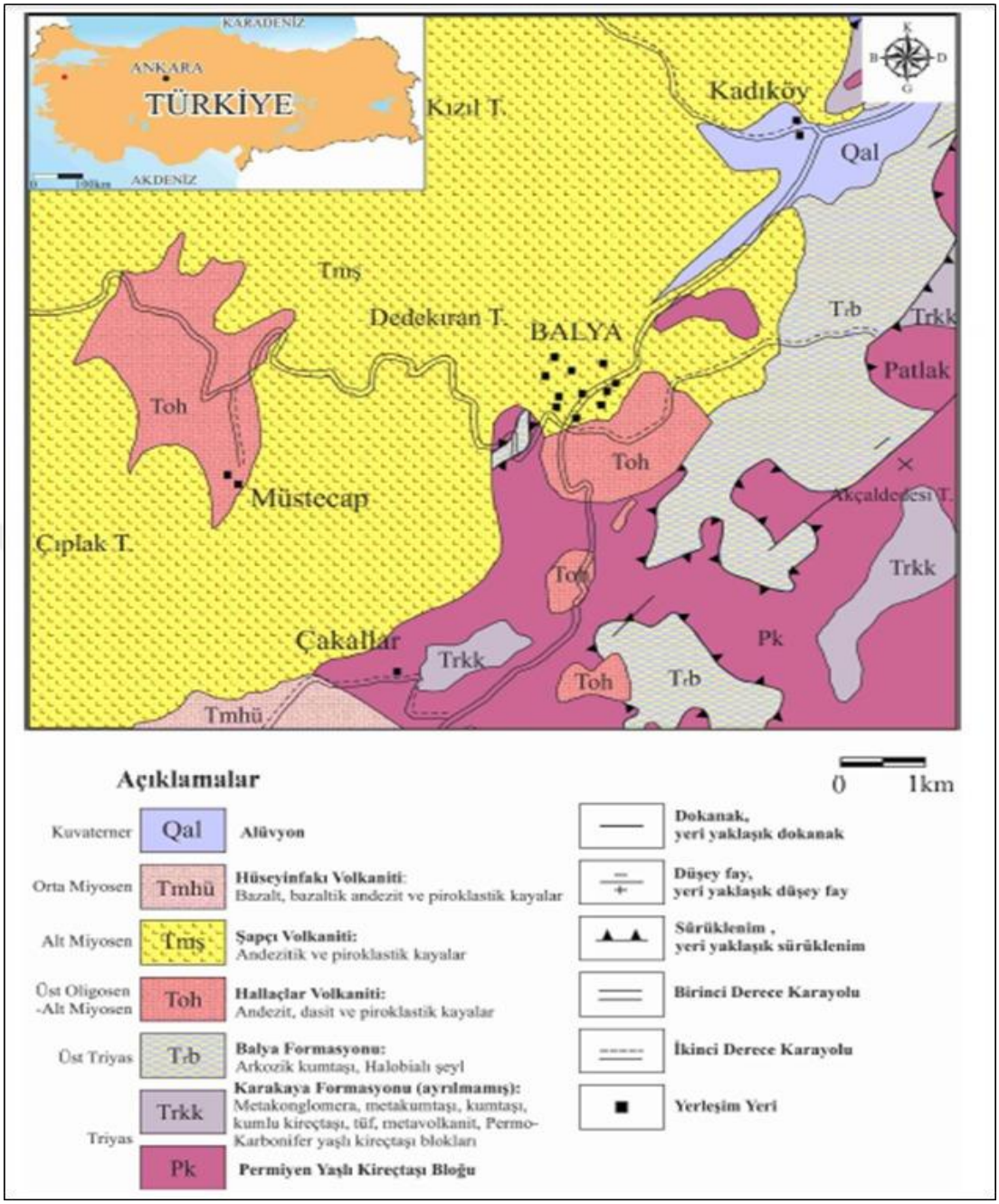
Balya maden sahası damar tipi cevher yataklarından dasitlerde görülen cevherleşme; realgar, orpiment, galenit, sfalerit, pirit, kireçtaşı eklem faylarında görülen cevherleşme; galenit, sfalerit, antimonit, pirit, realgar ve orpimenttir. Saçılmış tip cevher yataklarında dasitlerde; porfiri cevher olarak pirit galenit ve sfalerit izlenmiştir.

Dokanak tipi cevher yataklarında ise cevherleşme; genelge skarn cevheri olarak manyetit, pirit, pirotin, arsenopirit, kalkopirit, markazit, tetraedrit, galenit ve sfalerittir (Akyol, 1977).

Maden jeolojisine ilişkin bu bilgiler doğrultusunda, Balya maden sahasında bulunan atıklardaki AMD kaynağının bölge maden jeolojisiyle yakından ilgili olduğu söylenebilir. Sahanın maden jeolojisi AMD potansiyeli bulunan birçok sülfürlü metalik minerali yapısında barındırmaktadır, öte yandan yatağın kireçtaşı zonlarıyla kontak halinde bulunması da atıklarda nötralizasyon potansiyeli taşıyan kalsit, dolomit gibi karbonatların kaynağına da açıklık getirmektedir. Bununla birlikte, atıklarda bölge maden jeolojisi ve AMD reaksiyonları sonucu oluşabilecek ikincil minerallerle ilişki kurulamayan metal ya da minerallerin farklı sahalardan gelerek işlem görmüş cevherlerle alakalı olması ihtimali de göz ardı edilmemelidir.



Şekil 1.7. Susurluk havzası ve alt havzalar ile drenaj ağı ve önemli su kütleleri.



Şekil 1.8. Balya civarı jeoloji haritası.

1.3.4 Sahanın hidrolojisi

Terkedilmiş maden sahasında atıkların bulunduğu sahanın yer aldığı Manyas Alt Havzası'nın en önemli akarsuyu Balya'nın yaklaşık 6 km doğusundan geçen Madra Çayı ile Balya'nın batısından geçen Kocaçay'dır. Balya ilçe merkezinin güneyindeki Çakallar mevkiinde oluşarak Balya ilçe merkezi yakınından ve terkedilmiş maden sahasından geçen Sarısu Deresi, aynı zamanda Maden Deresi olarak da bilinmektedir.

Sarısu Deresi, Balya'nın kuzeyinde Kadıköy mevkiinde Kocaçay ile birleşmekte, Kocaçay adıyla kuzeye doğru akışına devam etmekte ve Balya'nın yaklaşık 8 km kuzeyinde Madra Çayı ile birleşerek Manyas Baraj Gölü'ne dökülmektedir. Manyas Barajını besleyen en önemli akarsu Kocaçay olmakla beraber; Karlık, Danişment, Koyunyeri, Karacahisar, Kocapınar, Ören ve Çalıca yerleşimlerinin bulunduğu bölgelerden toplanan yağış suları da küçük katılımlar oluşturarak Manyas Baraj Gölü'nü beslemektedir. Manyas Barajı çıkışında Manyas Çayı adını alarak nihayetinde Manyas (Kuş) Gölü'ne dökülmektedir (Susurluk Havzası Eylem Planı Raporu, 2010). Havzanın drenaj ağı haritası Şekil 1.7'de sunulmuş olup drenaj ağı GB-KD yönlüdür.

Havzada, 1995-2011 verilerine göre yıllık ortalama yağış 662 mm seviyesinde olup atıkların bulunduğu terkedilmiş maden sahasını da içine alan Balya İlçesi ve civarının yıllık ortalama yağış miktarı ise ortalama 650 mm'dir (Susurluk NHYP, 2018).

Balıkesir ili meteoroloji verilerine göre ise (Şekil 1.9), uzun yıllar ortalama yağış miktarının 583 mm olduğu görülmektedir. Yine bu verilere göre, yıllık yağış toplamının %42,7'sinin kış aylarında, %26,1'inin ilkbahar aylarında, %24,5'inin sonbahar aylarında, %6'sının ise yaz aylarında gerçekleştiği, en yağışlı dönemin ise Aralık ayı olduğu görülmektedir (Susurluk Havzası Eylem Planı Raporu, 2010).

Susurluk Havzası buharlaşma ve transpirasyon ortalama değerinin 980 mm olduğu görülmektedir. Atıkların bulunduğu sahasının da içinde bulunduğu havzanın batı kesimlerinde ise bu değerin ortalama 1000 mm civarındadır (Susurluk NHYP, 2018).

BALIKESIR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
	Ölçüm Periyodu (1938 - 2017)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	4.8	5.9	8.2	12.9	17.8	22.4	24.8	24.6	20.7	15.7	10.5	6.6	14.6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8.8	10.5	13.6	19.3	24.5	29.2	31.2	31.2	27.7	22.0	15.9	10.6	20.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1.3	1.9	3.3	6.9	11.0	15.0	17.7	17.9	14.1	10.2	6.0	3.1	9.0
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.9	3.6	4.8	6.3	8.7	10.7	11.6	10.9	8.6	6.2	4.2	2.5	81.0
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.4	11.7	11.5	9.3	7.6	4.5	1.6	1.4	3.4	6.7	9.4	13.7	95.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	85.0	68.9	60.8	50.1	41.2	24.8	8.3	6.1	21.9	45.6	75.4	94.9	583.0
	Ölçüm Periyodu (1938 - 2017)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	23.5	25.2	30.7	35.2	38.5	42.5	43.2	43.7	40.3	36.4	29.9	26.1	43.7
En Düşük Sıcaklık (°C)	-18.6	-18.8	-8.0	-4.0	0.6	4.0	9.1	6.0	4.0	-2.3	-7.9	-12.9	-18.8

Şekil 1.9. Balıkesir meteoroloji istasyonu meteorolojik verileri (1938-2017).

Çizelge 1.8'da özetlenen Susurluk Havzası'nın hidrolojik verilerine (Susurluk Havzası Eylem Plan Raporu, 2010) göre; yağış ve akış yükseklikleri dikkate alındığında bölgeye düşen yağışın %24'lük bir kısmı akışa geçmekte, %76'lık bir kısmı ise yeraltı suyunu beslemekte veya buharlaşmaktadır. Balya ve civarı için aynı oranlar dikkate alındığında, yıllık toplam ortalama 650 mm mertebesindeki yağışın 156 mm'lik kısmının akışa geçeceği ve 494 mm'lik kısmının ise yeraltı suyunu besleyeceği veya buharlaşarak uzaklaşacağı anlaşılmaktadır.

Çizelge 1.8. Susurluk havzası hidrolojik özellikleri.

Toplam Yağış Alanı (km^2)	Yıllık Ort. Yağış Yüksekliği (mm)	Yıllık Ortalama Akış (m^3/s)	Yıllık Ortalama Akış Yüksekliği (mm)	Yıllık Ortalama Verim ($L/s/km^2$)	Akış/Yağış Oranı
23765	712	131,26	174,18	5,52	0,24

1.3.5 Sahanın hidrojeolojisi

Balya maden sahası ve etki alanında bulunan Manyaş (Kuş) Gölü civarında 4 farklı su kütlesi bulunmaktadır. Manyas Alt Havzası sınırları içerisinde bulunan bu kütleler; İvrindi YAS kütlesi, Balya Mermer YAS kütlesi, Manyas Mermer YAS kütlesi ve Manyas-Uluabat YAS kütlesidir. Şekil 1.10'da görüleceği üzere, atıkların bulunduğu terkedilmiş maden sahası ise Balya Mermer YAS kütlesi üzerindedir. Toplam alanı 102 km^2 olan Balya Mermer YAS kütlesi KB-GD yönlü uzanmakta olup yıllık 3,06 hm^3'lük bir yeraltı suyu potansiyeli belirlenmiştir. Birim içerisinden önemli bir çekim olmaması nedeni ile önemli bir su çekim baskısının olmadığı ortaya konulmuştur (Susurluk NHYP, 2017).

Havzada yürütülen hidrojeolojik çalışmalar sonucunda, sahada yeraltı suyu akışının yüzeysel drenaj ağı ile uyumlu olarak GB-KD yönlü olduğu, diğer bir önemli akifer sistemi olan Manyas Gölü ve çevresinde yayılım sunan alüvyonlarda ise yeraltı suyu akımının Manyas Gölü'ne doğru olduğu tespit edilmiştir (DSİ, 1980). Havza yeraltı suyu kütlelerini gösteren harita Şekil 1.10'da verilmiştir.

Atıkların bulunduğu terkedilmiş maden sahanın membaında faaliyet gösteren iki maden şirketi de yeraltı işletmesi olup yeraltı ocaklarından drene ettikleri suları, pasif

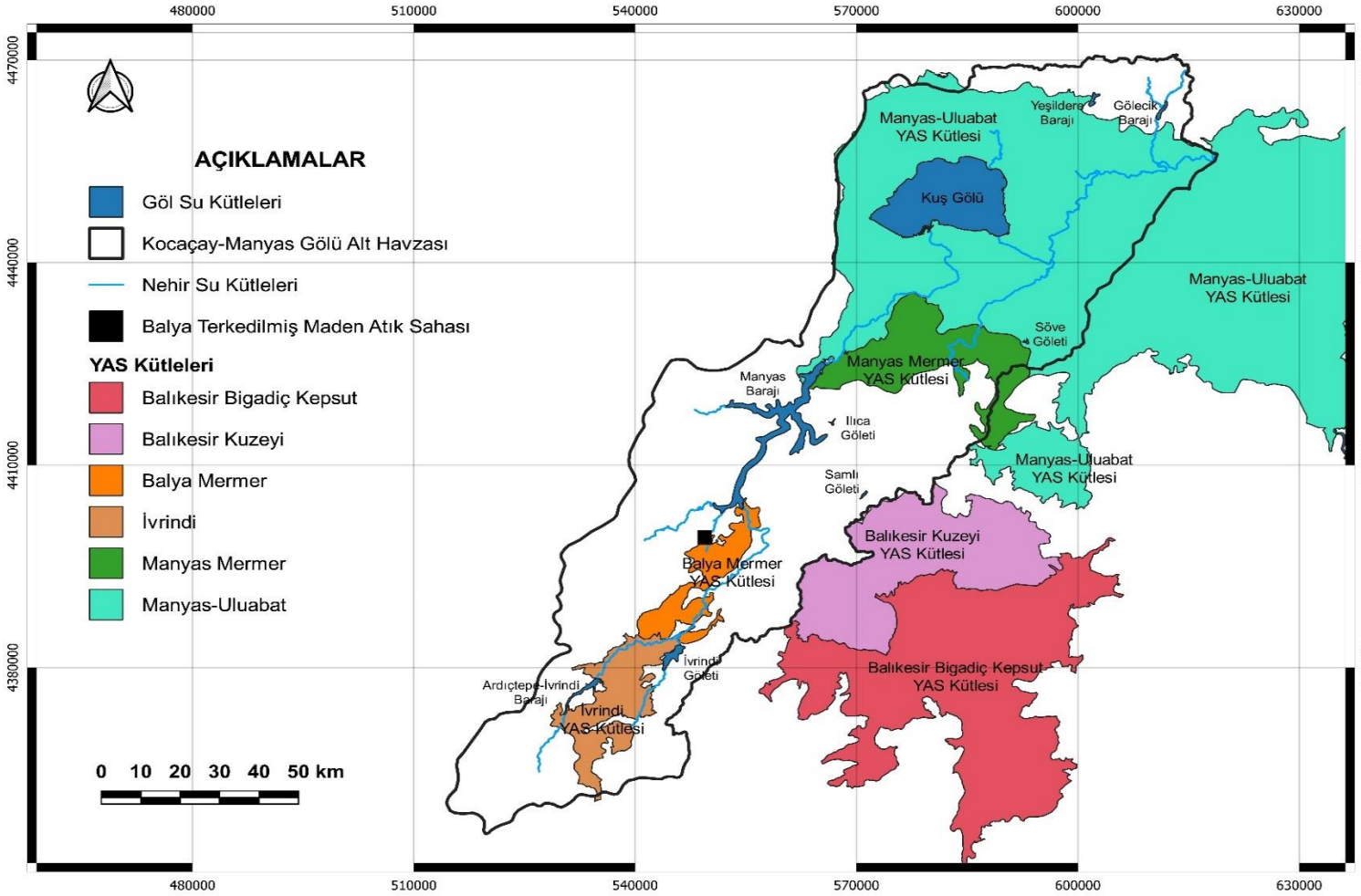
arıtma (çöktürme, ph kontrolü) sonrası Sarısı (Maden) Deresi yatağına vermektedirler. Özellikle kurak ve yarı kurak dönemde sahadan geçen suların neredeyse tamamının bu maden işletmelerinin yeraltı suları olduğu söylenebilir. Bu sular, Koçaçay Deresinin katılımı ile seyrelerek ve debisi artarak Manyas Baraj Gölüne akmakta olup bu hat üzerinde yerüstü suları kısmen yeraltı suyunu besleyen bir sistem içerisindedir. Bu bağlamda bölgedeki yüzey suyu kalitesi ve kimyasal özelliklerinin yeraltı suyu kalitesi ve kimyasal özelliklerini etkilediği söylenebilir.

1.3.6 Sahadaki atıkların miktarı ve değerlendirilmesi

Sahaya ilişkin geçmiş yıllarda yapılan jig, flotasyon ve izabe atıklarının tamamı üzerinden ekonomik değeri haiz ortalama tenör ve rezerv (miktar) hesapları Çizelge 1.9'da özetlenmiştir. Buna göre, sahadaki atıkların miktarına ilişkin tahminler 1 milyon ton üzeri ve 2,355 milyon ton arasında değişmektedir.

Çizelge 1.9. Tahmini atık miktarı ve ortalama tenörler.

Pb %	Zn %	Cu %	Ag g/ton	Au g/ton	Miktar (ton)	Referans
3,79	6,90	0,19	66	-	> 1.000.000	(Akyol, 1977)
6,75	8,65	0,30	137,50	0,40	-	(Uçurum ve Ulu, 1987)
4,06	5,81	0,16	64,25	0,30	~1.000.000	(Bulut, 1991)
1,70	1,92	0,08	-	-	-	(Karadeniz, 2011)
6,55	3,92	-	-	-	-	(Gül, 2014)
3,46	7,52	0,26	-	-	2.355.000	(Baştürk, 2017)



Şekil 1.10. Havza yeraltı suyu kütleleri.

Bu çalışmalar dışında, Balıkesir Valiliği İl Özel İdaresi Sekreterliği ile Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi arasında yapılan protokol ile, "Balya İlçesinde Bulunan Flotasyon ve İzabe Atıklarının Rezerv ve Tenör Hesaplaması" çalışması yapılmış olup buna göre sahadan 300 noktadan numune alınarak atıkların içerdiği ekonomik değer ihtiva eden metal rezervi ve toplam atık miktarı hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmanın (Balıkesir Üniversitesi, 2013) sonucu da Çizelge 1.10'de verilmektedir.

Çizelge 1.10. Metal rezervi ve atık miktarı.

Pb (ton)	Zn (ton)	Cu (ton)	Ag (ton)	Au (ton)	Cd (ton)	Atık Miktarı (ton)
68.216,95	68.072,53	2.652,64	142,94	0,90	249,40	1.898.892,36

Söz konusu atıkların içindeki ekonomik değer ihtiva eden metallerin kazanımı için cevher zenginleştirme proseslerine tabi tutulması gerekmektedir. Genel olarak kurşun-çinko-bakır ihtiva eden polimetalik sülfürlü minerallerin zenginleştirme işlemi konvansiyonel flotasyon prosesidir. Bu proseste, gravite ile ayrışamayan mineral/metaller hifrofil/hidrofob özellik kazandırılarak ayrıştırılmakta ve toplanmakta olup bu amaçla pH ayarlayıcı, bastırıcı, canlandırıcı, toplayıcı ve köpürtücü gibi birçok kimyasal kullanılmaktadır.

Çizelge 1.9 ve Çizelge 1.10'da belirtilen çalışmaların bir kısmında atıklardaki metal kazanımına ilişkin değerlendirmeler de yapılmıştır. Buna göre, atıkların uzun yıllardır alıcı ortam ve asit maden drenajı reaksiyonları dolayısıyla okside olması ve ikincil minerallerin oluşması, pirit ya da Pb, Zn gibi metallerin oksitlenmesi ya da oksitli mineral/metallere bağlanması gibi nedenlerle konvansiyonel flotasyon ile toplu metal konsantre kazanım verimi düşüktür. Bu nedenle atıkların sülfürlü metalik madenler için (pirit, galen, sfalerit vb.) mevcutta işletme halinde bulunan tesislerde zenginleştirilmesi mümkün değildir. Sadece bu atıklara uygun olarak selektif ardışık zenginleştirme prosesi kurularak verimli kazanım ile metal konsantreleri elde etmek mümkün olmakla birlikte bu da ekonomik olmayacaktır. Diğer yandan, Maden Kanunu ve bağlı mevzuatına göre sahada bulunan atıklar ekonomik değer ihtiva eden metal içeriği bulunan hammadde olarak değerlendirilmekte, bunların metal içeriğinin ve buna bağlı olarak değerinin hesaplanması ve bu değer üzerinden ihale yoluyla satılması yetkisi Balıkesir Valiliği Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı'ndadır.

Balıkesir Üniversitesi (2013) çalışmasındaki sadece kurşun ve çinko miktarı ve tenörü üzerinden atıkların 2018 yılı satış bedeli, Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Maden ve Petrol Genel Müdürlüğünce 350 TL/ton olarak hesaplanmıştır. Bu değer üzerine atıkların ilgili tesise taşıma, proses ve bakiye atıkların bertaraf maliyeti de eklendiğinde söz konusu atıkların sahada kalması kaçınılmazdır.

1.3.7 Sahanın mülkiyeti

Atıklar uydu görüntüsüne göre yaklaşık olarak 15,12 hektar bir arazi üzerinde yer almakta olup Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü verilerine göre bu araziler; Balya Belediyesi (arsa), Maliye Hazinesi (orman, tarla), Balıkesir Seramik Sanayi (arsa) ve şahıs (arsa) arazileridir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Saha ve sahanın yer aldığı bölgede geçmişte yapılan çalışmalar genel olarak bölge jeolojisi ve maden jeolojisinin/mineralojisinin tanımlanması/araştırılması ile tenör/rezerv tespitine yönelik olarak yer bilimleri disiplinlerine ait olmakla birlikte, özellikle yakın dönemde yapılan çalışmalarda sahada bulunan atıkların jeokimyasal ve biyojeokimyasal özellikleri dolayısıyla çevreye etkilerinin de incelendiği görülmektedir.

Bölge jeolojisi, rezerv tespiti ve atıklardan metal kazanımına yönelik geçmiş çalışmalara ilgili bölümlerde yer verildiğinden, bu bölümde özellikle dünyada ve ülkemizde terkedilmiş maden sahalarında çevresel kirlilik tespitine ilişkin yapılan bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Aykol vd. (2003), çalışmalarında, Balıkesir İli Balya İlçesinde bulunan terkedilmiş maden sahasında dağınık durumdaki maden atıklarının asidik maden drenajına neden olduğu ve bu asidik suların yağmur suları ile dere yataklarına ulaşarak yerüstü sularını yüksek metal konsantrasyonlarıyla kirlettiği belirtilmiştir. Manyas Gölü drenaj alanı içerisinde kalan maden atıklarının Sarısu ile taşınarak Manyas Gölü gibi önemli bir su kütlesini kirletme riski taşıdığı ve dere sedimanının akış doğrultusunda kirlilik içerdiği ortaya konulmuş, kurşun, arsenik, bakır ve sülfürün yağışlı dönemde atık sahalarından kaynaklı olarak yüzey sularında yüksek olduğu belirlenmiştir. Maden atıklarında 53000-133100 mg/kg Pb, 24300-55400 mg/kg Zn, 2700-4400 mg/kg As, 15-38 mg/kg Cd, 1720-3300 mg/kg Cu, 1200-11900 Mn, 8170-165900 mg/kg Fe aralığında metal içeriği tespit edilmiştir. Yağışlı dönem sonrası yüzey sularından alınan örneklerde 2,57-6,8 pH, 4-4885 µg/L Pb, 20-330863 µg/L Zn, 0,18-4332 µg/L Cd, 2-7186 µg/L As, 6,1-5464 µg/L Cu, 23,2-12046 µg/L Mn, 117-464974 µg/L Fe aralığında ölçülen konsantrasyonlar kurak dönem örneklemesine göre çok yüksektir. Bu tespitler doğrultusunda Manyas Gölünün tarımsal sulama amaçlı kullanımı nedeniyle bölge tarımının olumsuz etkileneceği vurgulanmıştır.

Şimşek vd. (2012), Balıkesir İli Balya İlçesinde bulunan terkedilmiş maden sahasında bulunan maden atıklarının su kaynaklarına etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada su, sediman ve kayaç örneklerinde radyoaktivite ölçümleri yapılmıştır. Sonuçlara göre Eh ve EC değerleri, asidik maden drenajı (AMD) nedeniyle önemli

oranda çözünmüş iyon varlığına işaret etmekte, maden atıklarından süzülen sular yüzey sularını olumsuz yönde etkilemektedir. Çalışma alanındaki AMD örneklerinde yapılan kimyasal analizlerde sızıntı sularında 4352 mg/L-11634 mg/L arasında sülfat tespit edilmiştir. Asidik sularda 14021 µg/L, depolama alanına yakın yüzey sularında 635 µg/L arsenik ölçülmüş olup bu değerler içme suları için önerilen 10 µg/L değerinin üzerindedir. AMD sularında Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Se ve Zn derişimlerinin oldukça yüksek sonuçlar verdiği, yüzeysel sularda ise Cu, Fe, Mn ve Pb değerlerinin yüksek olduğu, bu bağlamda bölgedeki kirliliğin insan ve çevre sağlığını tehdit edecek düzeyde olduğu belirtilmiştir. Buna karşılık, Balya maden atıklarından kaynaklanan ve yüksek oranda metal içeren AMD örneğinde önemli bir radyoaktivite izine rastlanmadığı, ancak iki örnekleme noktasından alınan yüzey sularında 226Ra için ölçülen 0,5 Bq/L değeri maksimum müsaade edilebilir seviyesinin üzerinde ölçülmüştür. Çalışma sonucunda, sahadaki atıkların geçirimsiz bariyerler ile inşa edilmiş alanlarda depolanmak suretiyle rehabilitasyon yapılması önerilmiştir.

Gemici ve Tarcan (2007), 1968 -1975 yılları arasında İzmir-Ödemiş Türkönü'nde işletilen civa madeni işletmesinin jeokimyasal etkilerini araştırmıştır. 3 su örneği (1 galeri suyu, 2 yüzey suyu), 3 maden atığı ve 8 tarım toprağı örneklenmiştir. Maden atıklarının üstündeki su birikintilerinden alınan örneklerde metal zenginleşmesi görülmüş, 53 mg/L As (WHO standardından 5300 kat fazla), 9,5 µg/L Hg (WHO standardından 9,5 kat fazla ölçülmüştür. Bazı su örneklerinde Cd, Cr, Pb, Sb, Zn, Cu, Ni, Fe değerleri yüksektir. Maden atıkları da yüksek metal içermektedir (Hg>100 mg/kg, As 65,2 mg/kg, Cu 5-310 mg/kg, Zn 99-2714 mg/kg, Pb 6,4-113 mg/kg, 0,5-19,8 mg/kg Ni, 0,9-52 mg/kg Sb, 12,8-20,5 mg/kg Co). Çalışmada hesaplanan jeolojik birikim indisi (I_{geo}) değerlerine göre, As-Hg açısından maden atıkları aşırı derecede kirlidir. Cu-Pb-Zn yönünden ise bazı örneklerde kirlilik mevcuttur. Tarım topraklarının Cu, Pb, Zn, Ni, Cr açısından kirli olmadığı, As açısından kısmen kirli olduğu, Hg açısından ise aşırı düzeyde kirli (I_{geo}= 6,5-8,3) olduğu tespit edilmiştir. EF (zenginleşme faktörü) değerlerine göre, maden atıkları Ni, Cr, Zn, Pb açısından kısmen zengin, Co, Cu, As açısından kısmen-önemli derecede zengin, Hg açısından ise aşırı düzeyde zengindir. Tarım toprakları da Hg açısından aşırı seviyede kirli (1,53-5,39) bulunmuştur. Tarım topraklarındaki ağır metallerin maden sahasının çevresinde yoğunlaşması ve arazinin aşağılarına doğru azalması, kirliliğin başlıca sebebinin

maden olduğunu göstermektedir. Kirliliğin yüzey suyuna geçişinin su kalitesi ve canlılar açısından tehlike oluşturabileceği belirtilmiştir.

Balcı vd. (2014), Balıkesir İli Balya İlçesinde bulunan terkedilmiş maden sahasında yaptıkları çalışmada, atıklardan, atık sahasında bulunan asidik sulardan, Maden (Sarısu) Deresinden ve sedimandan aldıkları örneklerde fiziksel, kimyasal ve biyojeokimyasal analizler yapmışlardır. Buna göre atıklarda %12,8 Fe, 9845 mg/kg Pb, 8975 mg/kg Zn, 3300 mg/kg As, 1501 mg/kg Cu, 255 mg/kg Co ve 221 mg/kg Cd, dere sedimanında 4678 mg/kg Pb, 4332 mg/kg Zn, 875 mg/kg Cu, 1876 mg/kg As, 45,7 mg/kg Co, 35,3 mg/kg Cd gibi oldukça yüksek değerler tespit edilmiştir. Asidik sularda ortalama 2,69 pH, 14158 µS/cm EC, 8052 mg/L SO_4, oldukça yüksek Pb, Zn, Cu, As sonuçları ölçülmüş, bunlarla paralellik gösteren yüzey sularında 3,6-7.2 pH, 230-562 µS/cm EC, 36-1560 mg/L SO_4 başta olmak üzere WHO ve EPA standartlarına göre yüksek değerler tespit edilmiştir. Atıklarda ve atıkların çevresinde oluşan asidik su, sediman ile atıkların Maden Deresine ulaştığı kesimlerde moleküler ekoloji teknikleri kullanılarak yapılan çalışmada, sahada kemoototrofik temelli bir mikrobiyal topluluğun geliştiği ortaya konmuştur. Atık sahasında meydana gelen AMD sürecinde piritik kükürtün sülfata oksitlenmesinde kemolitoototrofik bakteri türlerinden hem *Acidithiobacillus spp.* hem de *Thiobacillus spp.* gibi sülfür oksitleyen bakteri türlerinin rol oynadığı belirtilmiştir.

Karadaş (2008), Balıkesir İli Balya İlçesinde bulunan terkedilmiş maden sahasında yaptığı çalışmada, Balya İlçesi ve yakın köylerinden alınan toprak numunelerinde Fe, Pb, Zn, Cu, As, Mn, Ni, Ag, Cd, Cr, Ca gibi metallerin konsantrasyonları ile farklı toprak fazlarındaki konsantrasyonlarını BCR ekstraksiyon yöntemi ile analiz ederek toprak kirliliğine ilişkin değerlendirmede bulunmuş, ayrıca bu toprakların bilinçli ya da bilinçsizce çocuklar tarafından yenmesi durumunda sindirim sonrası sağlık üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Sonuç olarak, Balya bölgesinden alınan topraklarda (Bengiler ve Müstecap hariç) madenden kaynaklanan ağır metal kirliliği tespit edildiği, topraklardaki As, Pb, Zn ve Cd konsantrasyonlarının oldukça yüksek olduğu, maden bölgesine yakın olan Sarısu toprağındaki ağır metal kirliliğinin diğer topraklara göre daha fazla olduğu, bu metallerin toksik etkisi de dikkate alındığında topraklardaki kirliliğin önemli boyutta olduğu ve ağır metal kirliliği içeren bu

toprakların çocuklar tarafından bilinçli ya da bilinçsiz olarak yenmesi durumunda çocuk sağlığı açısından büyük risk taşıdığı belirtilmiştir.

Karadeniz (2011), Balıkesir İli Balya İlçesinde bulunan terkedilmiş maden sahasında yaptığı çalışmada, sahada bulunan flotasyon atıklarının asit maden drenajı potansiyelinin derinlikle ilişkisini araştırmıştır. Çalışma kapsamında sahada bulunan farklı atık yığınlarının farklı derinliklerinde sondaj yapılarak toplam 10 adet numune alınmış ve bu numunelerde farklı metotlarla (standart asit baz muhasebesi, pH6, net asit üretme, çamur pH) asit maden drenajı potansiyelleri belirlenmiş olup bu sonuçların derinlik bazlı korelasyonu ile değerlendirme yapılmıştır. Buna göre, bazı atık yığınlarında uygulanan tüm metotlara göre asit üretme potansiyelinin farklı çıkabildiği, bunun nedeninin de sahadaki atıkların minerolojik yapısı nedeniyle bazı metotların yanlış sonuç verdiği, bazı atık yığınlarının uygulanan tüm metotlara göre asit üreten, bazı atık yığınlarının ise uygulanan tüm metotlara göre asit üretmeyen olarak tanımlandığı, atık yığınlarında asit maden drenajı potansiyeli ile derinlik arasında beklenen eğilimin bulunmadığı, bunun nedeninin ise farklı depolama yöntemleri, farklı tenörlerde ve minerolojide cevherlerden kaynaklı atıkların depolanması, atık yapısının değişmesi, atmosferik koşullardan dolayı atık yapısının değişmesi vb. olduğu belirtilmiş, sonuç olarak AMD kestiriminde her sahaya kendine özgü bir metot kullanılması gerektiği belirtilerek, Balya sahasındaki atıklar için alternatif pH6 yöntemi tasarlanmıştır.

Lee vd. (2001), Lee ve Chon (2005), Kore Daduk Bölgesinde yer alan ve 1984 yılında terk edilmiş Daduk Au-Pb-Zn madeninde bulunan maden atıklarının toprak, bitki, su ve sedimanlar üzerindeki etkilerini araştırmış, bu doğrultuda sahadan toprak, su ve sediman örneklemeleri gerçekleştirmiştir. Yüzey topraklarında ortalama 8,57 mg/kg Cd, 481 mg/kg Cu, 4450 mg/kg Pb ve 753 mg/kg Zn ölçülmüş olup bu değerler kontamine olmamış toprak değerlerinin oldukça üstündedir. Çeltik tarlalarında ve ormanlık alandan alınan toprak örneklerinde de yüksek Cd, Cu, Pb ve Zn değerleri görülmüştür. Sedimanlarda Pb ve Zn için yerkabuğu ortalama değerlerine göre yüksek metal değerleri tespit edilmiştir. Yüzeysel sularda pH 3,2-6,3 arasında, toplam çözünmüş katı 62-1373 mg/L arasında ve elektriksel iletkenlik 120-1930 mS/cm arasında ölçülmüş, sonuçlar ciddi çevresel kirliliğe işaret etmiştir. Daduk dere sedimanından alınan örneklerde ortalama 1580 mg/kg As, 9 mg/kg Cd, 160 mg/kg Cu,

710 mg/kg Pb, 1730 mg/kg Zn ve %3,87 Fe konsantrasyonları ölçülmüş ve özellikle As, Pb, Zn konsantrasyonlarının USEPA tolere edilir değerlerinin üstünde olduğu belirtilmiştir. Daduk madenin asit maden drenajı sularında 3,3 pH, 18 mg/L Al, 41 mg/L Mn, 45 mg/L Fe, 38 mg/L Zn,1 mg/L As ve 1940 mg/L SO ölçülmüş olup derenin mansabına doğru değerlerin azaldığı bildirilmiştir.

Bouzekri vd. (2019), çalışmalarında Fas'ın en büyük kurşun madeni olan terk edilmiş Zaida madeninden kaynaklı kirlilik tespiti için 100 km^2'den büyük 3 alandan sediman örnekleri alınarak As, Cd, Pb, Cu ve Zn içeriğini tespit etmek için kimyasal analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, kirlilik yükü indisi (PLI), potansiyel ekolojik risk indisi (PER) hesaplanmıştır. Sedimanlarda, 32-832 mg/kg arasında Pb, 14-32 mg/kg arasında Cu, 59-194 mg/kg arasında Zn, 0,005–31 mg/kg arasında As ve 0,005-1,91 mg/kg arasında Cd ölçülmüş olup mineral birikimleri nedeniyle en yüksek konsantrasyonlar Moulouya nehrinde elde edilmiştir. I_{geo} değerleri kontamine olmamıştan ($I_{geo}<0$) ciddi olarak kirlenmiş (Pb için I_{geo} maksimum 3,22, As için I_{geo} maksimum 3,05) arasında değişmektedir. Cu, Cd ve Zn için yapılan I_{geo} hesaplarında ise tüm örneklemeler, kontaminasyon olmadığına işaret eden $I_{geo}<0$ değerlerine sahiptir. Atıkların mansabından alınan sediman örneklerinde Pb ve As için çok yüksek kontaminasyona işaret eden CF (kontaminasyon faktörü) =13,93 ve CF = 12,40 değeri tespit edilmiştir. PLI= 0,21-2,05 arasında değişmiş olup buna göre orta düzeyde kirlenmeye işaret etmektedir. Sonuç olarak, atıkların etrafında ve akış aşağı yönünden alınan örneklerde tespit edilen kirliliğin çevredeki ekosisteme ciddi zararlar verebileceği belirtilmiştir.

Çelebi (2013), Balıkesir İli Balya İlçesinden alınan pirit, galenit, sfalerit, kalkopirit, kuvars ve kalsit mineralleri ile beydellit kil mineralinin asit ve nötralizasyon kapasiteleri belirlemiştir. Buna göre en yüksek net asit üretme potansiyeline (NAPP) sahip mineral kalkopirit (617,44 kg H_2SO_4/ton) en düşük NAG pH değeri pirit (1,91) mineraline aittir. En yüksek nötralizasyon kapasitesine sahip mineral ise kalsit minerali (NAG pH=11,66) olmuştur. Beydellit minerali de -174,44 kg H_2SO_4/ton gibi çok düşük NAPP ve yüksek NAG pH (7,32) değerleri ile AMD problemine çözüm olabilmektedir. Sfalerit cevheri için NAG pH değeri 6,73 çıkarken NAPP değerinden (329,94 kg H2SO4/ton) asit üretebilir sonucu çıkmakta ve belirsizlik durumu oluşmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Saha Çalışmaları

Tez konusu terkedilmiş maden sahasından kaynaklanan çevresel etkilerin değerlendirilmesi maksadıyla yapılan saha çalışmaları; saha gözlemi ve yerinde ölçümler ile atık, yerüstü suyu ve sediman örneklemelerinden oluşmaktadır.

3.1.1 Atık örneklemesi

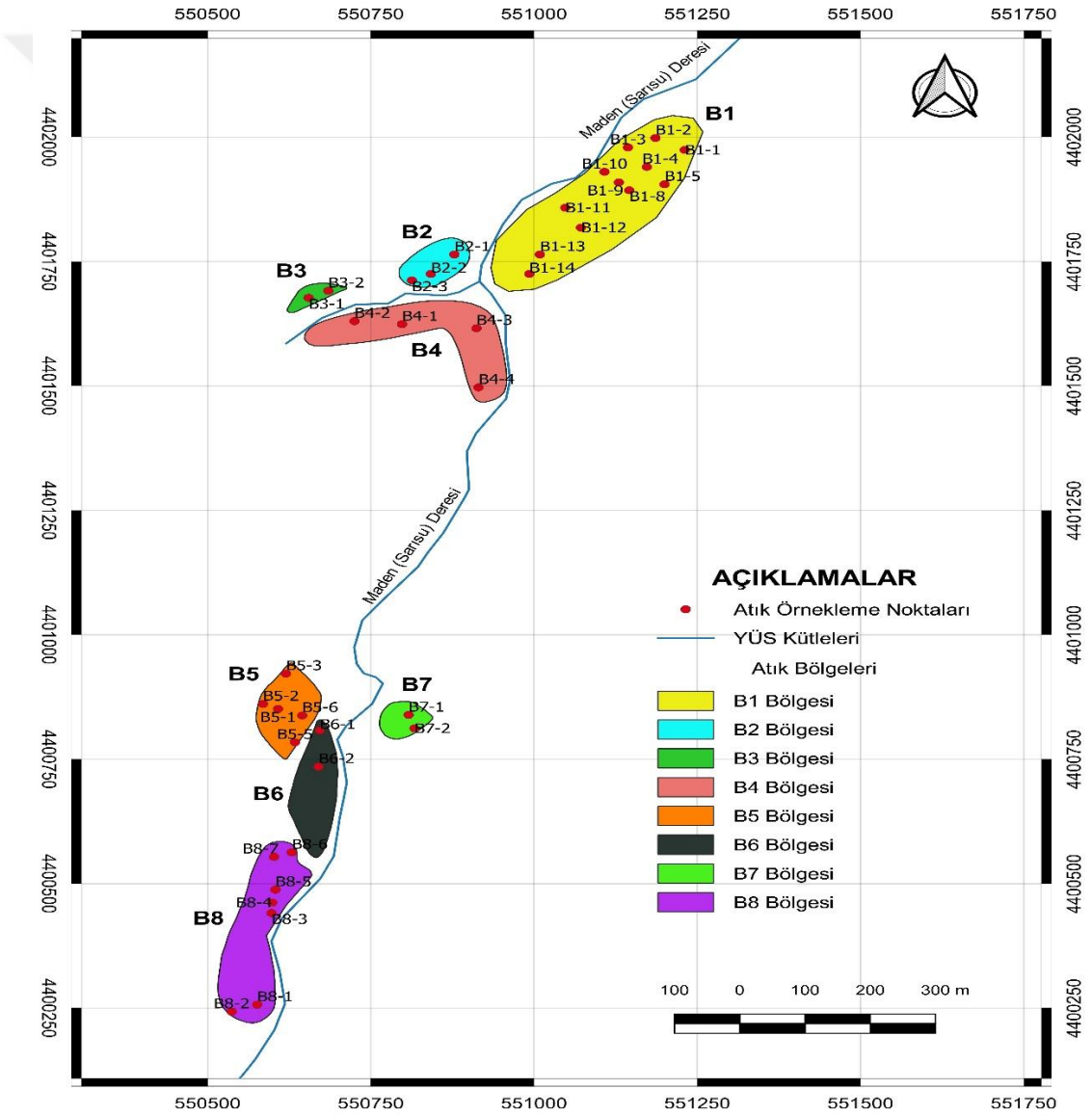
Sahada dağınık halde bulunan ince taneli (0,5 mm ila 5 mm) flotasyon ve jig atıkları ile daha iri taneli ve ağır cürufların bulunduğu bölgeler 8 farklı bölgeye ayrılarak her bir bölgeden yığının büyüklüğü ve derinliğe göre ekskavatörle kazı ve yarma yapılarak numuneler alınmıştır. Kazı ve yarma şeklinde çıkarılıp yayılan numuneler sahada konileme-dörtleme yapılarak azaltılıp 8-10 kg olarak plastik poşetlere konmuş ve ağızları bağlanarak etiketlenmiştir. Söz konusu örnekler laboratuvarda konileme-dörtleme yapılarak azaltılıp tüm atıkları temsilen toplam 12 adet kompozit numune oluşturulmuş ve tüm analizler bu numuneler ile yapılmıştır. Çizelge 3.1'de atık örnekleme noktalarına ilişkin açıklamalar ve kompozit numunelere ilişkin bilgiler, Şekil 3.1'de atık örnekleme noktaları, Şekil 3.2'de ise örneklemelere ilişkin görseller yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Atık kompozit örnek karışımları ve açıklamaları.

Örnek No	Örnek Kodu	Karışım	Açıklama
1	ATK-1	B1-1, B1-2, B1-3, B1-4, B1-5, B1-8, B1-9, B1-10, B1-11, B1-12, B1-13, B1-14	B1 Bölgesini temsilen; yüzeyden ve 0-140 cm derinlikten
2	ATK-2	B1-1, B1-2, B1-4, B1-12, B1-13, B1-14	B1 Bölgesini temsilen; yüzeyden ve 140-280 cm derinlikten
3	ATK-3	B1-1, B1-2, B1-4, B1-11, B1-12, B1-13, B1-14	B1 Bölgesini temsilen; yüzeyden ve 280-440 cm derinlikten
4	ATK-4	B2-1, B2-2, B2-3	B2 Bölgesini temsilen
5	ATK-5	B3-1, B3-2	B3 Bölgesini temsilen
6	ATK-6	B4-1, B4-2, B4-3, B4-4	B4 Bölgesini temsilen

Çizelge 3.1 (devam). Atık kompozit örnek karışımları ve açıklamaları.

Örnek No	Örnek Kodu	Karışım	Açıklama
7	ATK-7	B5-3, B5-4	B5 Bölgesini temsilen; yüzeyden 0-140 cm derinlikten
8	ATK-8	B5-4, B5-5	B5 Bölgesini temsilen; yüzeyden 140-280 cm derinlikten
9	ATK-9	B5-5, B5-6	B5 Bölgesini temsilen; yüzeyden 280-440 cm derinlikten
10	ATK-10	B6-1, B6-2	B6 Bölgesini temsilen; cüruf atıkları
11	ATK-11	B7-1, B7-2	B7 Bölgesini temsilen
12	ATK-12	B8-1, B8-2, B8-3, B8-4 B8-5, B8-6, B8-7	B8 Bölgesini temsilen



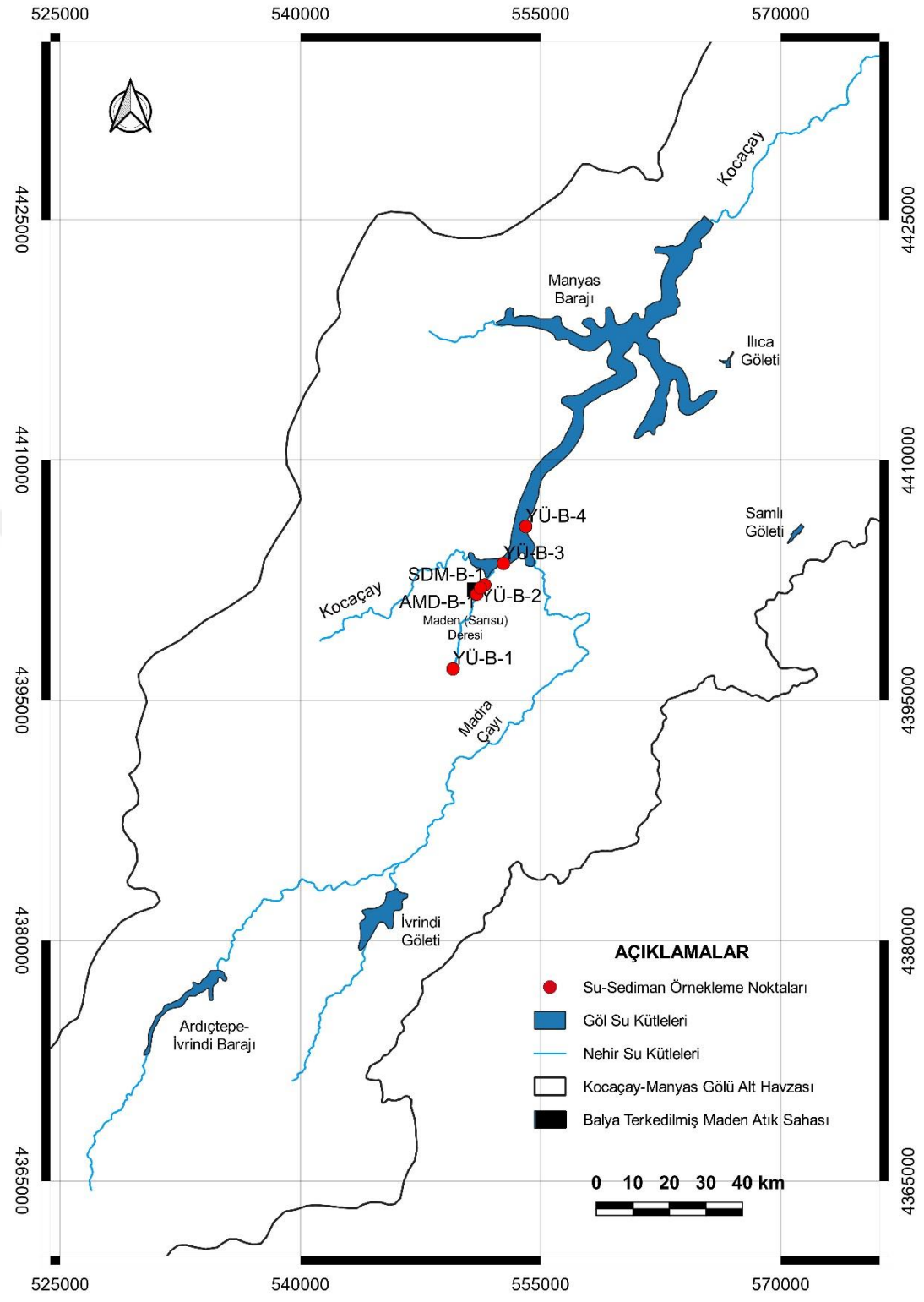
Şekil 3.1. Atık örnekleme noktaları.



Şekil 3.2. Atık örneklemesine ilişkin görseller.

3.1.2 Yerüstü suyu ve sediman örneklemesi

Balya terkedilmiş maden sahasının çevresel etkilerine ilişkin değerlendirme yapabilmek için meteorolojik verilere göre en yağışlı dönem olan Aralık 2019'da yerüstü suyu ve sediman örneklemesi yapılmıştır. Yerüstü sularında atık yığınlarının konumuna göre memba-mansap bağlantısı kurularak örnekleme yapılmış olup bu kapsamda 1 memba ve 3 mansap noktası olmak üzere 4 noktadan yerüstü suyu ve atıktan süzülecek suyun karakterizasyonu için atık yığını üzerinden de 1 noktadan asit maden drenajı birikintisinden su örneklemesi yapılmıştır. Sediman örneklemesi ise atık yığınlarının mansabından bir noktadan yapılmıştır (Şekil 3.3). Yeraltı suyu için atık yığınlarının memba-mansap bağlantısı ile etkisini değerlendirebilecek şekilde aynı akifer üzerinde açılmış olan gözlem kuyuları bulunmaması nedeniyle örnekleme yapılamamıştır. Örnekleme noktaları ve açıklamaları Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Su ve sediman örnekleme noktaları.

Çizelge 3.2. Su ve sediman örnekleme noktaları koordinat ve açıklamaları.

Örnek Kodu	Tip	Açıklama	X	Y
YÜ-B-1	Yerüstü Suyu	Sarısu Deresi Menbası-Aşağı Çakallar Köyü köprüsü	549581	4397145
YÜ-B-2	Yerüstü Suyu	Sarısu Deresinin Kocaçay ile Birleşimi Öncesi (terk edilmiş sahanın mansabı)	551300	4402186
YÜ-B-3	Yerüstü Suyu	Kocaçay ile Sarısu Deresi Birleşimi Sonrası	552736	4403716
YÜ-B-4	Yerüstü Suyu	Madra Çayının Manyas Barajına Girişi Öncesi	554123	4406026
AMD-B-1	Yerüstü Suyu	Atık Yığını Üzerinde Oluşan AMD Suyu	551026	4401808
SDM-B-1	Sediman	Sarısu Deresinin Kocaçay ile Birleşimi Öncesi (terk edilmiş sahanın mansabı)	551557	4402376

Yerüstü suyu örneklemeleri için 2 adet 500 ml ve bir adet 100 ml hacminde polietilen şişeler kullanılmıştır. Toplam siyanür analizi için alınan 500 ml örnek içerisine NaOH peletleri atılmış, ağır metal ve eser element analizleri için 100 ml örnek içerisine nitrik asit ilavesi yapılmış, diğer parametreler için alınan 500 ml örnek herhangi bir şartlandırma yapılmadan 4°C sıcaklıkta portatif buzluklarda laboratuvara ulaştırılmıştır. Alınan yerüstü suyu örnekleri için saha parametreleri yerinde portatif HACH-LANGE HQ-40D marka çoklu parametre probu ile ölçülmüştür (Şekil 4).

Bir adet sediman örneklemesi ise, atık yığınlarının mansabından birkaç noktadan alınarak plastik kapta birleştirilerek homojenize edilmiş, plastik poşete konularak ağzı sıkıca kapatılarak etiketlenmiş ve 4°C'de muhafaza edilerek laboratuvara ulaştırılmıştır. Dere yatağında iri çakıl ve bloklu malzeme olması nedeniyle sediman numuneleri 15-20 cm derinlikten yüzey keki ile birlikte elekli kürekle sudan arındırılarak alınmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Su ve sediman örneklemesine ilişkin görseller.

3.2 Laboratuvar Çalışmaları

Bu bölümde, terkedilmiş maden sahasının çevresel etkilerini değerlendirebilmek için sahadan alınan numuneler üzerinde yapılan analizler anlatılmıştır.

Bu analizler aşağıdaki gibidir:

1. Yerüstü suyu ile dere sedimanı örneklerinde yapılan fiziksel ve kimyasal analizler.

2. Atık örneklerinde yapılan fiziksel ve kimyasal analizler.

3. Atık örneklerinde yapılan AMD statik öngörü testleri.

3.2.1. Analitik yöntemler

3.2.1.1 Yerüstü suyu ve sediman analizleri

Su örneklerinin tüm elementel analizleri (Cd, Pb, Hg, Cu, Ni, Zn, Toplam Cr, Fe, Co, Mn, Al, Tl, As) Thermo 7400 Duo Model ICP-OES cihazı ile, KOİ analizi ise Hach Lange DR 6000 model spektrofotometre ile (kapalı reflux) yapılmıştır.

Sediman örneğinin tüm elementel analizleri (Pb, Zn, As, Cd, Cu, Mn, Al, Fe) EPA 3051 A;EPA 6010 C metoduna göre AGILENT 7800 Model ICP-MS cihazı ile yapılmıştır.

Su örnekleri için ölçülen parametre ve standartları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yerüstü sularında gerçekleştirilen analizler.

Analiz Adı	Analiz Metodu
pH	SM 4500 H+ B
İletkenlik	SM 2510 B
Askıda Katı Madde (AKM)	SM 2540 D
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	SM 5220 D
Sülfat (SO4)	SM 4500 SO4-C
Sülfür (S)	SM 4500-S-2 D
Alüminyum (Al)	SM 3030 E, EPA 200.7
Arsenik (As)	SM 3030 E, EPA 200.7
Bakır (Cu)	SM 3030 E, EPA 200.7
Civa (Hg)	EPA 6020
Çinko (Zn)	SM 3030 E, EPA 200.7

Çizelge 3.3 (devamı). Yerüstü sularında gerçekleştirilen analizler.

Analiz Adı	Analiz Metodu
Demir (Fe)	SM 3030 E, EPA 200.7
Kadmiyum (Cd)	SM 3030 E, EPA 200.7
Kobalt (Co)	SM 3030 E, EPA 200.7
Kurşun (Pb)	SM 3030 E, EPA 200.7
Mangan (Mn)	SM 3030 E, EPA 200.7
Nikel (Ni)	SM 3030 E, EPA 200.7
Serbest Klor (Cl)	4500 Cl-G
Talyum (Tl)	SM 3030 E, EPA 200.7
Toplam Krom (Cr)	SM 3030 E, EPA 200.7
Toplam Siyanür (TCN)	SM 4500-CN C-E

3.2.1.2 Atık elementel analizleri

Atık örneklerinden bazıları (üst bölümden alınan sert kabuklaşmış kısım ve cüruflar) mekanik kırıcıda parçalanmış, bazıları (derin kısımlardan alınanlar) etüvde kurutulmuş ve ayırıcı ile homojenize edilerek analize hazır hale getirilmiştir. Atıkların su kalitesine ve sedimana geçişini değerlendirmek ve MAY'ne uygun olarak AYY Ek-3 kapsamında atık karakterizasyonu amacıyla yapılan elementel analizler (Cd, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Al, Sb, Ag, Mo, Te, Ba, Sr, V, Ti, Si, Ca, K) EPA 6020 B metoduna göre AGILENT 7800 Model ICP-MS cihazı ile yapılmıştır.

3.2.2 Deneysel çalışmalar

3.2.2.1 Asit maden drenajı statik testleri

Asit maden drenajı kestirim ya da öngörü testleri olarak tanımlanan statik testlerin temel prensibi atığın asit üretme kapasitesi ve nötralizasyon kapasitesin belirlenmesi ve buna dayalı olarak asit-baz muhasebesinin yapılmasıdır. Bu kapsamda, atık örneklerine asit maden drenajı dolayısıyla yapılacak karakterizasyon çalışmaları için mevzuatta yer alması (MAY, URL-1) ve yaygın olarak kullanılması nedeniyle Modifiye SOBEK metodu (Lawrence ve Wang, 1996) uygulanmıştır.

3.2.2.2 Asit potansiyeli

Bu metotta asit potansiyeli (AP), toplam sülfür üzerinden değil sülfit-sülfür (piritik kükürt, S^{-2}) üzerinden hesaplanmaktadır. Bunu sebebi atık içeriğinde bulunan jips,

anhidrit gibi sülfatların asit maden drenajı sürecinde asiditeye katkı vermediği düşüncesidir. Bu nedenle numunelerde sülfür türleşmesi kapsamında toplam sülfür ve sülfat sülfürleri ($S\text{-}SO_4$) ölçülerek bunların farkından sülfit-sülfür hesaplanmıştır.

Bu kapsamda, örneklerin toplam sülfür ve sülfat sülfürleri LECO CS 744 Model İndüksiyon Fırını ile ölçülmüştür. 0,1 mm boyutunda 0,5 g numunelere yakma işlemini hızlandırması için 2 g demir-metal çip eklenerek 1650 °C'de yakılarak toplam sülfür okunmuştur. Sülfat sülfür içinse 0,1 mm boyutunda 0,5 g numuneler 50 ml %40 HCl çözeltisi ile cam fitre kağıdı üzerinde yıkanarak filtre edilmiş, 24 saat oda sıcaklığında bekleyen filtre kağıtları yakılarak ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.5).

Asit potansiyeli (AP) Eşitlik 1'e göre hesaplanır;

$$AP\ (\text{kg CaCO3/ton}) = 31{,}25\ \times\ \%\ \text{Sülfit} - \text{Sülfür}\ (\text{S} - 2) \qquad (3.1)$$

Eşitlik 3.1'de görüldüğü üzere, AP hesaplaması toplam sülfür değil sülfit-sülfür üzerinden yapılmaktadır, bunun için aşağıdaki Eşitlik 3.2 kullanılmaktadır;

$$\text{Sülfit} - \text{Sülfür}\ (\%) = \ \text{Toplam Sülfür}\ (\%) - \ \text{Sülfat Sülfür}\ (\text{S} - \text{SO4}) \qquad (3.2)$$

3.2.2.3 Nötralizasyon potansiyeli

Modifiye SOBEK metoduna göre (Lawrence ve Wang, 1996) nötralizasyon potansiyeli (NP) temel olarak, atığın içeriğinde bulunan başta karbonat ve sonra nötralizasyona kısmen katkı sağlayan silikat vb. minerallerin asitle muamele edilmesiyle hesaplanmaktadır.

Bu amaçlar öncelikle 1 mm tane boyutunda örneklerden 2-3 g kadar alüminyum folyo üzerine konmuş ve üzerlerine %25 HCl çözeltisi damlatılarak örneklerin fışırdama (fizz) dereceleri gözlemlenmiştir. Fışırdamanın derecesi karbonat minerallerinin varlığını ve niceliğini göstermektedir. Daha sonra 2 g numune erlene konmuş 90 ml kadar saf su eklenmiştir. Fışırdama derecesine göre Çizelge 3.4'e uygun olarak 1N HCl eklenmiş ve 2 saat boyunca çalkalayıcıya konmuştur. 2 saatin sonunda yine Tablo 5'e uygun olarak 1N HCl eklenmiştir. 22 saat oda sıcaklığında kalan örneklerin pH'ı ölçülerek kaydedilmiştir. pH> 2,5 ise pH 2-2,5 olacak şekilde 1N HCl eklenmiş ve eklenen hacim kaydedilmiştir, pH<2,5 ise ilk kademede fazla asit eklendiğinden daha

az HCl ilave ederek test tekrarlanmıştır. 24 saat sonra test sonlandırılmış ve çözelti hacmi 125 ml olana kadar saf su eklenmiştir. pH ölçülerek kaydedilmiş ve 2-2,5 arasında olduğundan emin olunmuştur. Son olarak 0,1N ya da 0,5N NaOH ile çözelti pH'ı 8,3 olana kadar titre edilmiştir (Şekil 3.5).

Çizelge 3.4. Fışırdama (fizz) derecesine göre eklenen HCl hacimleri.

Fizz Derecesi	1N HCl Hacmi (ml)	
	0. saat	2. saat
Yok	1	1
Zayıf	2	1
Orta	2	2
Güçlü	3	2

Nötralizasyon Potansiyeli (NP) Eşitlik 3.3'e göre hesaplanmıştır;

$$\mathrm{NP\ (kg\ CaCO3/ton\ )} = \frac{(\mathrm{aN} \times \mathrm{VA}) - (\mathrm{bN} \times \mathrm{VB}) \times 50}{\mathrm{mn}} \qquad (3.3)$$

Burada; aN : Asidin (HCl) normalitesi, bN : Bazın (NaOH) normalitesi, V_A : Asidin Hacmi (ml), V_B : Bazın Hacmi (ml), m_n : Numune ağırlığı (g)



Şekil 3.5. Laboratuvar çalışmalarına ilişkin görseller.

3.3 Rehabilitasyon Planı Çalışmaları

Tez konusu sahada bulunan atık yığınlarının rehabilitasyonu için gerçek ölçekli saha uygulamaları bulunması (MDEQ, 2002; Pioneer 2010; Pioneer, 2013; Lafrance vd, 2014; Digby Wells Environmental, 2015), uygulama süresi ve maliyet etkenleri vb. göz önünde bulundurularak kirlenmiş saha iyileştirme seçeneklerinden, "Yüzey Kapatma" yöntemi tercih edilmiştir. Bu kapsamda rehabilitasyon için 8 farklı bölgede dağınık halde bulunan atıkların tek bir noktada toplanması düşünülmüş olup bunun için de en uygun bölgenin; atık miktarının diğer yığınlara göre çok yüksek miktarda olması, antropojenik etkilerden daha az etkilenmesi, diğer yığınlara göre daha kontrollü depolama yapılmış olması, fiziksel olarak daha stabil durumda olması nedeniyle B1 bölgesi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. B1 bölgesi atık yığını görseli.

Bu aşamadan sonra sahanın rehabilitasyonuna ve maliyet kalemlerine etki edecek temel unsurlar belirlenmiştir. Bunlar;

1. B2, B3, B4, B5, B6, B7 ve B8 olarak tanımlanan bölgelerdeki tüm atıkların kazılması ve B1 bölgesine taşınması. Kazılan bölgelerin bitkisel toprak serilerek bitkilendirilmesi,

2. B1 bölgesinde çok uzun yıllar önce inşa edildiği düşünülen seddenin kreti üstünde bulunan atık bölümlerinin kazılarak şevin yatırılması (şev eğimin düşürülmesi) ve seddenin yeni gelen atık yükünü de taşıyacak şekilde kaya dolgu ile güçlendirilmesi,

3. Atıkların B1 bölgesine uygun şekilde sıkıştırılarak serilmesini müteakip, atık yığının tüm yüzeylerinin geçirimsizlik malzemeleri (doğal ya da geosentetik) ve drenaj tabakası ile kaplanması ve üstünün bitkisel toprak serilerek yöreye özgü bitkiler ile (üst örtüye zarar vermeyecek özellikte) yeşillendirilmesi,

4. AMD oluşumu ve metal sızıntısının önlenmesi için tek bölgede toplanan atık yığınının yağmur ve yerüstü suları ile tüm temasının kesilmesi,

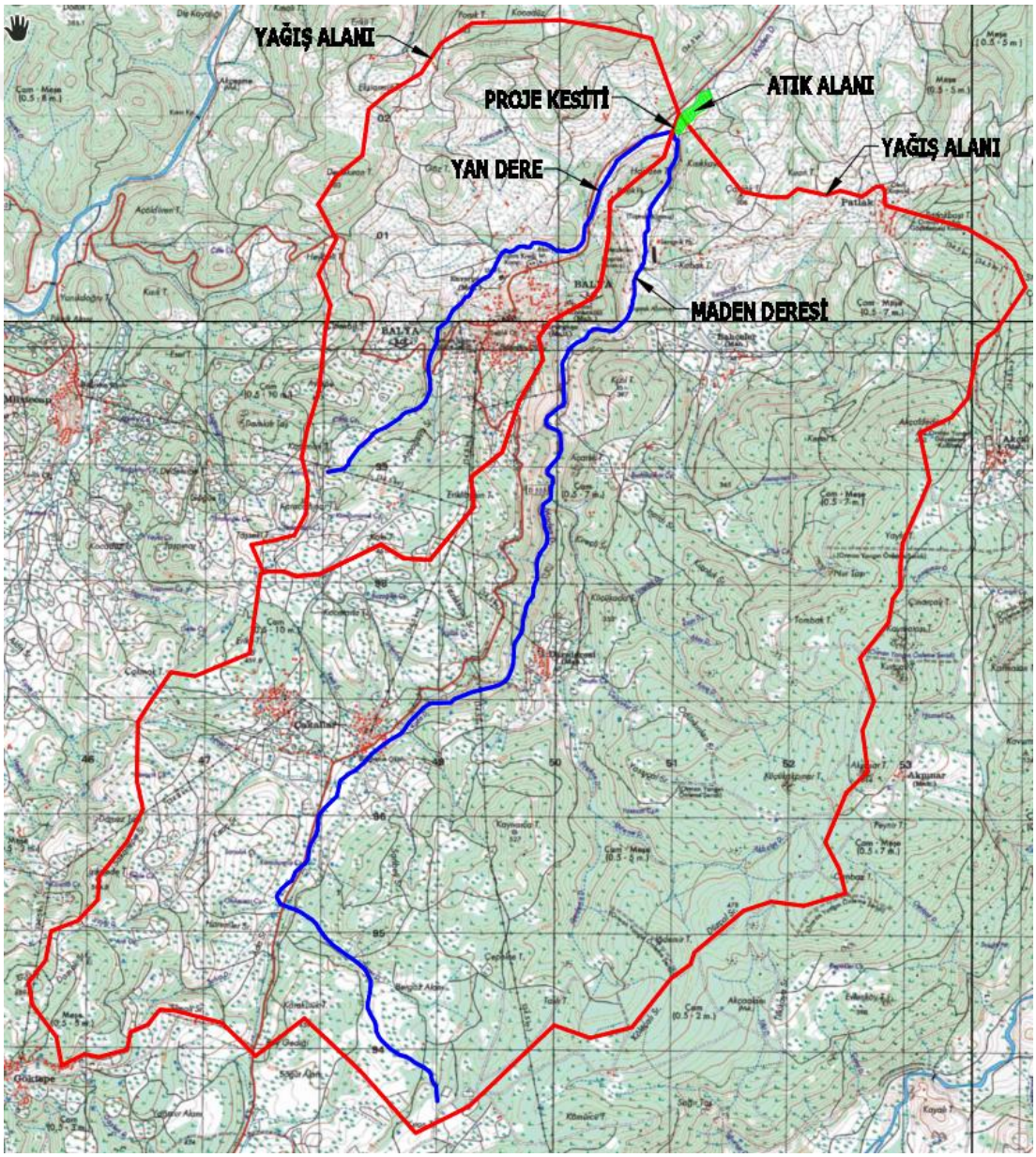
olarak sıralanabilir.

Son maddede belirtilen hususun sağlanması için, mevcut durumda atık yığınlarının arasından geçen ve atıklarla temas edip son olarak B1 bölgesinin hemen öncesinde Yan Dere ile birleşerek akış gösteren Maden Deresinin, B1 bölgesi seddesi boyunca ıslahı (U kanala alınması) ve yine B1 bölgesine kuzeyden yağışla gelebilecek yüzey sularının kuşaklama kanalı ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, atık sahasının membaında faaliyet gösteren maden işletmesinin Maden Deresinin kendi sahasından geçen bir bölümünü derive etmek için hazırladığı ve DSİ Bölge Müdürlüğünce onaylanan Hidroloji Raporu (Esan, 2018), yine işletmeden temin edilen halihazır haritalardan ve bölgenin 1/25000 ölçekli topoğrafik haritasından yararlanılarak, Autocad-Civil-3D programı ile derenin alındığı U kanal ile yüzey sularının drene edileceği kuşaklama kanallarının kesitleri hazırlanmıştır.

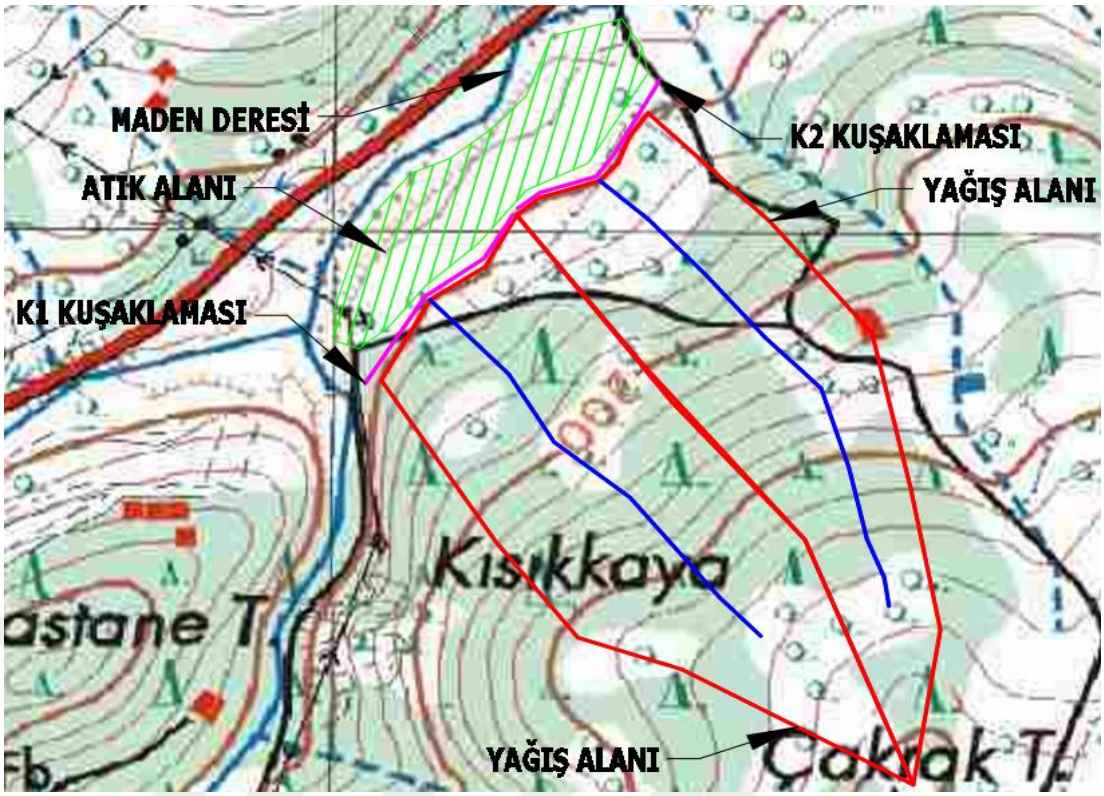
Atık sahasında yukarıda temel unsurları belirtilen rehabilitasyon faaliyetleri doğrultusunda yaklaşık rehabilitasyon maliyetinin hesaplanmasında ise, DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve HES Dairesinin birim fiyat cetvelleri kullanılmıştır (URL-6).

3.3.1 Hidroloji hesapları

Atık yığınlarının içinden geçen Yan Dere ile birleşen Maden Deresinin U kanala alınması için taşkın debisi hesabı Maden Deresi için akış pike ulaşma süresi, Tp >2 saat olması nedeniyle DSİ Sentetik Yöntem, Yan Dere için Tp <2 saat olduğundan Mockus Yöntemi ve tüm atıkların taşınarak birleştirildiği B1 Bölgesinin kuzeyinden gelebilecek yüzey sularının drene edileceği kuşaklama kanallarının tasarımı için ise Rasyonel Yöntemle yapılmıştır (Esan, 2018). Maden Deresi ve Yan Derenin akış havzası Şekil 3.7'de, sağ ve sol sahil (K1, K2) kuşaklama kanallarının havzası ise Şekil 3.8'de 1/25000 ölçekli topoğrafik harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Maden deresi havzası.



Şekil 3.8. Planlanan kuşaklama kanalları havzası.

DSİ sentetik yöntemine göre Maden Deresi için taşkın debisi hesabı;

Çizelge 3.5. Taşkın debisinde kullanılan değerler.

A	L	L_C	S	CN	Akış
31,6	11	5,6	0,0227	75	46,35

$$q_p = \frac{414}{A^{0.225} \times (\frac{L \times L_c}{\sqrt{S}})^{0.16}} \quad (3.4)$$

Burada; q_p: Birim hidrograf piki (L/s.mm.km^2), A: Havza alanı (km^2), L: Ana su yolu uzunluğu (km), L_c: Havza ağırlık merkezinin su yoluna uzaklığı (km), S: Harmonik eğim (%).

$$Q_p = A \times q_p \times 10^{-3} \quad (3.5)$$

Burada; Q_p: Birim hidrograf piki [m^3/(sn.mm)].

$$Q_{100} = Q_p \times Akış \tag{3.6}$$

Burada; Q_{100}: Yüz yıllık yağışa denk gelen debi (m^3/sn), Akış: Meteoroloji istasyonları yinelenmeli yağış değerleri ve plüviyograf değerlerinin iterasyonuyla hesaplanan akış miktarı (mm).

Mockus süperpozesiz yöntemine göre Yan Dere için taşkın debisi hesabı;

Çizelge 3.6. Taşkın debisinde kullanılan değerler.

A	L	$\sum S_i$	h_a	K	Akış
9,38	4858	0,031516	1	0,208	50,20

$$S = \left(\frac{10}{\sum(\frac{1}{\sqrt{Si}})} \right)^2 \tag{3.7}$$

Burada; S: Harmonik eğim (%), S_i: Kesitler arası (1/10) harmonik eğim (%).

$$Tc = 0{,}00032 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \tag{3.8}$$

Burada; L: Ana su yolu uzunluğu (m), T_c: Kritik akımda üst genişlik (m).

$$D = 2\sqrt{T_c} \tag{3.9}$$

Burada; D: Proje sağanak süresi (saat).

$$T_p = 0{,}5\, D \; + \; 0{,}6\, T_c \tag{3.10}$$

Burada; T_p: Birim hidrografın pike ulaşma süresi (saat).

$$Q_p = \frac{K \; x \; A \; x \; ha}{T_p} \tag{3.11}$$

Burada; Q_p: Birim hidrograf piki [m^3/(sn.mm)], K: Bölgelere göre değişen katsayı, A: Havza alanı (km^2), h_a: Birim hidrograf akış yüksekliği (mm).

$$Q_{100} = Q_p \times Akış \tag{3.12}$$

Burada; Q_{100}: Yüz yıllık yağışa denk gelen debi (m^3/sn), Akış: Meteoroloji istasyonları yinelenmeli yağış değerleri ve plüviyograf değerlerinin iterasyonuyla hesaplanan akış miktarı (mm).

Rasyonel yöntem ile kuşaklama kanalları için taşkın debisi hesabı;

Çizelge 3.7. Taşkın debisinde kullanılan değerler.

	Yinelenme Yıl	A	C	I
K1	100	0,13	0,2	416,18
K2	100	0,11	0,2	402,72

$$Q_{100} = \frac{A\ x\ C\ x\ I}{3{,}6} \tag{3.13}$$

Burada; Q_{100}: Yüz yıllık yağışa denk gelen debi (m^3/sn), A: Alan (km^2), C: Yüzey akış katsayısı, I: İterasyonla hesaplanan meteorolojik yağış şiddeti (mm).

Manning formülü ile hesaplanan Maden Deresi ve kuşaklama kanalları tasarım kriterleri;

$$Q_{100} = \frac{\mathrm{A}.\mathrm{R}^{\frac{2}{3}}.\sqrt{\mathrm{S}_0}}{\mathrm{n}} \tag{3.14}$$

Burada; Q_{100}: Yüz yıllık yağışa denk gelen debi (m^3/sn), A: Islak alan (m^2), S_0: Kanal taban eğimi (%), R: Hidrolik yarıçap (m), n: Manning katsayısı.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde tez konusu terkedilmiş maden atıklarının bulunduğu sahada yapılan atık, su ve sediman örneklerinin analiz sonuçları ve bunlarla ilgili değerlendirmeler yer alacaktır.

4.1. Atık Örnekleri Elementel Analiz Sonuçları

Sahada atıkların bulunduğu 8 bölgeden birçok noktadan ve farklı derinliklerden alınarak oluşturulan 12 adet kompozit numunede yapılan elementel faz analizinin sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Buna göre, maden atıkları elementel faz analizleri incelendiğinde çevresel risk yaratabilecek bazı ağır metal ve metaloidlerin (Pb, Zn, Cd, As, Cu) yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu, bazılarının ise deteksiyon limitlerinin altında kaldığı ya da bulunmadığı (Na, Mg, P, Cl, Cr, Co, Tl, Bi, U vb.) görülmektedir. Atıktaki elementel konsantrasyonlar jeolojik bolluk indisi (JBİ) veya yerkabuğu ortalama konsantrasyonlarına göre değerlendirildiğinde; toplam sülfür (S), kalsiyum (Ca), demir (Fe), çinko (Zn), kurşun (Pb), antimon (Sb), arsenik (As), kadmiyum (Cd), molibden (Mo), tellür (Te), mangan (Mn), bakır (Cu) ve gümüş (Ag) elementlerinde tüm örneklerde veya örneklerin büyük çoğunluğunda yerkabuğu ortalama seviyelerinin üzerinde bulunduğu, alüminyum (Al), silisyum (Si), potasyum (K), baryum (Ba), nikel (Ni), titanyum (Ti), stronsiyum (Sr) ve vanadyum (V) elementlerinde ise tüm örneklerde veya örneklerin büyük çoğunluğunda yerkabuğu ortalama seviyelerinin (Lide, 2005) altında bulunduğu görülmektedir. Bu sonuçlar madencilik yönünden değerlendirildiğinde sahadaki atıklarda (bakiye yığını, cüruf) zenginleştirme ile üretilebilecek metaller olduğuna işaret ederken, çevresel olarak bakıldığında ise kontrolsüzce alıcı ortamla etkileşim halinde olan atıkların yüksek konsantrasyonlarda ağır metal veya metaloid ihtiva etmesi dolayısıyla çevre ve insan sağlığı için tehdit olduğu söylenebilir.

Diğer taraftan, atıkların elementel düzeyleri AYY (2015)'e göre değerlendirildiğinde ise, atıkta elementel (tekil) veya bileşik halinde (karışım) bulunan ağır metal konsantrasyonları Pb, Zn ve As için tüm örneklerde, Sb, Cd ve Cu için ise bazı örneklerde sınır değerlerin üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle, tüm örnekler için atıklar tehlikeli atık sınıfına girmekte ve maden atıkları için atık kodu "01 03 05*-Tehlikeli madde içeren diğer maden atıkları (M)" ya da "01 03 07*-Metalik

minerallerin fiziki ve kimyasal işlenmesinden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren diğer atıklar (M)" olarak değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmeler tüm atık örnekleri için ayrı ayrı geçerli olduğu gibi, sahada 7 bölgede bulunan maden atığı yığınları için kütlesel olarak da geçerlidir. Sahada B6 bölgesinde bulunan ve ATK-10 kompozit numunesi olarak örneklenen cüruflar ise, ısıl işlem sonucu ortaya çıkan atıklar olması nedeniyle maden atığı olarak değil endüstriyel atık olarak tanımlanmakta (URL-1, AYY,2015), bu nedenle atık kodu "10 04 01*-Birincil ve ikincil üretim cürufları (A)" olarak değerlendirilmektedir.

4.2 Atık Örnekleri Statik Test Sonuçları

Tüm atık örnekleri için asit maden drenajı potansiyelinin kestirimi amacıyla yapılan ilk basamak deneyler olan jeokimyasal statik test sonuçları atık yığınlarını da kapsayacak şekilde Çizelge 4.2'de verilmiştir. Buna göre, tüm örneklerin statik test sonuçları MAY (2015)'e göre değerlendirildiğinde, NP/AP<1 olduğundan maden atıkları asit üretici karakter göstermektedir. Bazı örneklerde karbonat mineralleri gibi asit nötrleştirici kapasitesi olan mineral varlığı dolayısıyla nötralizasyon potansiyelleri yüksek olsa bile bunun karşılığında asit üreten mineraller dolayısıyla asit üretim potansiyellerinin yüksek olması örneklerin asit üretici çıkmasında belirleyici olmuştur. Örneklerin toplam inorganik karbon yüzdeleri üzerinden teorik olarak hesaplanabilecek NP değerleri (EPA600/278-054) ile deneysel olarak (titrasyon) hesaplanan NP değerleri arasındaki farklar, tüm karbonatların nötralizasyona etki etmemesi veya karbonat dışındaki bazı mineral gruplarının nötralizasyona katkısı ile açıklanabilir, fakat bu durum örneklerin statik test sonuçlarına etki edebilecek düzeyde değildir. Bu değerlendirme sonucuna göre ise, maden atığı örneklerinin atık kodu "01 03 04*-Sülfürlü cevherlerin işlenmesinden kaynaklanan asit üretici maden atıkları (A)" olarak tanımlanmakta ve atıklar tehlikeli atık olarak değerlendirilmektedir. Sahada B6 bölgesinde bulunan ve ATK-10 kompozit numunesi olarak örneklenen cüruflar, ısıl işlem sonucu ortaya çıkan atıklar olması nedeniyle endüstriyel atık olarak değerlendirilmesi dolayısıyla (URL-1 AYY,2015) statik testlere tabi tutulmamıştır.

Çizelge 4.1. Atık örnekleri element analizi sonuçları.

Num. No	Num Kodu	Al	Si	S	Ca	K	Fe	Zn	Pb	Sb	As	Cd	Mo	Te	Ba	Mn	Cu	Ni	Ag	Ti	Sr	V
		%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A1	ATK-1	1,90	8,61	13,21	9,49	2,49	17,48	0,95	9,39	330,44	7433	92,10	3,80	37,36	296,98	555	933,59	4,89	58,32	590,47	47,63	12,04
A2	ATK-2	1,15	5,74	21,52	6,09	1,95	14,89	2,91	6,13	251,37	9965	212,65	2,45	24,95	175,24	3302	1354,48	18,07	37,85	524,04	43,12	14,33
A3	ATK-3	2,13	7,98	22,46	8,51	1,81	19,22	3,05	15,89	259,78	9955	196,47	2,63	30,01	167,70	2707	1369,18	16,82	43,10	525,68	45,61	12,59
A4	ATK-4	2,20	16,78	8,72	3,40	2,99	16,33	5,88	14,07	2188,39	8875	320,23	4,15	62,00	444,58	2088	3650,32	6,46	173,64	1040,67	47,94	17,94
A5	ATK-5	1,51	7,48	12,63	4,81	1,09	7,59	0,93	36,23	2288,09	5181	47,22	3,12	60,78	192,32	175	973,55	2,52	219,86	603,29	55,10	4,62
A6	ATK-6	1,77	8,26	7,21	18,11	0,64	8,62	0,96	8,47	86,06	2188	71,26	5,78	8,15	32,34	20364	1120,18	17,31	147,53	912,46	62,84	26,72
A7	ATK-7	9,24	4,99	9,42	5,26	2,64	14,57	6,14	22,48	850,6	4859	277,47	3,33	53,64	74,00	1630	3972,64	10,72	192,29	737,32	36,91	20,47
A8	ATK-8	4,74	20,22	8,12	6,59	3,13	28,89	4,43	21,62	2802,07	10230	1025,22	2,76	42,75	42,25	2318	2398,33	10,60	184,61	1118,42	36,89	12,24
A9	ATK-9	4,01	13,45	7,84	4,94	3,29	11,86	5,16	9,36	11227,9	34417	3853,75	3,78	52,64	33,06	2248	2434,72	11,78	210,48	1481,96	35,49	20,15
A10	ATK-10	3,50	5,81	5,25	10,24	1,04	22,28	6,51	6,78	159,27	3518	61,19	6,89	20,05	272,58	32244	2555,96	15,17	76,24	805,26	523,9	33,60
A11	ATK-11	2,24	12,15	12,48	3,36	1,73	12,69	7,00	9,10	829,22	5292	1101,81	2,22	41,60	32,04	3284	1970,27	6,72	120,51	224,56	38,13	16,74
A12	ATK-12	2,63	9,65	12,10	2,56	1,98	8,12	3,27	28,89	835,26	5738	310,05	1,64	50,77	5073,82	890	13437,7	4,05	167,00	216,18	50,85	10,03
Jeolojik Bolluk İndisi		8,23	28,2	0,035	4,15	2,09	5,63	0,007	0,0014	0,2	1,8	0,15	1,2	0,001	425	950	60	84	0,075	5650	370	120
AYY Ek-3								0,25	0,25	2500	1000	1000					2500	1000				

Çizelge 4.2. Atık örnekleri statik test sonuçları.

Num. No	Num. Kodu	TİK (%)	TS (%)	$S\text{-}SO_4$ (%)	$S\text{-}S^{-2}$ (%)	NP (TİK)	NP (Titr)	AP (S^{-2})	NPO [TİC] (NP/AP)	NPR [Titr] (NP/AP)
A1	ATK-1	0,15	13,15	8,26	4,89	12,50	12,50	152,81	0,08	0,08
A2	ATK-2	1,44	22,55	2,65	19,90	119,95	101,17	621,88	0,19	0,16
A3	ATK-3	0,14	23	2,50	20,50	10,83	94,88	640,63	0,02	0,15
A4	ATK-4	0,10	8,91	4,58	4,33	8,33	18,11	135,31	0,06	0,13
A5	ATK-5	0,086	13	9,03	3,97	7,16	-28,75	124,06	0,06	-0,23
A6	ATK-6	0,13	7,14	1,89	5,25	11,66	88,73	164,06	0,07	0,54
A7	ATK-7	1,10	9,27	3,87	5,40	91,63	40	168,75	0,54	0,24
A8	ATK-8	1,09	8,08	2,79	5,29	90,80	69,21	165,31	0,55	0,42
A9	ATK-9	0,97	7,98	1,47	6,51	80,80	141,22	203,44	0,40	0,69
A11	ATK-11	1,15	12,65	6,91	5,74	95,80	69,34	179,38	0,53	0,39
A12	ATK-12	0,10	11,90	8,63	3,27	8,33	11,25	102,19	0,08	0,11
Atık Yığın Bölgeleri (Ort.)	B1						69,52	471,77		0,15
	B2						18,11	135,31		0,13
	B3						-28,75	124,06		-0,23
	B4						88,73	164,06		0,54
	B5						83,48	179,17		0,47
	B7						69,34	179,38		0,39
	B8						11,25	102,19		0,11

4.3 Yerüstü Suyu Örnekleri Analiz Sonuçları

Tez çalışması kapsamında sahipsiz atıkların kontrolsüz olarak depolandığı sahadan 4 farklı noktadan 4 adet yerüstü suyu örneği ve bir adet asit maden drenajı örneği (atık yığını üzerinde bulunan çukurdan) alınmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu sonuçlar üzerinden değerlendirmeler, sahanın memba mansap bağlantısı kurularak konumsal ve mevzuat hükümlerine göre iki başlıkta yapılacaktır.

4.3.1 Konumsal değerlendirme

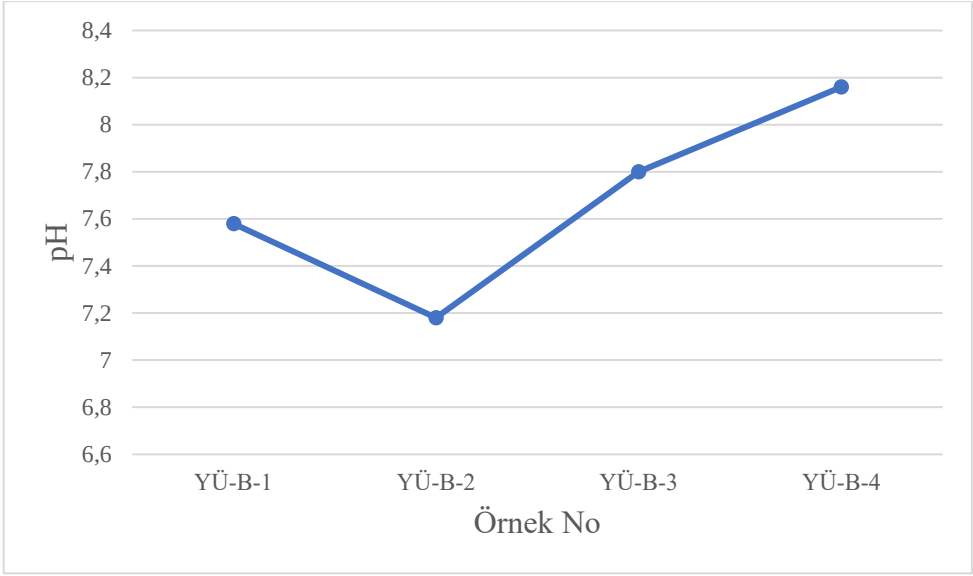
Atıkların bulunduğu sahanın içinden geçen Sarısu/Maden Deresinin memba noktası olan Aşağı Çakallar Köyü girişi, atık sahasının hemen mansabı (B2 yığınının yakını) ve bu doğrultuda Manyas Barajına giriş hattı üzerinde Kocaçay ve Manyas Çayının katılımı sonrası iki noktadan yaklaşık 10.5 km'lik bir hat boyunca alınan yerüstü suyu örneklerinin analiz sonuçları incelendiğinde; asit maden drenajı genel gösterge parametreleri olan pH, elektriksel iletkenlik ve sülfat değerleri ile sahadan alınan asit maden drenajı örneği üzerinden belirlenen metal (Pb, Zn, As, Cd, Fe, Mn, Al) konsantrasyonlarının, yerüstü suları akış yönünde membadan mansaba doğru atık yığınlarının hemen sonrasında (YÜ-B-2) pik yaptığı (pH'da düşüş, diğer parametrelerde artış şeklinde), ardından hat boyunca önce Kocaçayın katılımı sonrası (YÜ-B-3) ve nihayetinde Manyas Çayının katılımı sonrası (YÜ-B-4) güçlü akışlar neticesinde seyrelme ile azalarak (pH'da artarak) Manyas Baraj Gölüne katıldığı görülmektedir. Bahsi geçen tüm parametrelerin akış boyunca değişimini gösteren grafikler Şekil 4.1'de verilmiştir. Atık sahasında asit maden drenajı sonucu oluşan sızıntıların yağmur suları ile akış şeklinde yerüstü sularına karışarak tarımsal sulama amacıyla kullanılan Manyas Baraj Gölün taşındığı ortaya konulmakla birlikte, sahanın memba ve mansabında aynı akifer üzerinde bulunan gözlem kuyuları bulunmaması nedeniyle yeraltı sularına etkisine ilişkin bir değerlendirme yapmak mümkün olmamıştır.

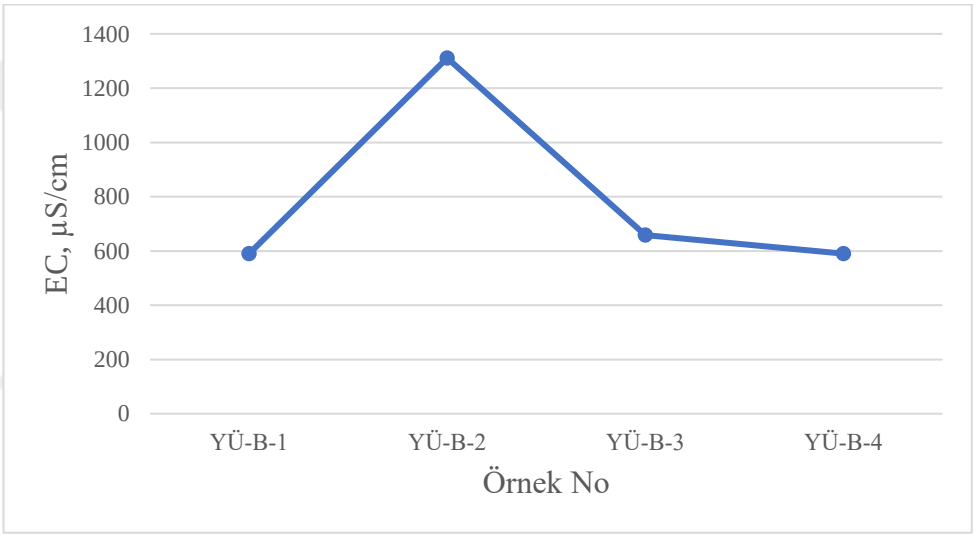
Çizelge 4.3. Yerüstü suyu analiz sonuçları (Aralık 2019).

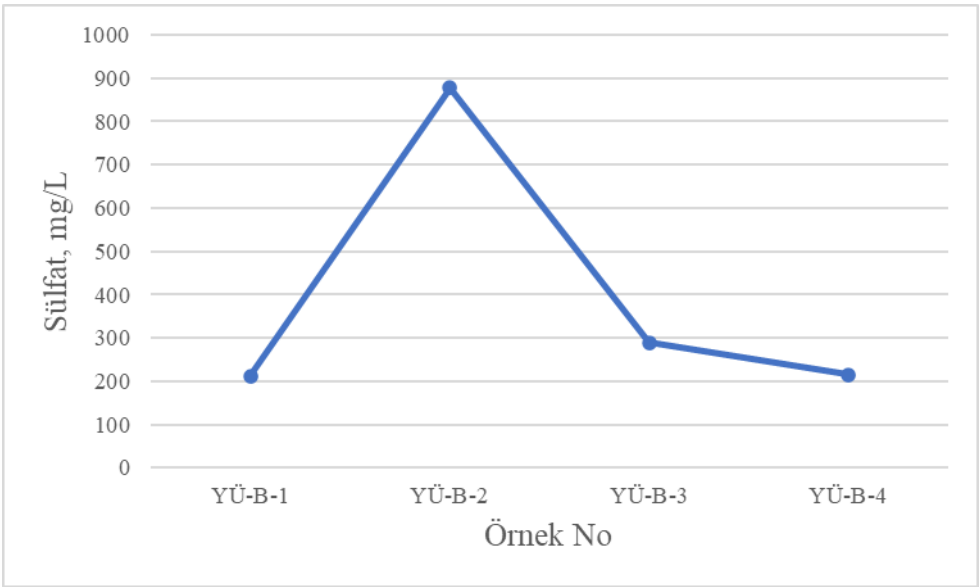
No	Numune Kodu	AKM	KOİ	pH	EC	Sıcaklık	Çözünmüş Oksijen	Sülfat	Sülfür	Arsenik	Kadmiyum	Kurşun	Cıva	Bakır	Nikel	Çinko	Toplam Krom
		mg/L	mg/L	-	µS/cm	°C	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
S1	YÜ-B-1	<6	11,7	7,58	590	9.6	9,37	212	<0,07	<0,01	<0,005	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	<0,03	<0,01
S2	YÜ-B-2	12,2	7,52	7,18	1311	13.3	9,13	878	<0,07	0,12	0,011	0,021	<0,001	<0,01	<0,01	2,76	<0,01
S3	YÜ-B-3	15	17,2	7,80	658	10.1	10,88	289	<0,07	<0,01	<0,005	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	0,4	<0,01
S4	YÜ-B-4	16,1	16	8,16	590	9.4	11,33	215	<0,07	<0,01	<0,005	<0,01	<0,001	<0,01	<0,01	0,09	<0,01
S5	AMD-B-1	30,3	7,3	2,57	3630	9.1	10,74	2634	<0,07	12	1,53	1,31	<0,001	6,33	0,018	185,8	0,073

Çizelge 4.3 (devam). Yerüstü suyu analiz sonuçları (Aralık 2019).

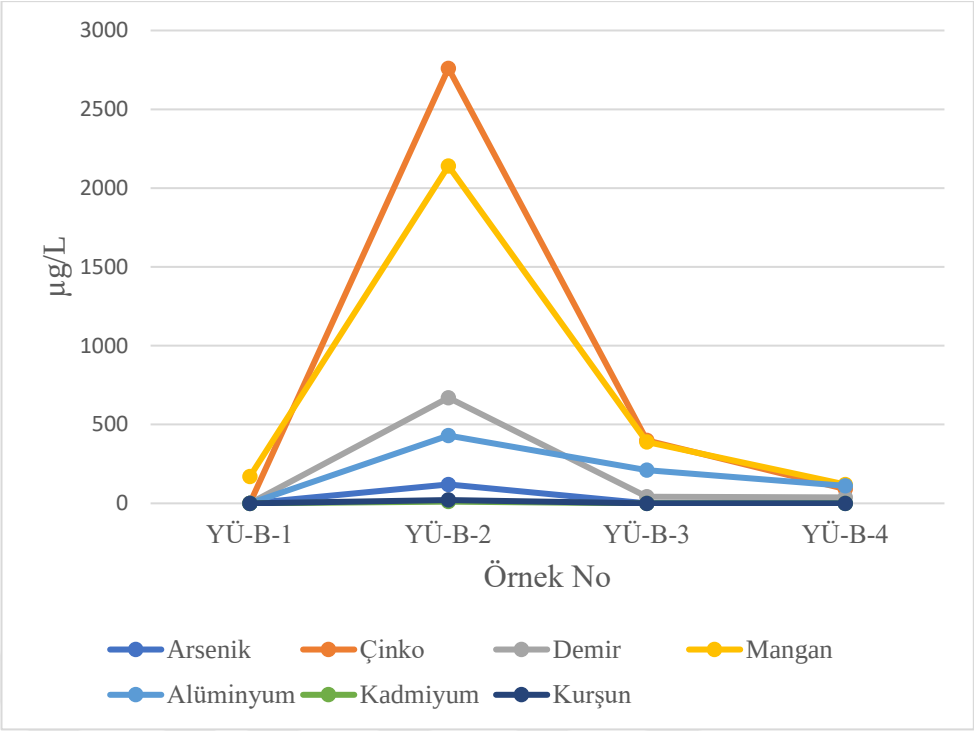
No	Numune Kodu	Demir	Kobalt	Mangan	Alüminyum	Talyum	Toplam Siyanür	Serbest Klor
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
S1	YÜ-B-1	<0,03	<0,01	0,17	<0,02	<0,01	<0,002	<0,05
S2	YÜ-B-2	0,67	<0,01	2,14	0,43	<0,01	<0,002	<0,05
S3	YÜ-B-3	0,041	<0,01	0,39	0,21	<0,01	<0,002	<0,05
S4	YÜ-B-4	0,038	<0,01	0,12	0,11	<0,01	<0,002	<0,05
S5	AMD-B-1	235,6	0,013	16,4	30	<0,01	<0,002	206







Şekil 4.1. Akış yönü doğrultusunda pH, SO_4, EC değişimi.



Şekil 4.1 (devam). Akış yönü doğrultusunda metallerin değişimi.

4.3.2 Mevzuata göre değerlendirme

Sarısu/Maden Deresinin atık sahası ile kontaminasyonu sonrası Kocaçay ve Manyas Çayı ile birleşerek beslediği Manyas Baraj Gölünün tarımsal sulama amacıyla kullanılması ve yüzeysel sular ile beslenen yeraltı sularının içme suyu olarak kullanılabilme ihtimali nedeniyle su kalitesi üzerine yapılacak değerlendirmede kullanılacak mevzuat aşağıdadır;

- Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY, 2012; Tablo 2-4-5)
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY, 2014; Tablo 7.1)
- İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi ve Arıtılması Hakkındaki Yönetmelik (İSTESKAHY, 2019; A-1)
- Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkındaki Yönetmelik Taslağı (SSKKSYKHYT)

Yerüstü sularında yapılan izlemeler belirtilen mevzuat kriterleri ile karşılaştırıldığında, atık yığını üzerinden alınan asit maden drenajı örneğinin (AMD-B-1) YSKY'ne göre; pH, EC, Mn değerleri açısından IV. Sınıf (zayıf) su kalitesinde, Cd değeri için sınıf 5, Al, As, Cu, Zn, Fe, Co, Pb, Ni ve Cr için ise çevresel kalite standardı (ÇKS)

değerlerinin üzerinde olduğu, sulama suyu kriterlerine (SSKKSYKHYT) göre; pH için sınır değerlerden düşük, EC, Mn, Al, As, Cu, Zn, Fe, Co, değerleri için sınır değerlerden yüksek olduğu, içme suyu kriterlerine göre (İSTESKAHY); KOİ dışında listede olup ölçülen tüm parametreler için sınır değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Deşarj limitleri açısından bakıldığında SKKY Tablo 7.1) ise; pH'ın sınır değerin altında, Pb, Zn, Cd, Cu, Fe için ise limit değerlerin oldukça üstünde olduğu görülmektedir.

Asit maden drenajı örneği dışında sahadan alınan 4 adet yerüstü suyu örneği için bakıldığında; pH açısından hiçbir örnekte sınır değerlerin aşılmadığı, EC açısından bir örneğin (YÜ-B-2) YSKY'ne göre II. sınıf (iyi) su kalitesi değerini ve sulama suyu kalitesi sınır değerini (SSKKSYKHYT) aştığı, SO_4 açısından iki örneğin (YÜ-B-2, YÜ-B-3) içme suyu (İSTESKAHY) değerini aştığı, mangan için bir örneğin (YÜ-B-2) YSKY'ne göre II. sınıf (iyi) su kalitesi değerini aştığı ve değerleri aşan örneğin atık yığınlarının hemen bitiminde yer alan örnek olduğu görülmektedir. Bunun dışındaki metal ve metaloidler açısından bakıldığında Pb, Zn, As, Al ve Fe için atık yığınlarının hemen mansabındaki örnekte (YÜ-B-2) ÇKS değerlerini aştığı, yine Fe için membadaki örnek (YÜ-B-1) dışındaki tüm örneklerin ÇKS değerini aştığı tespit edilmiştir. Sulama suyu kriterleri açısından (SSKKSYKHYT) ise As, Zn, ve Cd için bir noktada (YÜ-B-2) sınır değerlerin aşıldığı görülmektedir. İçme suyu kriterlerine göre (İSTESKAHY) bakıldığında ise; Pb, As, Cd, Fe için bir noktada (YÜ-B-2) sınır değerlerin aşıldığı, Al için iki noktada (YÜ-B-2, YÜ-B-3) sınır değerlerin aşıldığı tespit edilmiştir.

4.4. Sediman Örneği Analiz Sonuçları

Atık yığınlarının bittiği noktanın mansabından birkaç noktadan alınarak karıştırılıp homojenize edilerek elde edilen kompozit sediman numunesine ilişkin analiz sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Buna göre; sediman numunesinde bakılan metallerin tümünün yerkabuğu ortalama değerlerinin (Lide, 2005) çok üzerinde olduğu, yine bu metallerin kaynağının da atık ve AMD örneği analizlerine dayanarak atık yığınları olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. Sediman örneği analiz sonuçları.

Örnek Kodu	SDM-B-1	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Mn	Al	Fe
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
		9150,22	12086,6	1012,2	98,46	350,14	2286,78	72240,34	80140,56

4.5. Rehabilitasyon Planı İçin Bulgular

Atık sahasının rehabilitasyonu için, Yan Dere ile birleşerek atık yığınlarının içinden geçen Maden Deresinin alınacağı kapalı U kanalı ile tüm atıkların toplanacağı B1 bölgesinin kuzeyinden gelebilecek yüzey sularının drene edileceği kuşaklama kanallarına ait taşkın debileri hesaplanmıştır. Maden Deresi için Q_{100} = 121,15 m^3/s, Yan Dere için Q_{100} = 66,25 m^3/s, U kanal için debi olarak ikisinin toplamı olan 187,4 m^3/s, sağ sahil ve sol sahil (K1 ve K2) kuşaklama kanalları için ise, Q_{100} = 3,01 m^3/s ve Q_{100} = 2,46 m^3/s olarak hesaplanmıştır. Söz konusu yapılar için hesaplanan su yükseklikleri doğrultusunda seçilen kanal yükseklikleri ise, Maden Deresi U kanalı için 3 metre, kuşaklama kanalları için ise 0,75 metredir. Buna göre, söz konusu yapıların tasarımı için ölçülen, kabul edilen ve hesaplanan tüm değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir. Maden Deresi U kanalı ile K1 ve K2 kuşaklama kanallarının kesitleri Ek A'da Şekil A.1 ve Şekil A.2'de, bunların uydu görüntü üzerinde görünümü Şekil A.3'te, atık sahası yüzey kapatma (üst örtü) teşkili Şekil A.4'te, alınan kesit üzerinden tüm yapıların detay görümü ise Şekil A.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Su yapıları tasarım kriterleri.

MADEN DERESİ KANALI												
KM		Q_{100} (m^3/s)	h (m)	m	B (m)	V (m/s)	A (m^2)	P (m)	R	n	S (%)	Seçilen Kesit Yüksekliği (m)
0+000,00	0+059,28	187,4	2,336	0	10	8,02	23,36	14,67	1,59	0,016	0,89	3,00
0+059,28	0+067,09	187,4	0,862	0	10	21,75	8,62	11,72	0,74	0,016	18,25	3,00
0+067,09	0+566,46	187,4	2,353	0	10	7,97	23,53	14,71	1,60	0,016	0,87	3,00
K1 KUŞAKLAMA KANALI												
KM		Q_{100} (m^3/s)	h (m)	m	B (m)	V (m/s)	A (m^2)	P (m)	R	n	S (%)	Seçilen Kesit Yüksekliği (m)
0+000,00	0+193,59	3,01	0,67	1	1	2,69	1,12	2,90	0,39	0,016	0,66	0,75
0+193,59	0+228,98	3,01	0,44	1	1	4,80	0,63	2,23	0,28	0,016	3,22	0,75
0+228,98	0+263,32	3,01	0,43	1	1	4,88	0,62	2,22	0,28	0,016	3,37	0,75
0+263,32	0+280,01	3,01	0,21	1	1	11,92	0,25	1,59	0,16	0,016	42,35	0,75
K2 KUŞAKLAMA KANALI												
KM		Q_{100} (m^3/s)	h (m)	m	B (m)	V (m/s)	A (m^2)	P (m)	R	n	S (%)	Seçilen Kesit Yüksekliği (m)
0+000,00	0+082,46	2,46	0,39	1	0,75	5,61	0,44	1,84	0,24	0,016	5,45%	0,75
0+082,46	0+140,75	2,46	0,39	1	0,75	5,49	0,45	1,86	0,24	0,016	5,15%	0,75
0+140,75	0+225,60	2,46	0,54	1	0,75	3,54	0,69	2,27	0,31	0,016	1,56%	0,75

4.6. Rehabilitasyon Yaklaşık Maliyeti

Tez konusu atık sahasında yüzey kapatma yöntemiyle yapılacak rehabilitasyon/iyileştirme çalışmaları genel olarak; B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8 bölgelerindeki atık yığınlarının kaldırılarak B1 bölgesine taşınması, B1 bölgesinde mevcutta bulunan seddenin üstünde bulunan atıkların kazılarak şev eğiminin düşürülmesi ve seddenin kaya dolgu ile güçlendirilmesi, Maden Deresinin B1 bölgesi boyunca U kanala alınması, B1 bölgesi kuzeyinden gelebilecek yüzey sularının drene edilmesi için kuşaklama kanalı inşası, tek noktada toplanan atık yığınının tüm yüzeyinin geçirimsizlik malzemeleri (doğal ya da geosentetik) ile kapatılması ve yağmur suyu girişini kesmek için drenaj tabakası (doğal veya geosentetik) teşkili, atık yığınlarının toplandığı B1 bölgesi yüzeyine 50 cm bitkisel toprak serimi, atıkların kaldırıldığı tüm bölgelere iyileştirme amacıyla 20 cm bitkisel toprak serimi ve yöreye özgü bitkiler ile bitkilendirme, olarak sıralanabilir. Harcama kalemlerinin detaylı olarak yer aldığı yaklaşık maliyetler; Maden Deresi U kanalı için Ek B'de Çizelge B.1'de, kuşaklama kanalları için Çizelge B.2 ve Çizelge B.3'te, atık yığınlarının yüzey kapatması için ise Çizelge B.4 ve Çizelge B.5'te alternatifli olarak verilmiştir. Buna göre atık sahasının rehabilitasyon işlerinin yaklaşık maliyeti 10324123 TL ile 11224745 TL arasında hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında, yüzyıldan uzun süredir Balıkesir İli Balya İlçesinde bulunan, zaman içinde terkedilmiş ve sahibi belli olmayan bir atık sahası özelliği kazanan sahada bulunan maden atıklarının AMD potansiyeli başta olmak üzere karakterizasyonu mer'i mevzuat hükümlerine uygun olacak şekilde yapılmıştır (AYY, 2015; MAY, 2015). Buna göre; sahada bulunan maden atıkları AMD analizlerine göre, nötrleştirme kapasitelerinin oldukça üzerinde asit potansiyeli taşımaları nedeniyle asit üretici atıklar (tehlikeli atık) olarak sınıflandırılmıştır. Diğer yandan hem maden atıkları hem de cürufların elementel faz analizlerine göre, içeriğinde sınır değerlerin üzerinde yüksek ağır metaller bulunması nedeniyle tehlikeli atık sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Atık sahanın içinden geçerek Manyas Baraj Gölüne karışan yerüstü sularından numuneler alınarak atık sahasının su kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Su kalitesine ilişkin sonuçlar hem menba mansap bağlantısı hem de mevzuat doğrultusunda değerlendirilmiştir. Atık yığınları üzerinde oluşan asidik su birikintisinden alınan örnekte; 2,57 pH, 3630 EC, 2634 sülfat ve oldukça yüksek metal değerleri ile tipik AMD suyu sonuçları tespit edilmiştir.

Atık sahasının membaından alınan yerüstü suyu numuneleri ile mansabından alınan numuneler pH, elektriksel iletkenlik, sülfat ve metal ve metaloidler (Pb, Zn, As, Cd, Fe, Mn, Al) kapsamında karşılaştırıldığında; özellikle atık sahasının hemen bitiminde (YÜ-B-2) alınan numunelerde pH'ın düştüğü, diğer tüm parametrelerin ise pik yaptığı, bu noktadan sonra ise Manyas Baraj Gölüne kadar Kocaçay ve Madra Çayının yüksek debileriyle katılımı dolayısıyla seyrelmenin etkisiyle, pH'ın arttığı ve diğer parametrelerin azaldığı görülmektedir.

Yerüstü su örnekleri mevzuata göre değerlendirildiğinde ise; atıkların üzerinden alınan AMD sızıntı suyu örneği sonuçlarının SKKY Tablo 7.1'de yer alan tüm değerleri çok yüksek oranda aştığı, YSKY'ne göre birçok parametrede ÇKS değerlerinin üzerinde olduğu ve IV. Sınıf (zayıf) su kalitesinde olduğu, içme suyu kriterlerine göre ise tüm parametrelerde sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir.

Asit maden drenajı örneği dışında sahadan alınan 4 adet yerüstü suyu örneği için bakıldığında; pH açısından hiçbir örnekte sınır değerlerin aşılmadığı, EC açısından bir örneğin (YÜ-B-2) YSKY'ne göre II. sınıf (iyi) su kalitesi değerini ve sulama suyu kalitesi sınır değerini (SSKKSYKHYT) aştığı, SO_4 açısından iki örneğin (YÜ-B-2, YÜ-B-3) içme suyu (İSTESKAHY) değerini aştığı, mangan için bir örneğin (YÜ-B-2) YSKY'ne göre II. sınıf (iyi) su kalitesi değerini aştığı ve değerleri aşan örneğin atık yığınlarının hemen bitiminde yer alan örnek olduğu görülmektedir. Bunun dışındaki metal ve metaloidler açısından bakıldığında Pb, Zn, As, Al ve Fe için atık yığınlarının hemen mansabındaki örnekte (YÜ-B-2) ÇKS değerlerini aştığı, yine Fe için membadaki örnek (YÜ-B-1) dışındaki tüm örneklerin ÇKS değerini aştığı tespit edilmiştir. Sulama suyu kriterleri açısından (SSKKSYKHYT) ise As, Zn, ve Cd için bir noktada (YÜ-B-2) sınır değerlerin aşıldığı görülmektedir. İçme suyu kriterlerine göre (İSTESKAHY) bakıldığında ise; Pb, As, Cd, Fe için bir noktada (YÜ-B-2) sınır değerlerin aşıldığı, Al için iki noktada (YÜ-B-2, YÜ-B-3) sınır değerlerin aşıldığı tespit edilmiştir.

Atık sahasının mansabından bir adet sediman örneği alınarak, sedimanda atık kaynaklı metal ya da metaloidler bulunup bulunmadığı araştırılmış ve bunların yerkabuğu ortalama konsantrasyonlarına göre değerlendirmesi yapılmıştır. Buna göre; sediman numunesinde bakılan metallerin (Pb, Zn, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Al) tümünün yerkabuğu ortalama değerleri (Lide, 2005) oldukça üzerinde olduğu, yine bu metallerin kaynağının da atık ve AMD örneği analizlerine dayanarak atık yığınları olduğu tespit edilmiştir.

Tüm bu sonuçlar ışığında, uzun yıllardır kontrolsüzce söz konusu terkedilmiş maden sahasında bulunan atıkların olumsuz çevresel etkileri olduğu ve sahanın rehabilite edilmesi gerektiği sonucuna varılmış ve sahanın kirlenmiş sahalar için iyileştirme yöntemlerinden biri olan yüzey kapatma yöntemiyle rehabilite edilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.

Rehabilitasyon çalışmaları için yapılacak çalışmalar genel olarak; B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8 bölgelerindeki atık yığınlarının kaldırılarak B1 bölgesine taşınması, B1 bölgesinde mevcutta bulunan seddenin üstünde bulunan atıkların kazılarak şev eğiminin düşürülmesi ve seddenin kaya dolgu ile güçlendirilmesi, Maden Deresinin B1 bölgesi boyunca U kanala alınması, B1 bölgesi kuzeyinden gelebilecek yüzey

sularının drene edilmesi için kuşaklama kanalı inşası, tek noktada toplanan atık yığınının tüm yüzeyinin geçirimsizlik malzemeleri (doğal ya da geosentetik) ile kapatılması ve yağmur suyu girişini kesmek için drenaj tabakası (doğal veya geosentetik) teşkili, atık yığınlarının toplandığı B1 bölgesi yüzeyine 50 cm bitkisel toprak serimi, atıkların kaldırıldığı tüm bölgelere iyileştirme amacıyla 20 cm bitkisel toprak serimi ve yöreye özgü bitkiler ile bitkilendirme, olarak belirlenmiştir. Buna göre atık sahasının rehabilitasyon işlerinin yaklaşık maliyetinin 10324123 TL ile 11224745 TL arasında olacağı tespit edilmiştir.

Söz konusu atık sahası için önerilen rehabilitasyon/iyileştirme çalışmalarının benzer sahalar için örnek teşkil etmesi umulmakla birlikte, her saha için sahaya özgü tekniklerin ve çözümlerin değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Atık sahasının rehabilitasyonu/iyileştirilmesi, etki alanında bulunan çevre ve insan sağlığı için önemli olup özellikle tarımsal sulama amaçlı kullanılan Manyas Baraj Gölü için en önemli baskı unsurlarından birinin ortadan kaldırılması anlamına gelecektir. Bununla birlikte, Baraj Gölü sediman kalitesinin araştırılması ve gerekli görülmesi halinde temizleme çalışması yapılmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Zira uzun yıllardır atık sahasından Baraj Gölüne doğru taşınım olması ve Baraj Gölünün bir çöktürme havuzu işlevi görerek ağır metal ihtiva eden atık/sedimanları dibe çöktürmesi muhtemeldir, bu kapsamda özellikle pH'daki olası değişimlerin sedimanda bulunan ağır metalleri mobilize etme riski bulunmaktadır. Bunun dışında, atık sahasının etki alanında toprak kirliliği ve tarım ürünlerine etkileri üzerine kapsamlı bir çalışma yapılması ve bölgede yaşayan insanlar için başta kanda ağır metal birikimi olmak üzere, insan sağlığına etkilerin değerlendirileceği bir çalışmanın yapılması da gerekli görülmektedir.

KAYNAKLAR

Akyol, Z., 1976. Balıkesir-Balya (Pb-Zn-Cu) madeni hakkında jeoloji raporu, MTA, 298.

Akyol, Z., 1977. Balıkesir-Balya (Pb-Zn) artıklarının yurt ekonomisi açısından önemi, Jeoloji mühendisliği dergisi, 1, 2, 13-16.

Aykol, A., Budakoğlu, M., Kumral, M., Gültekin, A. H., Turhan, M., Esenli, V., Yavuz, F. ve Örgün, Y., 2003. Heavy metal pollution and acid drainage from abandoned balya pb-zn sulfide mine nw anatolia, Turkey, Environmental Geology, 45, 198-208.

Balcı, Ç. N., Gül S., Kılıç, M. M., Karagüler N. G., Sarı E. ve Sönmez Ş., 2014. Balya (Balıkesir) Pb-Zn madeni atık sahasının biyojeokimyası ve asidik maden drenajı oluşumuna etkileri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 57, 3, 1-24.

Balıkesir Üniversitesi, 2012. "Balya ilçesinde bulunan flotasyon ve izabe atıklarının rezerv ve tenör hesaplaması proje raporu, Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğü, Döner Sermaye İşletme Müdürlüğü, 45 s.

Baştürk, A., 2017. Balya (Balıkesir) civarındaki flotasyon ve izabe atıklarının özelliklerinin belirlenmesi ve rezervinin hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Bouzekri, S., El Hachimi, M. L., Touach, N., El Fadili, H., El Mahi, M. ve Lotfi, E. M., 2019. The study of metal (As, Cd, Pb, Zn and Cu) contamination in superficial stream sediments around of Zaida mine (High Moulouya-Morocco), Journal of African Earth Sciences, 154, 49-58.

Bulut, G., 1991. Balıkesir-Balya yöresi kurşun-çinko tesis artıklarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çelebi, E. E., 2013. Maden yataklarında bulunan sülfürlü minerallerin asitli maden drenajlarına etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kocaeli.

Digby Wells Environmental, 2015. Environmental ımpact assessment for sibanye gold limited's west rand tailings retreatment project, Rehabilitation Report, South Africa, 2015.

DSİ, 1980. Aşağı susurluk havzası hidrojeolojik etüd raporu, Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Esan, 2018. Balya atık depolama sahası alan artırımı projesi, Taşkın Hidrolojisi Raporu, 2018.

Environmental Protection Agency-EPA (USA), 1994. Technical document-acid mine drainage prediction. Office of Solid Waste Special Waste Branch, Washington, USA.

Gemici, Ü. ve Tarcan, G., 2007. Assessment of the pollutants in farming soils and waters around untreated abandoned türkönü mercury mine (Turkey), The Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 79, 20-24.

Gül, S., 2014. Balıkesir/Balya Pb-Zn maden atık sahasının biyojeokimyası ve asidik maden drenajı oluşumuna etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karadaş, C., 2008. Balya ilçesi ve yakın köylerindeki toprak kirliliğinin çocuklar üzerine etkisinin in vitro gastroentestinal ekstraksiyon yöntemi ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Karadeniz, M. 2008, Asit maden drenajı ve çözümü, TMMOB Maden Mühendisleri Odası.

Karadeniz, M., 2011. Balıkesir-Balya kurşun-çinko madeni flotasyon artıklarının asit maden drenajı oluşum potansiyelinin derinlikle değişiminin araştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

KSTİT Kılavuzu, 2017. Kirlenmiş saha temizleme/iyileştirme teknolojileri kılavuzu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.

Kovenko, V., 1940. Balya kurşun madenleri, MTA Dergisi 4, 21, 80-587.

Lafrance, P.A., Dawson, O., Dionne, J., Lacroix, R., Paradis, M., Proulx, S., Santos, A., Turcotte, S., Zetchi, M., 2014. Chapter 7: mine site rehabilitation, Report on Mineral Activities in Québec, Canada, 2014.

Lawrence, R.W., Wang, Y., 1996, Determination of neutralization potential for acid rock drainage prediction, Mınıng And Mıneral Process Engineering University Of British Columbia, MEND Project, 1.16.3.

Lee, C. G., Chon, H. ve Jung, M. C., 2001. Heavy metal contamination in the vicinity of the Daduk Au–Ag–Pb–Zn mine in Korea, Applied Geochemistry, 16, 1377-1386.

Lee, J. S. ve Chon, H. T., 2006. Hydrogeochemical characteristics of acid mine drainage in the vicinity of an abandoned mine, daduk creek, Korea, Journal of Geochemical Exploration 88, 37-40.

Lide, D.R. 2005. Section 14, Geophysics, astronomy, and acoustics; abundance of elements in the earth's crust and in the sea, in *crc handbook of chemistry and physics*, 85th Edition, CRC Press, Florida, USA.

Lottermoser, B. G., 2007. Mine wastes: characterization, treatment, environmental impacts, Second Edition, Springer, Newyork, USA.

Madencilik Bülteni, 2010. Balya madenlerinin tarihi, inceleme, Madencilik Bülteni, 94, 54-57.

MDEQ, 2002. Water quality restoration plan for the cooke cıty tmdl planning area, Montana Department of Environmental Quality, USA, 2002.

Nordstrom, D. K. ve Alpers, C. N., 1999. Geochemistry of acid mine waters, pp. 133-160, in: Plumlee, G.S., Logsdon, M.J., (Editor), The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Society for Economic Geologists, Littleton, USA.

Ovalıoğlu, R., 1973. Biga yarımadasının jeolojisi-maden yatakları ve bakır-kurşun-çinko mineralizasyonu için ümitli olan bölgeleri, Madencilik Dergisi, 12, 6, 1-22.

Paktunc, A. D., 1998. Characterization of mine wastes for prediction of acid mine drainage, pp. 19-40, in: Azcue, J. M. (Editör), Environmental İmpacts of Mining Activities Emphasis on Mitigation and Remedial Measures, Berlin, Germany.

Pioneer, 2010. Final construction completion report for the snowshoe mine site reclamation project. Pioneer Technical Services, Inc., USA, 2010.

Pioneer, 2013. Bald butte mine and millsite and great divide sand tailings reclamation projects construction completion report (ccr). Prepared by Pioneer Technical Services, Inc., USA, 2013.

Pioneer, 2013. 2012 Final construction completion report fort the mclaren tailings abandoned mine site, Pioneer Technical Services, Inc., USA, 2013.

Sobek, A.A., Schuller, W.A., Freeman, J.R., ve Smith, R.M., 1978. Field and laboratory methods applicable to overburdens and minesoils, EPA600/278-054. U.S. EPA, Ohio, USA.

SSKKSYKHYT, 2018. Sulama sularının kalitesi ve kullanılmış suların yeniden kullanılması hakkındaki yönetmelik taslağı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.

T.C. Resmi Gazete, Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik, (27533). 26.03.2010, 1-24.

T.C. Resmi Gazete, Atık yönetimi yönetmeliği, (29314). 02.04.2015, 1-49.

T.C. Resmi Gazete, Çevre kanunu, (18132). 09.08.1983, 1-3.

T.C. Resmi Gazete, İçme suyu temin edilen suların kalitesi ve arıtılması hakkındaki yönetmelik, (30823). 06.07.2019

T.C. Resmi Gazete, Maden atıkları yönetmeliği, (29417). 15.07.2015, 1-20.

T.C. Resmi Gazete, Maden Kanunu. (18785), 4.6.1985, 18-19.

T.C. Resmi Gazete, Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, (25687). 31.12.2004

T.C. Resmi Gazete, Yerüstü su kalitesi yönetmeliği, (28483). 30.11.2012

Susurluk havzası eylem planı raporu, 2010. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.

Susurluk NHYP, 2018. Susurluk nehir havzası yönetim planı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.

Şimşek, C., Gündüz, O. ve Elçi, A., 2012. Terkedilmiş Balya (Balıkesir) Pb-Zn maden atıklarının ağır metal ve doğal radyoaktivite içeriği ve çevre kalitesi açısından değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 2, 43-55.

USEPA, (2012). A citizen's guide to capping, Office of Solid Waste and Emergency Response, 542-F-12-004, USA.

USEPA, (2012). A citizen's guide to phytoremediation, Office of Solid Waste and Emergency Response, 542-F-12-016, USA.

USEPA, (2012). A citizen's guide to solidification stabilisation, Office of Solid Waste and Emergency Response, 542-F-12-019, USA.

Uçurum, M., ve Ulu, E., 1987. Balıkesir-Balya kurşun-çinko sahasındaki jig ve birinci flotasyon artıklarının teknolojik değerlendirilmesi, Madencilik Dergisi, 16, 3, 5-13.

URL-1< https://cygm.csb.gov.tr/maden-atiklari-yonetmeliginin-uygulanmasina-iliskin-aciklamalar-duyuru-342821>, Erişim Tarihi: 14.12.2019.

URL-2< https://www.cmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=98017&tipi=67&sube=1>, Erişim Tarihi: 15.12.2019.

URL-3< http://www.gardguide.com/index.php?title=Chapter_4>, Erişim Tarihi: 17.12.2019.

URL-4< https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/c-lt1-20180201134535.pdf)>, Erişim Tarihi: 20.12.2019.

URL-5< https://frtr.gov/matrix2/top_page.html>, Erişim Tarihi: 14.01.2020.

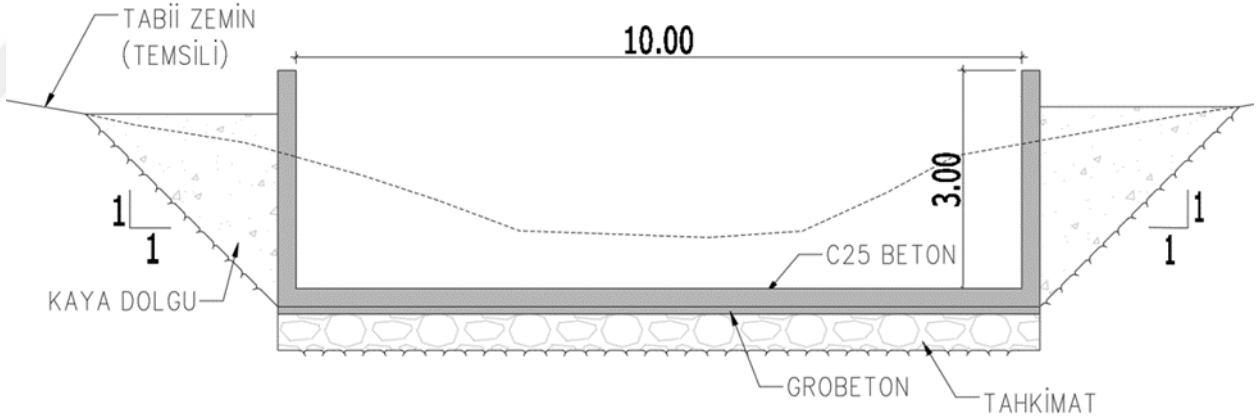
URL-6< http://www.dsi.gov.tr/docs/birim-fiyatlar/barajlar_bf2019_sonraki.pdf?sfvrsn=2>, Erişim Tarihi: 15.04.2020.

EKLER

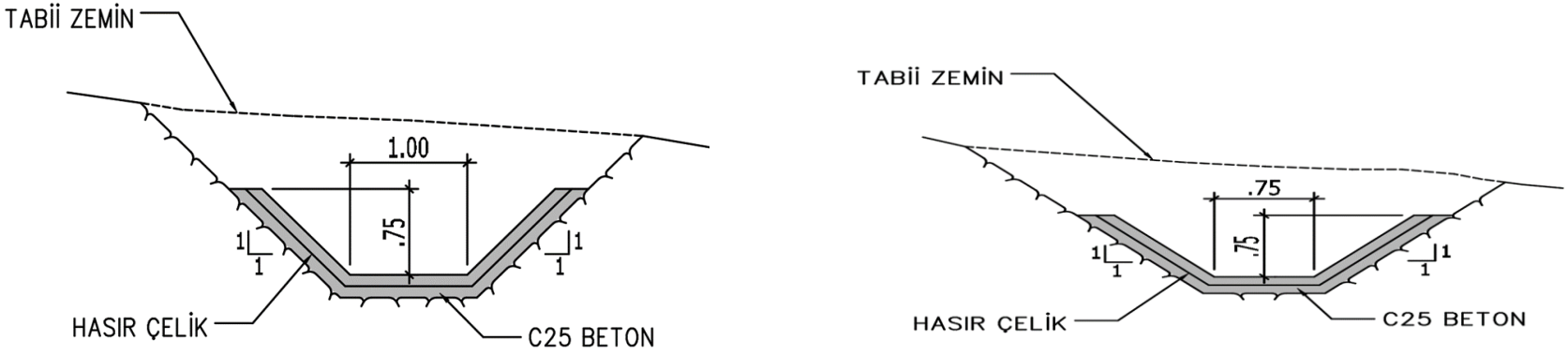
Ek A: Rehabilitasyon/yüzey kapatma yapıları şekil ve kesitleri.

Ek B: Rehabilitasyon/yüzey kapatma alternatifli yaklaşık maliyet kalemleri.

EK A

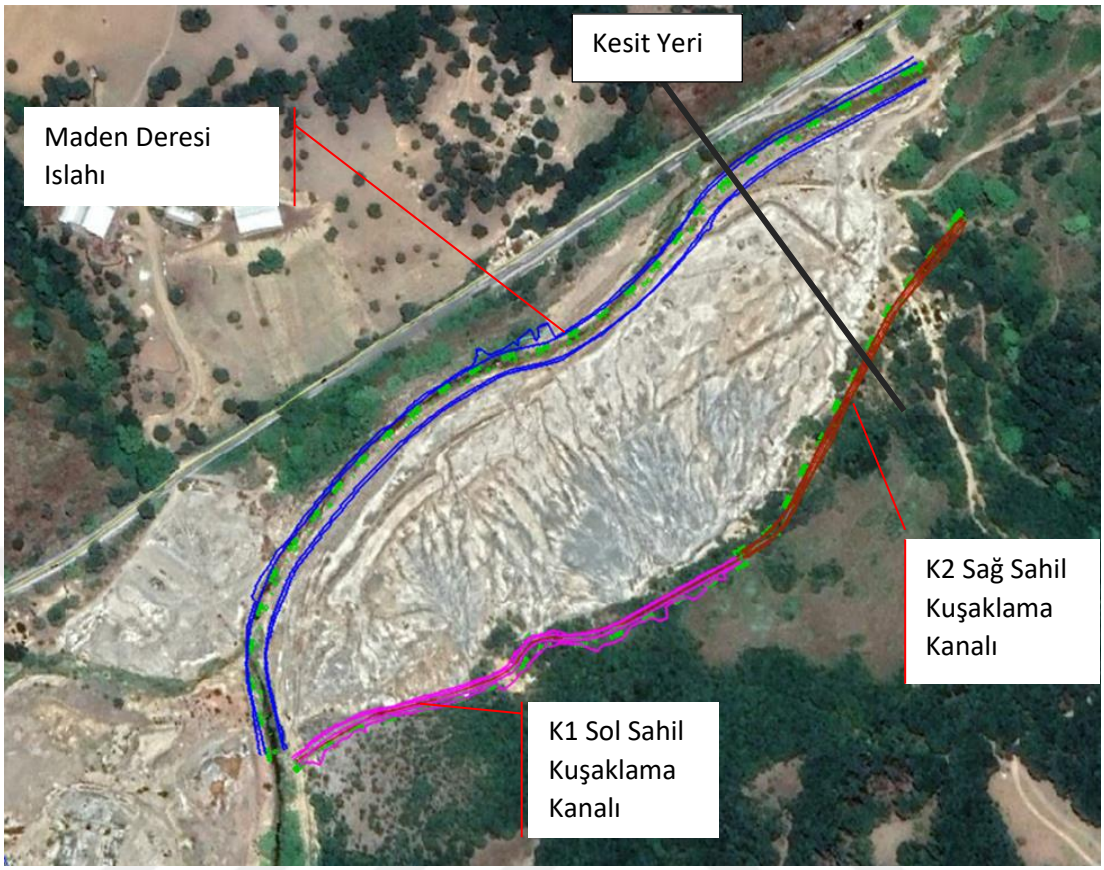


Şekil A.1. Planlanan maden deresi U kanal kesiti.

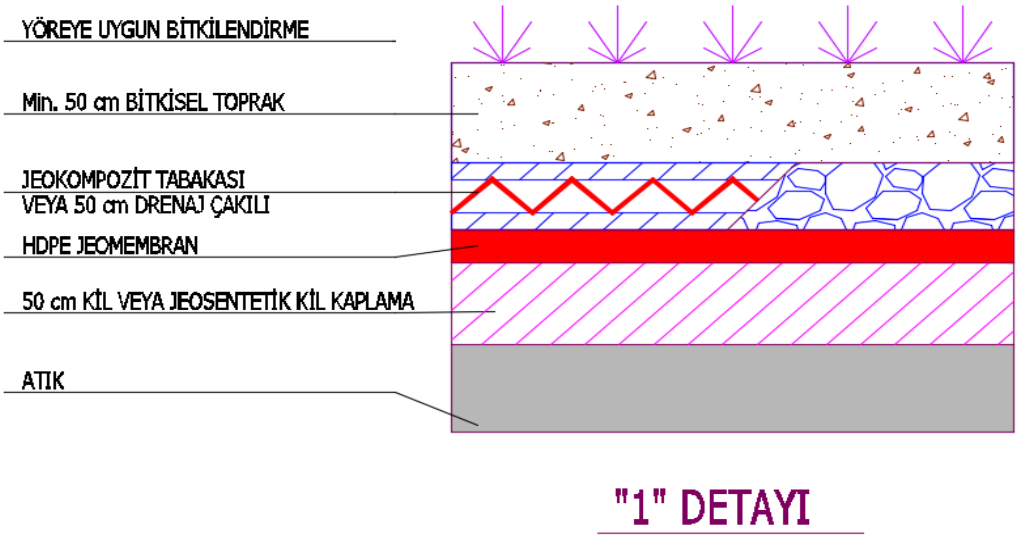


Şekil A.2. Planlanan kuşaklama kanalları (K1 ve K2) kesitleri.

EK A

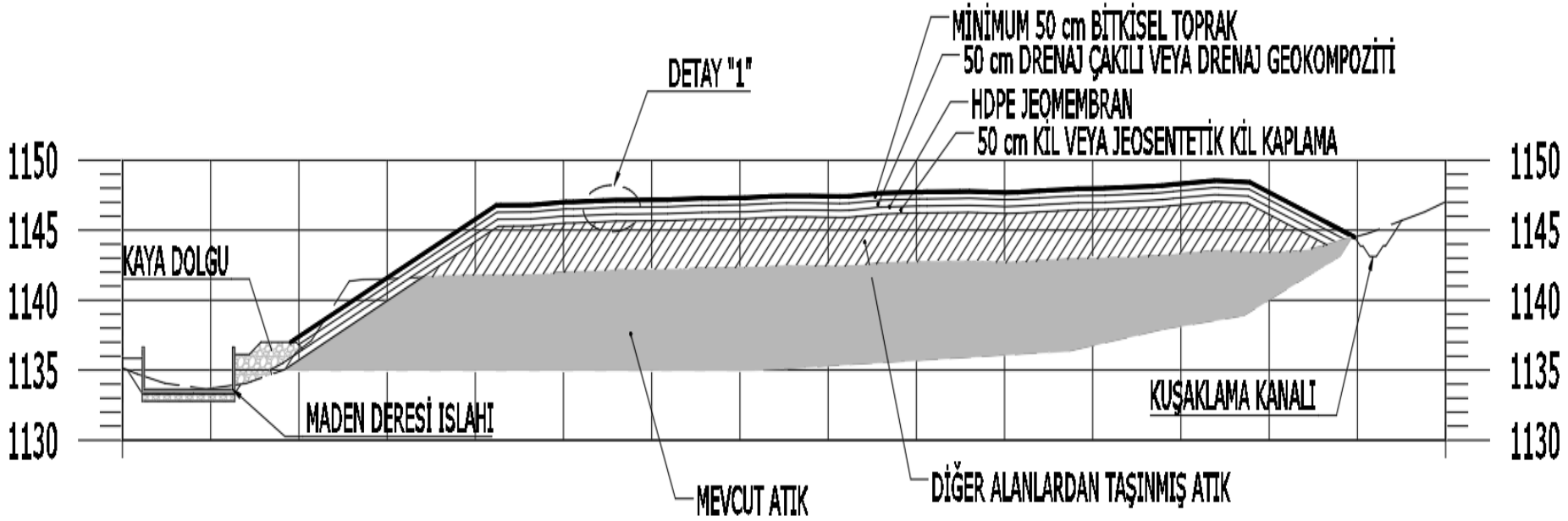


Şekil A.3. Kuşaklama kanalı ve U dere kanalının uydu görüntüsünde gösterimi.



Şekil A.4. Yüzey kapatma (üst örtü) teşkili şematik gösterimi.

EK A



Şekil A.5. Atık yığını (B1 bölgesi) nihai rehabilitasyonu kesit detayı.

EK B

Çizelge B.1. Maden deresi U kanal işi yaklaşık maliyet tablosu.

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
		KAZI İŞLERİ				
1	B-15.301	Toprak Kazılması ve Depoya Konması	m^3	6301,26	3,83	24.133,83
		ARA TOPLAM				24.133,83
		DOLGU İŞLERİ				
2	B-D.309	Duvar arka ve üstlerinin kum veya çakılla doldurulması	m^3	1737,01	44,93	78.043,86
3	B-17.D/6	Ocak moloz taşıyla tahkimat	m^3	2973,92	113,89	338.699,18
		ARA TOPLAM				416.743,04
		DİĞER İŞLER				
4	B-16.502	Grobeton	m^3	594,78	261,21	155.363,27
5	B-16.503	C25 Betonarme Betonu	m^3	2336,65	286,19	668.725,15
6	B-16.501	Çimento	ton	879,43	290,94	255.861,12
7	B-21.015	F2 cinsi düz beton veya betonarme kalıbı yapılması	m^2	3398,76	69,19	235.160,20
8	B-21.015/1	F1 cinsi düz beton veya betonarme kalıbı yapılması	m^2	3681,99	48,44	178.355,60
9	B-23.002	Demir bükülmesi ve yerine konması	ton	93,47	4682,14	437.620,43
		ARA TOPLAM				1.931.085,76
		NAKLİYELER				
10	B-07.D/4	Kazı Nakli (100 m)	m^3	6301,26	1,49	9.388,88
11	B-07.D/5	Kaya Nakli (5000 m)	m^3	1737,01	15,17	26.350,44
12	B-07.D/2	Demir Nakli (483 km)	ton	100,94	186,72	18.848,11
13	B-07.D/1	Çimento Nakliyesi (55 km)	ton	879,43	27,19	23.911,68
		ARA TOPLAM				78.499,11
					TOPLAM	**2.450.461,73**

EK B

Çizelge B.2. K1 kuşaklama kanalı yaklaşık maliyet tablosu.

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
		KAZI İŞLERİ				
1	B-15.301	Toprak Kazılması ve Depoya Konması	m^3	3346,25	3,83	12.816,14
		ARA TOPLAM				12.816,14
		DİĞER İŞLER				
2	B-16.503	C25 Betonarme Betonu	m^3	195,28	286,19	55.886,89
3	B-16.501	Çimento	ton	58,58	290,94	17.044,34
4	B-23.002	Demir bükülmesi ve yerine konması	ton	2,89	4682,14	13.531,99
		ARA TOPLAM				86.463,22
		NAKLİYELER				
5	B-07.D/4	Kazı Nakli (100 m)	m^3	3346,25	1,49	4.985,91
6	B-07.D/2	Demir Nakli (483 km)	ton	3,12	186,72	582,82
7	B-07.D/1	Çimento Nakliyesi (55 km)	ton	58,58	27,19	1.592,89
		ARA TOPLAM				7.161,62
					TOPLAM	**106.440,97**

EK B

Çizelge B.3. K2 kuşaklama kanalı yaklaşık maliyet tablosu.

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
		KAZI İŞLERİ				
1	B-15.301	Toprak Kazılması ve Depoya Konması	m^3	806,50	3,83	3.088,90
		ARA TOPLAM				3.088,90
		DİĞER İŞLER				
2	B-16.503	C25 Betonarme Betonu	m^3	146,05	286,19	41.799,03
3	B-16.501	Çimento	ton	43,82	290,94	12.747,84
4	B-23.002	Demir bükülmesi ve yerine konması	ton	2,16	4682,14	10.120,87
		ARA TOPLAM				64.667,74
		NAKLİYELER				
5	B-07.D/4	Kazı Nakli (100 m)	m^3	806,50	1,49	1.201,69
6	B-07.D/2	Demir Nakli (483 km)	ton	2,33	186,72	435,90
7	B-07.D/1	Çimento Nakliyesi (55 km)	ton	43,82	27,19	1.191,36
		ARA TOPLAM				2.828,94
					TOPLAM	**70.585,58**

EK B **Çizelge B.4.** Yüzey kapatma (geosentetik malzeme) teşkili yaklaşık maliyet tablosu.

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ				
1	B-15.301	Atık Kazılması ve Depoya Konması	m^3	285600,00	3,83	1.093.848,00
2	B-15.301	B-1 Alanı şev yatırılması	m^3	15000,00	4,83	72.450,00
3	B-15.301	Bitkisel Toprak Kazılması ve Depoya Konulması	m^3	50000,00	3,83	191.500,00
4	B-15.312	Kaya dolgu yapılması	m^3	5000,00	22,99	114.950,00
5	B-15.052/B	Silindirle sıkıştırma	saat	20,00	275,03	5.500,60
		ARA TOPLAM				1.472.748,00
		KAPLAMA İŞLERİ				
6	ÖBF-1	GCL (geosentetik kil örtü)	m^2	64000,00	18,55	1.187.200,00
7	ÖBF-2	Drenaj Geokompoziti	m^2	64000,00	26,50	1.696.000,00
8	ÖBF-3	HDPE Geomembran	m^2	64000,00	35,25	2.256.000,00
		ARA TOPLAM				5.139.200,00
		NAKLİYELER				
9	B-07.D/4	B-2 Kazı Nakli (100 m)	m^3	21750,00	1,49	32.298,75
10	B-07.D/4	B-3 Kazı Nakli (500 m)	m^3	5000,00	3,32	16.602,80
11	B-07.D/4	B-4 Kazı Nakli (300 m)	m^3	100000,00	2,57	257.209,54
12	B-07.D/4	B-5 Kazı Nakli (2000 m)	m^3	48000,00	6,64	318.773,85
13	B-07.D/4	B-6 Kazı Nakli (2000 m)	m^3	67500,00	6,64	448.275,73
14	B-07.D/4	B-7 Kazı Nakli (2700 m)	m^3	4350,00	7,72	33.565,85
15	B-07.D/4	B-8 Kazı Nakli (2300 m)	m^3	39000,00	7,12	277.750,58
16	B-07.D/4	Bitkisel Toprak Nakli (5000 m kabul edilmiştir)	m^3	50000,00	10,50	525.000,00
17	B-07.D/5	Kaya Nakli (5000 m kabul edilmiştir)	m^3	5000,00	15,17	75.850,00
		ARA TOPLAM				1.985.327,11
					TOPLAM	**8.597.275,11**

EK B **Çizelge B.5.** Yüzey kapatma (doğal malzeme) teşkili yaklaşık maliyet tablosu.

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ				
1	B-15.301	Atık Kazılması ve Depoya Konması	m^3	285600,00	3,83	1.093.848,00
2	B-15.301	B-1 Alanı şev yatırılması	m^3	15000,00	4,83	72.450,00
3	B-15.301	50 cm Bitkisel Toprak Kazılması ve Depoya Konulması	m^3	50000,00	3,83	191.500,00
4	B-15.302	50 cm Kil dolgu yapılması	m^3	32000,00	6,48	207.360,00
5	B-15.343	50 cm çakıl dolgu yapılması	m^3	32000,00	28,55	913.600,00
6	B-15.052/B	Silindirle sıkıştırma	saat	320,00	275,03	88.009,60
7	B-15.322	Sulama	m^3	1600,00	4,25	6.800,00
8	B-15.312	Kaya dolgu yapılması	m^3	5000,00	22,99	114.950,00
		ARA TOPLAM				2.688.517,60
		DİĞER İŞLER				
9	43.527.1002	Çapı 200 mm HDPE Koruge boru döşenmesi (SN 8, lastik conta ve boru bedeli dahil)	m^2	400,00	39,75	15.900,00
10	43.527.1003	Çapı 300 mm HDPE Koruge boru döşenmesi (SN 8, lastik conta ve boru bedeli dahil)	m^2	500,00	82,90	41.450,00
11	ÖBF-3	HDPE	m^2	64000,00	35,25	2.256.000,00
		ARA TOPLAM				2.313.350,00
		NAKLİYELER				
12	B-07.D/4	B-2 Kazı Nakli (100 m)	m^3	21750,00	1,49	32.298,75
13	B-07.D/4	B-3 Kazı Nakli (500 m)	m^3	5000,00	3,32	16.602,80
14	B-07.D/4	B-4 Kazı Nakli (300 m)	m^3	100000,00	2,57	257.209,54
15	B-07.D/4	B-5 Kazı Nakli (2000 m)	m^3	48000,00	6,64	318.773,85
16	B-07.D/4	B-6 Kazı Nakli (2000 m)	m^3	67500,00	6,64	448.275,73

EK B **Çizelge B.5 (devam).** Yüzey kapatma (doğal malzeme) teşkili yaklaşık maliyet tablosu.

Sıra No	Poz No	İşin Cinsi	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
17	B-07.D/4	B-7 Kazı Nakli (2700 m)	m^3	4350,00	7,72	33.565,85
18	B-07.D/4	B-8 Kazı Nakli (2300 m)	m^3	39000,00	7,12	277.750,58
19	B-07.D/4	Bitkisel Toprak Nakli (5000 m kabul edilmiştir)	m^3	50000,00	10,50	525.000,00
20	B-07.D/3	Kil Nakli (5000 m kabul edilmiştir)	m^3	32000,00	11,67	373.440,00
21	B-07.D/4	Çakıl Nakli (5000 m kabul edilmiştir)	m^3	32000,00	10,50	336.000,00
22	B-07.D/5	Kaya Nakli (5000 m kabul edilmiştir)	m^3	5000,00	15,17	75.850,00
		ARA TOPLAM				2.694.767,11
					TOPLAM	**7.696.634,71**

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Mehmet AKA

Adres : Kentkoop Mah. 1820 Cad. İkizkent Sit. No:24/2/14 Yenimahalle/ANKARA

E-posta adresi : mehmet.aka@csb.gov.tr

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 2009-2014

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, 2018-2020

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Alke-Ataç-STFA Konsorsiyumu-Melen İçme Suyu Projesi/2007-2008
2. Çevre ve Orman Bakanlığı/2009-2011
3. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı/2011-devam ediyor

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Terkedilmiş Maden Sahasında Bulunan Atıkların Su Kalitesine Etkisinin İncelenmesi/*INSAC-Natural and Health Sciences-2020*