

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
YER ve DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADENCİLİK SEKTÖRÜ ŞLAM ATIKLARININ
SUSUZLAŞTIRILMASINA YÖNELİK YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR

RABİA ASLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
YER VE DENİZ BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI

GEBZE
2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
YER VE DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADENCİLİK SEKTÖRÜ ŞLAM
ATIKLARININ SUSUZLAŞTIRILMASINA
YÖNELİK YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR

RABİA ASLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
YER VE DENİZ BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMANI
Prof. Dr. MEHMET SALİM ÖNCEL

GEBZE
2022

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE of EARTH and MARINE SCIENCES

**INNOVATIVE STUDIES ON DEWATERING OF
MINING INDUSTRY SLUDGE WASTE**

RABIA ASLAN
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF EARTH and MARINE SCIENCES

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. MEHMET SALİM ÖNCEL

GEBZE
2022

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03/02/2022 tarih ve 2022/06 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 06/07/2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Rabia ASLAN'ın tez çalışması Yer ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Mehmet Salim ÖNCEL

ÜYE

: Prof. Dr. İrfan YOLCUBAL

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Meltem ÇELEN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Endüstriyel faaliyetler için hammadde ihtiyacını karşılayan madencilik, ekonomik ve sosyal getirilerinin yanı sıra faaliyette bulunduğu dönemde ekosisteme zarar verme ve çevre kirliliği sorunlarına sebep olabilmektedir. Madencilik faaliyetlerinde cevherin arama aşamasından zenginleştirme ve depolama aşamasına kadar birçok fiziksel ve kimyasal atık veya artık ortaya çıkmaktadır. Maden sektöründe ortaya çıkan şlam atıkların güvenilir bir şekilde depolanmaması çevresel açıdan birçok sorun oluşturmaktadır.

Geleneksel atık depolama yöntemi olarak kullanılan atık barajları, son yıllarda artan kazalar nedeniyle güvenilirliğini kaybetmiştir. Dünya genelinde şlam atıklarının susuzlaştırılarak depolanması için farklı yöntem arayışları devam etmektedir.

Bu çalışmada, dört farklı maden atık sahasından alınan şlam atıklarının fiziksel ve kimyasal karakterizasyonları yapılarak, şlam atıklarının susuzlaştırılması ve briketlenerek hacimlerinin azaltılması daha kontrollü depolama alanlarında, çevreye en az zarar verecek şekilde stoklanması amaçlanmıştır. Bununla birlikte yakın gelecekte ekonomik değer kazanabileceği aynı veya farklı sektörler için hammadde olup olmayacağı konusunda görüşlere yer verilmiştir.

Sonuç olarak sırasıyla %21,36, %16,76, %19,51, %34,74 nem içeriklerine sahip şlam atıkları %73- 80 arasında değişen verimlerde susuzlaştırılmıştır. Depolama alanı olarak kurgulanan 1 km²' lik arazi içerisine 5,5 m yükseklikte kesik piramit şeklinde 80 milyon tona kadar susuzlaştırılmış şlam atığı briket şeklinde depolanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Maden atıkları, Maden atıklarının bertarafı, Maden atıklarının susuzlaştırılması.

SUMMARY

Despite its economic and social benefits, mining operations, which provide raw materials for the industry, threaten the ecosystem and cause pollution. Many physical and chemical wastes or residues are produced during mining activities, such as ore exploration, enrichment and storage. Many environmental issues arise from the irresponsible storage of sludge wastes produced in the mining industry.

Waste dams, a traditional waste storage method, have lost their reliability in recent years due to the increase in causalities. Worldwide, researchers are looking for new approaches to dehydrate and store sludge waste.

In this study, physical and chemical characterization of slurry wastes obtained from four different mine waste sites were carried out, aiming to dehydrate the slurry wastes, reduce their volume by briquetting, and store them in more contained storage areas.

Consequently, sludge wastes with moisture contents ranging from 21.36 % to 16.76 % and from 19.51 % to 34.74 %, were dehydrated with yields ranging from 73 to 80 %. Up to 80 million tons of dehydrated sludge waste can be stored in the form of briquettes in a 5,5 m high truncated pyramid in a unit km² storage area.

Keywords: AHP, Hydromorphology, Water Framework Directivity, Water Quality.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın son gününe kadar destek ve yardımını esirgemeyen, sabrı ve anlayışı ile rehberlik eden, önerileriyle yolumu açan, tez danışmanım, saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. M. Salim Öncel'e değerli rehberliği ve gösterdiği emekler için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında yardım, öneri ve destekleri için Dr. Öğr. Üyesi Meltem ÇELEN, Dr. Öğr. Üyesi Diğdem ACAREL, Öğr. Gör. Dr. Emin Ender ÇELEBİ ve Öğr. Gör. Dr. Ülker Diler KERİŞ ŞEN'e teşekkür ederim. Katkı ve önerileri için Prof. Dr. İrfan YOLCUBAL'a çok teşekkür ederim.

Bana emeği geçen Gebze Teknik Üniversitesi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsündeki tüm hocalarıma teşekkür ederim. Tez dönemim boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Y. Müh. Sinem VURAL YURTSEVER, Arş. Gör. Y. Müh. Halil N. ORUÇ, Y. Müh. Betül ÜNLÜ, Arş. Gör. Hilal OKUR ERTURAÇ ve İsmail KALAFAT'a teşekkür ederim.

Aileme, tez çalışmamın uygulama kısmında olduğu kadar hayatımdaki tüm zorluklarda arkamda duran babam Hanefi ASLAN, varlığı ve hayatımın tüm dönemlerindeki desteği ile güçlendiğim abim Zafer ASLAN'a sevgi ve en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Her zaman yanımda olup, bizim iyi ve temiz kalpli olmamızı isteyen ve bu yönde yetiştiren annem Gönül ASLAN'a sevgi ve en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Yeğenlerim Ecem ASLAN ve Gizem ASLAN'a bana vermiş olduklarına inandığım şans için ve ablam Nurcan ASLAN'a tüm destek ve hoşgörülerini için en içten teşekkürlerimi sunarım. Tüm desteği ile her zaman yanımda olan kız kardeşim H. Melike ERTUŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Sonsuza dek minnettarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
1.1.Tezin Amacı ve Kapsamı	1
1.2.Literatür Özeti	3
2.MADENCİLİK SEKTÖRÜ ATIKLARI	5
2.1.Atık Yönetimi	5
2.2.Maden Atıkları ve Yönetimi	7
2.2.1.Maden Atıkları ve Yönetimi Hakkındaki Ulusal ve Uluslararası Mevzuat	9
2.3.Madencilik Sektörü Atıklarının Çevreye Olan Etkileri	13
2.3.1.Su Kirliliği	14
2.3.2.Depolanma ve Stabilizasyon Problemi	17
2.4.Maden Sektörü Atık Bertaraf Yöntemleri	20
2.4.1.Atık Barajları	21
2.4.2.Yeraltı Ocaklarında Bertaraf Yöntemi	23
2.4.3.Nehir ve Göllere Deşarj Yöntemi ile Bertaraf	24
2.4.4.Denizaltı Depolama Yöntemi ile Bertaraf	24
3.MATERYAL ve METOT	25
3.1. Numune Hazırlama	25
3.2.Briketleme Yöntemi	27
3.3.Sertlik Deneyleri	29
4. BULGULAR	30
4.1.Malzeme Karakterizasyonu	30
4.1.1.Fiziksel Özellikler	30
4.1.2.Kimyasal Özellikler	33

4.2.Briketleme Sonuçları	35
4.2.1.Numune 1	35
4.2.2.Numune 2	37
4.2.3.Numune 3	38
4.2.4.Numune 4	40
4.3.Penetrometre Deneyi Sonuçları	41
4.4. Depolama Yönteminin Belirlenmesi	43
5.SONUÇLAR VE YORUMLAR	50
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar

Açıklamalar

AB	: Avrupa Birliği
AMD	: Asit Maden Drenajı
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Atık Yönetim Hiyerarşisi	5
2.2: Madencilik Sektöründe Üretim Aşamalarına Göre Oluşan Atık Türleri	7
2.3: Madencilik Faaliyetleri	8
2.4: Farklı Maden Sahalarına Ait İki Şlam Barajında (a, b) sette kazalarına bağlı alıcı ortama şlam deşarjı	16
2.5: Klasik Atık Barajı Örneği	22
2.6: Set Tipi Atık Barajı Örneği	23
2.7: Maden Atık Çamurların Yeraltı Ocaklarında Depolanması	24
3.1: Numunelerden Basılan Pelletlerin Görünümleri	26
3.2: WD-XRF Cihazı Görünümü	26
3.3: Briketlemede Kullanılan Hidrolik Pres Makinasının Görünümü	28
3.4: Hidrolik Pres Briket Haznesinin Görünümü	28
3.5: El Tipi Penetrometre Görünümü	29
4.1: Çalışma Kapsamında Kullanılan Dört Farklı Şlam Atığının Görünümü	30
4.2: Numune 1 Tane Boyut Dağılımı	31
4.3: Numune 2 Tane Boyut Dağılımı	31
4.4: Numune 3 Tane Boyut Dağılımı	32
4.5: Numune 4 Tane Boyut Dağılımı	32
4.6: Numune 1, 22MPa'da Preslenmiş Örneğin Üstten ve Yandan Görünümü	36
4.7: Numune 1'deki Basınca Bağlı Nem Değişimi	36
4.8: Numune 2 Preslenmiş Örneğin Üstten ve Yandan Görünümü	37
4.9: Numune 2'deki Basınca Bağlı Nem Değişimi	38
4.10: Numune 3 Preslenmiş Örneğin Üstten ve Yandan Görünümü	39
4.11: Numune 3'deki Basınca Bağlı Nem Değişimi	39
4.12: Numune 4 Preslenmiş Örneğin Üstten ve Yandan Görünümü	40
4.13: Numune 4'deki Basınca Bağlı Nem Değişimi	40
4.14: Penetrometre Ölçümleri	41

4.15: Basıncın Briket Nemine Etkisi (Numune 1, 2, 3, 4)	42
4.16: Briket Örnekleri	42
4.17: Pilot Maden Sahası 1	44
4.18: Pilot Maden Sahası 2	45
4.19: Briket Depolama Tasarımı 1	48
4.20: Briket Depolama Tasarımı 2	49

TABLULAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Atık Listesi	11-12
2.2: Madencilik endüstrisinde atık sularının alıcı ortama deşarj standartları	15
2.3: Son yıllarda gerçekleşen atık barajı kazaları	18-20
4.1: Numune 1 Elementel Analizi	33
4.2: Numune 2 Elementel Analiz	33
4.3: Numune 3 Elementel Analiz	34
4.4: Numune 4 Elementel Analizi	34

1.GİRİŞ

1.1.Tezin Amacı ve Kapsamı

Madencilik toplumların çeşitli alanlardaki hammadde ihtiyaçlarını karşılayarak yüzyıllar boyunca kurulan medeniyetlerin ekonomik kalkınmasına ve teknolojik ilerleme süreçlerine katkı sağlayan önemli bir etken olmuştur. Yerkabuğunda bulunan elementlerin çeşitli jeokimyasal olaylar sonucu bir araya gelmesiyle mineraller oluşur. Yerkabuğunda bulunan bu mineraller veya mineral topluluklarının bir araya getirdikleri taşların ekonomik olarak işletilebilir oluşumlarına da maden yatağı adı verilir. Ülkemizin jeolojik devirler boyunca çok farklı kıta oluşumu süreçleri geçirmesi ve karmaşık litolojik yapısı nedeniyle çok çeşitli ve farklı ölçeklerde maden yatakları oluşmuştur. Anadolu'da yaşayan ilk medeniyetlerden itibaren, ekonomik değeri olan bu minerallerin işletilmesi ve kazanç elde edilmesi ile maden ocakları ve işletmeleri ortaya çıkmıştır. Madencilik yeraltında bulunan cevherin çeşitli işletme yöntemleri ile açığa çıkarıldığı işlendiği ve kullanılabilir hale getirildiği çalışmaları kapsar.

Endüstriyel faaliyetler için hammadde ihtiyacını karşılayan bu sanayi kolu ekonomik ve sosyal getirilerinin yanı sıra faaliyette bulunduğu dönemde biyolojik çeşitliliğe zarar verme ve çevre kirliliği sorunlarına neden olabilmektedir. Madencilik faaliyetlerinde cevherin arama aşamasından zenginleştirme ve depolama aşamasına kadar birçok fiziksel ve kimyasal atık veya artık ortaya çıkmaktadır. Cevherin çıkarılması, zenginleştirilmesi ve depolanması sırasında katı veya şlam (sulu çamur) atıkları oluşmaktadır. TÜİK Atık İstatistikleri 2020 sonuçlarına göre maden işletmeleri toplam atık miktarı 896.448.877 ton olarak hesaplanmıştır. Maden işletmeleri atık göstergelerine göre dekapaj malzemesi/pasa hariç 27,6 milyon ton atık oluşurken dekapaj malzemesi/pasa dâhil oluşan 896,4 milyon ton toplam atığın %99,995'ini madencilik faaliyetleri atıkları oluşturmuştur. Toplam atığın %71,3'ü pasa sahalarında, atık barajlarında veya düzenli depolama tesislerinde bertaraf edildiği, %26,4'ü ocak içine geri doldurulduğu, %2,3'ü ise diğer yöntemlerle geri kazanıldığı ya da bertaraf edildiği kaydedilmiştir [1]. Diğer sektörlerle göre atık üretiminin oldukça fazla olduğu madencilik sektöründe döngüsel ekonomiye geçerek atıkların geri dönüşümünü sağlamak ekonomik kalkınma için oldukça önemlidir.

Madencilik sektöründe ortaya çıkan atıklar, ekosisteme zarar verecek özellikler taşıyabilir. Atıkların, kimyasal yapısı gereği doğal besin zincirine etki edebilir niteliktedir. Madencilik sektörünün geçmişinde atıklar denizlere, nehirlere, çaylara ve gelişigüzel maden sahalarının yakınlarına kontrolsüz bir şekilde boşaltılmıştır. Bu durumun oluşturduğu çevresel etkiler yirminci yüzyılın başlarında birçok bilim insanının dikkatini çekmiştir. Bu farkındalık sonucu maden atıkları, projelendirilmiş yerüstü atık barajlarında, yeraltından maden çıkarımı yapıldıktan sonra oluşan boşluklara jeoteknik destek sağlamak veya cevher çıkarımını kolaylaştırmak amacıyla dolgu malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Maden atıklarının bertaraf tekniklerinden bir diğeri ve günümüzde sıklıkla başvurulan yöntemi ise atık veya artıkları atık barajlarına depolamaktır. Bu depolama sistemleri uygun şekilde projelendirilmeyip, proje uygulaması sırasında işçilik için yeterli özen gösterilmediğinde depolama alanındaki yüzey ve yeraltı sularının kimyasal ve fiziksel özelliklerinde olumsuz değişikliklere neden olmaktadır. Günümüzde madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan tüm bu atıkların ve olumsuz sonuçların yasal düzenlemeler ve mühendislik çalışmaları ile önlenmesi ile ilgili yenilikçi bertaraf sistemleri tasarlanmaktadır.

Madencilik endüstrisinde işverenleri maddi açıdan en çok zorlayan çevre sorunu maden atıklarının güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi çalışmalarıdır. Maden işletmelerinin en büyük masraflarını atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilme çalışmaları oluşturmaktadır. Su içeriği fazla olan maden atıklarının atık barajlarında depolanması çevresel açıdan oldukça risklidir. Atık sahalarında bulunan şlam atıklarının geleneksel susuzlaştırma yöntemleriyle karışmış halde olduğu cevherden ayrılarak depolanması oldukça maliyetli bir yöntemdir. Bu amaçla ülkemizde vahşi madencilik sonucunda ortaya çıkan terk edilmiş maden atık sahaları ve atık barajlarının risk değerlendirmeleri yapılarak çevreye etki durumlarına göre gerekli görülen iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmada, ikisi metalik maden diğeri endüstriyel hammaddeler olmak üzere dört farklı maden atık sahasında bulunan şlam atıklarının fiziksel ve kimyasal karakterizasyonları yapılarak, şlam atıklarının susuzlaştırılması ve hacimlerinin azaltılarak daha düzenli ve çevreye en az zarar vererek depolanması amaçlanmıştır. Bununla birlikte yakın gelecekte ekonomik değer kazanabileceği aynı veya farklı sektör için hammadde olup olamayacağı konusunda görüşlere yer verilmiştir.

1.2.Literatür Özeti

Maden atıklarının susuzlaştırılması, hacim azaltılması uygun depolama yönteminin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar ulusal ve uluslararası literatüre yeni girmiştir. Literatürde daha çok arıtma tesisi çamurları ve nehir sedimentleri susuzlaştırılmıştır. Bu bölümde maden atıklarının susuzlaştırılması ve bertaraf yöntemleri ile ilgili yapılmış olan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Iritani vd. (2016), tarafından Ueda (Nagoya Şehri, Japonya) evsel atıksu arıtma tesislerinden aşırı aktif çamurun flokülant içermeyen sudan ayrılması ve sıkıştırılmış kekin elde edilebilmesi için hafif ultrasonik ön işlemden sonra ve ardından uygulanan ultra yüksek basınçlı pres önerilmiştir. Ultra yüksek basınçlı cihazda suyun kolayca alınması için ultrasonikasyon ile yumak kırılması sağlanmıştır. Çamurdan suyu uzaklaştırma yöntemleri olan termal kurutma ve yakma işlemlerine göre mekanik susuzlaştırmanın daha fazla enerji tasarrufu sağladığı kanıtlanmıştır [2].

Rao vd. (2017), tarafından yapılan çalışmada, yeni bir çamur susuzlaştırma cihazı (UHP) tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında UHP cihazının parametreleri ayarlanarak üç farklı karakterdeki çamurunun nem içeriğinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Cihaza hareketli çerçeve, kuvvet birimi, kuvvet yükseltme mekanizması, filtre aracı, pres plakası, geçirgen taş plaka, kadranlı gösterge, çelik bilye, paslanmaz çelik haznedden oluşan aparat ve alt hazne takılmıştır. Çalışmanın sonucunda, farklı karakteristiklerdeki çamur ve farklı başlangıç nem içeriğinin amaçlanan susuzlaştırma için uygun olduğu belirtilmiştir [3].

Rao vd. (2019), tarafından yapılan çalışmada farklı ön susuzlaştırma koşullarına sahip çamurların mekanik filtre presle susuzlaştırılmasında performans etkileri üzerine bir çalışma yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada, sıkıştırma basıncı, susuzlaştırma süresi, çamur kalitesi, çamur kategorisi, basınçlı mod, basınç düşüşü süresi, ön arıtma yöntemi ve nihai kek % nem içeriği, kek kalınlığı gibi parametreler arasındaki ilişkiler hem deneysel hem de teorik yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Araştırmacılar, ön arıtma yöntemlerinin çamur susuzlaştırma performansı üzerinde etkileri olduğunu kanıtlamışlardır. Mikrodalga ve donma-çözülme ön işlemleri susuzlaştırma performansı için uygunken, manyetik alan ön işlemleri susuzlaştırma için olumsuz etkileri olduğu tespit edilmiştir. Çamurun bileşimi, özellikle organik madde içeriği, çamurun nihai kek % nem içeriği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ön arıtma

yöntemlerinin susuzlaştırma performansı üzerinde bariz bir etkisi olduğu ve kekin kalınlığı doğrudan nihai kek % nem içeriği ile ilgili olduğu; çamur keki ne kadar ince olursa, nihai kek % nem içeriği 'nin o kadar düşük olacağı belirtilmiştir [4].

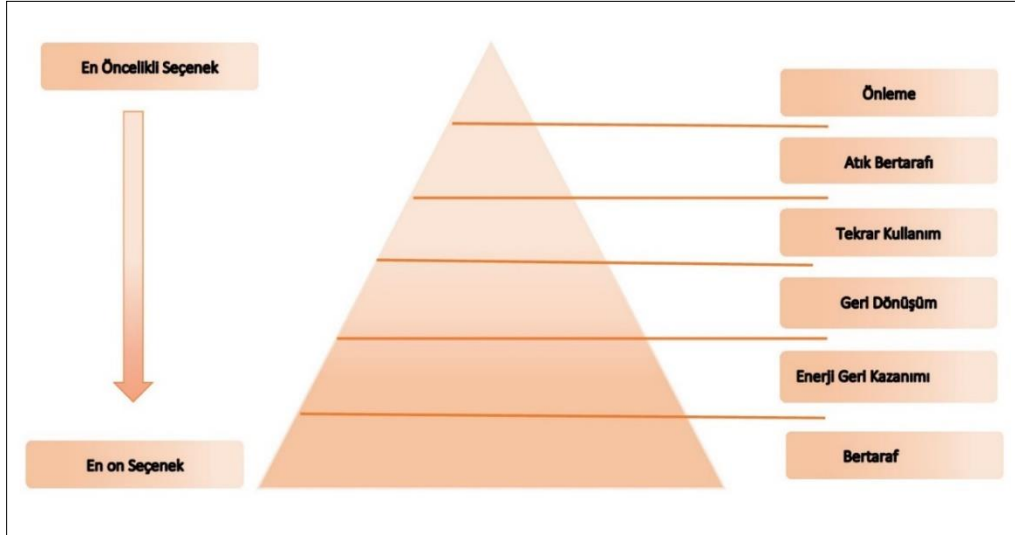
Rao vd. (2019), tarafından susuzlaştırma öncesi çamurun susuzlaştırılabilirliğini arttırmak için mikrodalga ön arıtımı önerilmiş ve bu çalışmada incelenmiştir. Çalışmada kekin nihai nem içeriği %30'un altına düşürülerek yüksek kuru değerlerde susuzlaştırma yapılmıştır. Mikrodalga ışınlamanın çamurun susuzlaştırılabilirliğini etkili bir şekilde arttırdığı ve kekin nihai nem içeriğini önemli ölçüde azalttığı yapılan deneylerle kanıtlanmıştır. Çamur bertarafı için bilimsel ve pratik bir uygulama olarak önerilmiştir [5].

Rao vd. (2021), tarafından belediye atık çamuru için üç farklı susuzlaştırma modu kullanılarak ultra yüksek basınçlı mekanik susuzlaştırma modu, sabit voltaj modu, basınçlı elektro susuzlaştırma ve sabit voltaj gradyan modu otomatik olarak uygulanmıştır. Sonuçlar sabit voltaj gradyan modu ve sabit voltaj modu tarafından çamurun nem içeriğinin %28.41 ve %27.33'e ulaştığını göstermektedir. Ancak sabit voltaj gradyan modunun enerji tüketiminin basınçlı elektro susuzlaştırmadan daha az olduğu kanıtlanmıştır. Filtrat akış hızı ve nem dağılımları analizlerine bakarak gözenek yapısının yanı sıra sabit voltaj gradyan modunun ultra yüksek basınçlı mekanik susuzlaştırmaya kıyasla daha fazla su çıkarabilir ve daha yüksek susuzlaştırma verimine sahip olduğu kanıtlanmıştır. Sonuç olarak sabit voltaj gradyan modunda daha iyi susuzlaştırma performansı ve daha az enerji tüketimi elde edildiği sonucuna varılmıştır [6].

2.MADENCİLİK SEKTÖRÜ ATIKLARI

2.1.Atık Yönetimi

Atık, 1983 tarihli 2872 sayılı Çevre Kanunu'nda "Herhangi bir faaliyet sonucunda çevreye atılan veya bırakılan zararlı maddeler" olarak tanımlanmıştır [7]. Atık yönetimi, çeşitli işlevsel unsurlar göz önüne alındığında, atıkların tanımlanması, azaltılması, depolanması, toplanması, aktarılması ve taşınması, yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi ile atıkların kurallara uygun bir şekilde arıtılması ve bertarafı ile ilgili bir disiplin olarak tanımlanabilir. Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, her yıl atıkların uygunsuz şekilde bertaraf edilmesiyle ilgili hastalıklar nedeniyle beş milyon insan hayatını kaybediyor. Atık yönetimi, halk sağlığı ve refahı, kent yaşamının kalitesi ve sürdürülebilirliği ekonominin verimliliği ve üretkenliği için önemli sonuçları olan bir görevdir [8]. Dolayısıyla atıkların üretiminden bertaraf edilmesine kadar tüm işlemleri kapsayan bu kavramın çevre ve insan sağlığına zarar vermeden gerçekleştirilmesi atık yönetiminin amacını oluşturmaktadır. Şekil 2. 1'de atık yönetim hiyerarşisi verilmiştir [9].



Şekil 2.1: Atık Yönetim Hiyerarşisi.

Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik 'de atık yönetim ilkeleri şu şekilde sıralanmaktadır [10]:

- Doğal kaynakları az kullanmak suretiyle üretim ve bertaraf aşamalarında çevreye zarar vermeyecek teknolojilerin geliştirilmesi ve bu teknolojilerin kullanılması, geri kazanım sonrasında arta kalan tehlikeli atıkların nihai bertarafı için uygun tekniklerin geliştirilmesi suretiyle atık üretiminin ve atığın zararlılığının önlenmesi ve azaltılması esastır.
- Atık üretiminden kaçınılamadığı durumlarda ise geri dönüşüm, tekrar kullanım ve ikincil hammadde elde etme amaçlı atığın geri kazanılması ve enerji kaynağı olarak kullanılması esastır.
- Atıkların türlerine göre kaynağında ayrı depolanması esastır.
- Atıkların taşıma lisanslı kişi, kurum ve kuruluşlar tarafından taşınması,
- Atıklar üretildikleri yerlerde veyahut Bakanlıktan lisans almış bir tesis tarafından geri kazanılması veya bertarafını sağlamakla yükümlüdür.
- Atıkların, atığın olduğu tesise en yakın tesiste bertaraf edilmesi veya geri kazanılması,
- Çevre dostu teknolojilerin kullanılması,
- Atık kaynaklı zararlarla ilgili sorumluluklar.

Günümüzde ve yakın gelecekte değişecek üretim şartları, değişen ihtiyaçlar atık türlerini miktarlarını hızla değiştirmekle beraber Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik çerçevesinde atığı üreten öncelikle atığı azaltmak, atığı en yakın yerde tehlikesiz hale getirmek ve atığını takip etmek yükümlülüğünü getirmiştir. Yine atık kavramı çerçevesinde, en fazla atığın üretildiği madencilik sektörü söz konusu yönetmelik çerçevesinde atıklarını, en uygun, en ekonomik ve ekosistem açısından en güvenli bertaraf yöntemlerini araştırmaktadır ve bu konuda ciddi gelişmeler olmaktadır.

2.2.Maden Atıkları ve Yönetimi

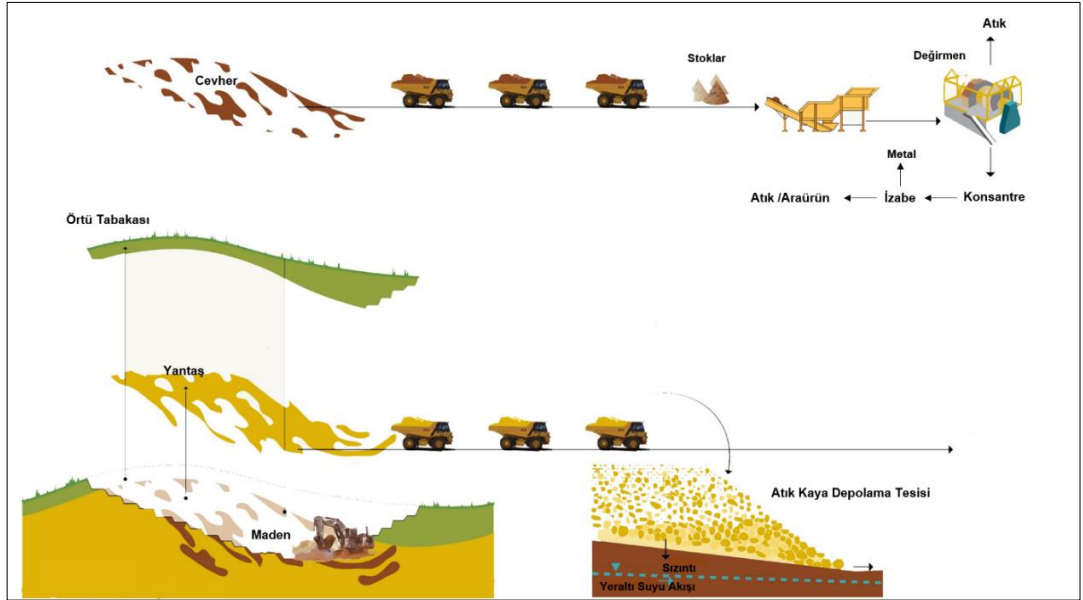
Doğal kaynakların ticari olarak işletilmesi için ilk adım olan madencilik işlemleri sırasında maden işletme yöntemine göre pek çok atık çıkmaktadır. Maden atıkları cevherin yeryüzüne çıkarılması faaliyetleri sırasında uygulanan metodun türüne göre katı atıklar, proses atıkları ve metalürjik atıklar (Şekil 2.2), çevreye verebilecekleri riskler bakımından ise inert atıklar, tehlikesiz atıklar ve tehlikeli atıklar olmak üzere sınıflandırılmaktadır [11], [12].



Şekil 2.2: Madencilik Sektöründe Üretim Aşamalarına Göre Oluşan Atık Türleri.

Madencilik sektöründeki katı atıklar yer kabuğunda bulunan değerli cevhere ulaşmak için kazılan ekonomik değer taşımayan üst örtü, yan kayaç, gang minerallerinden oluşan atıklardır. Bu atıkların içerisindeki kimyasal bileşimlere bağlı olarak gelişen kimya, metalürji, cevher hazırlama gibi bilim dallarının yakın gelecekte ekonomik olarak işletilebilir değere sahip olabilecek cevherlerde bulunabilmektedir. Cevher zenginleştirme işlemleri sırasında ortaya çıkan değerli bileşenler içermeyen proses atıkları genellikle kum ve kil boyutunda olup prosesten sulu çamur şeklinde uzaklaştırılır. Bu atık madencilik sektöründe şlam olarak isimlendirilir. Çoğunlukla altın, gümüş, uranyum ve fosfat madenlerinde hidrometalürjik yöntemlerle zenginleştirme prosesleri tercih edilmekte ve sonuç olarak metalürjik atık malzemeleri ortaya çıkmaktadır [11]. Hidrometalürjik atık türleri çok yüksek oranlarda sıvı (solventler, siyanür, asit, liç çözeltileri vb.) içerse de taşımış olduğu çoğu zaman 1-100

mikron arasında değişen katı malzemelerde taşımaktadır. Bu bağlamda yukarıda bahsedilen sıvılar proste tekrar kazanılarak kullanılmakta mikron boyutundaki hidrometalurjik atıkları ise devasa boyutlardaki atık barajlarında depolanmaktadır. Madencilik atıkları türlerine göre genellikle maden sahasına yakın olarak planlanan atık barajlarında ve benzer mühendislik yapılarında depolanmaktadır. Depolanmış atıklarda atığın kimyasal ve mineralojik özelliklerine bağlı olarak zamanın, oksijenin, nemin ve bir takım biyolojik faaliyetlerin bir fonksiyonu olarak bir takım kimyasal reaksiyonlar gerçekleşebilmektedir (Şekil 2.3), [13]. Özellikle sülfürlü mineraller atık maden sahaslarında yukarıda değinilen şartlar altında asidik deşarj oluşumuna sebep olmaktadır. Asidik karakterli metal ve sülfatça zengin olan bu sular asit maden drenajlarının oluşmasına ve birçok çevresel soruna sebep olmaktadır [14].



Şekil 2.3: Madencilik Faaliyetleri.

Maden atıkları gerekli bertaraf çalışmaları yapılmaksızın çevreye bırakıldığında çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturur [15]. Özellikle proses ve metalurjik atıklarının gerekli mühendislik çalışmaları yapılmadan depolanması cezai müeyyideler yanında sahasının rehabilitasyonu için yüksek tutarlı ek harcamalara ve tehlikeli boyutlardaki çevresel risklere sebep olmaktadır [16], [17]. Geçmişte yapılan vahşi madencilik sırasında madencilik atıklarının çok sık deniz göl ve akarsu gibi alıcı ortamlara bırakılması söz konusuysen günümüzde maden atıklarını yönetmek için belirlenmiş birçok seçenek mevcuttur. En yaygın yöntemler şunlardır [18], [19] :

- Atık barajlarında dolgu malzemesi olarak pasaların kullanılması,
- Atıkların su içeriklerinin en aza indirgenerek yahut susuzlandırılarak depolanması,
- Yeraltı madenciliğinde cevher alındıktan sonra oluşan boşluklara artık ve pasaların çimentolu ya da çimentosuz olarak depolanması.

Maden atıkları üretimi yapılan cevherin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Sağlıklı bir atık yönetimi planlaması yapabilmek için atığın fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri mutlaka belirlenmelidir. Çevresel açıdan risk oluşturma ihtimali bulunan atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi ve mühendislik tasarımı yapılarak depolanması gerekir. Bu sebeple atıkların bertaraf edilmesi ve depolanması için doğru tanımlama yapılması ve sınıflandırılması ciddiyle yaklaşılması gereken bir konudur [20], [21].

Maliyet, çevresel etki düzeyi ve depolanan malzemenin duraylılık riski olmak üzere bu üç temel faktöre bağlı olarak atıkların bertaraf edilmesi ve depolanabilmesinde doğru yöntem seçilebilir. Seçilen yöntemin uygulanması çeşitli maden ve çevre mevzuatları doğrultusunda gerçekleştirilebilir.

2.2.1.Maden Atıkları ve Yönetimi Hakkındaki Ulusal ve Uluslararası Mevzuat

Ülkemizde maden mevzuatı madencilik politikalarını, maden haklarının alımını ve satımını ve kullanımı düzenleyen metinler olup ülkemizde maden atıkları ile ilgili ilk yasal düzenleme 2015 yılında yapılmıştır. Maden atıkları bu yönetmeliğe tabii tutulana kadar maden işletmelerinde Atıkların Düzenli Depolanmasına ilişkin yönetmelik hükümlerine uyulmaktaydı. Avrupa Birliği'nin 2006/21/EC sayılı Maden Atıklarının Yönetimi Direktifi ile ülkemizde Maden Atıklarının Yönetimi ile ilgili çalışmalar yapılmış "Maden Atıkları Yönetmeliği Taslağı" 13.08.2014 tarihinde duyurulmuştur. Çalışmaların sonucunda ise "Maden Atıkları Yönetmeliği" 15 Temmuz 2015 tarihinde 29417 sayılı Resmî Gazete' de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikte;

- Maden Atığı; madenlerin aranması, çıkarılması, hazırlanması ve zenginleştirilmesi, depolanması sonucunda oluşan katı ve şlam/sulu çamur şeklinde ki malzemeler,

-Atık Barajı; maden zenginleştirme işlemleri sonucunda ortaya çıkan atıkların depolanması için inşa edilen sedde ve arkasında bir rezervuar oluşturan mühendislik yapısı,

-Sızıntı Suyu; depolanmış maden atıklarından kaynaklanarak süzülen her türlü sıvı olarak tanımlanmaktadır.

Maden atıkları yönetmeliğinin başlıca esasları aşağıdaki gibidir:

-Atık yönetim planı uygulanması,

-Maden atık bertaraf tesislerinin tanımı, maden atıklarının karakterizasyonu ve risk analizine göre tesis sınıflandırılması,

-Maden atık depolama tesislerinin geçirimsizlik sistemi, tesis kapatma işlemleri,

-Çevre izin ve lisans süreci,

-Maden atık bertaraf tesislerinin çevresel izlemesi, acil eylem planı, mali teminat,

-Çeşitli ve son hükümler (sondaj çamurları, geçici depolama, inert atıklar, kazı boşluklarının doldurulması/macun dolgu).

Ülkemizde maden işletmeleri ve ortaya çıkan maden atıkları, yürürlükte olan ve aşağıda listesi verilen kanun ve yönetmeliklere doğrudan veya dolaylı olarak tabidir [22]. Bu kanun ve yönetmelikler aşağıdaki gibidir:

-Maden Atıkları Yönetmeliği (2015)

-Çevre Kanunu (1983)

-Maden Kanunu (1985 ve 2015)

-ÇED Yönetmeliği (2014)

-Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (2005)

-Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2004)

-Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2001)

-Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (2008)

-Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (2010)

-Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği (2010)

-Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği (2011)

-Diğer ilgili mevzuat (Su Ürünleri Kanunu (1971) ve Su Ürünleri Yönetmeliği (1995)).

Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğine (AYGEİY, 2008) göre:

Madencilik atıkları “Q11 kodu ile hammadde çıkarılması ve işlenmesinden kaynaklanan kalıntılar (örneğin, petrol sahası sloopları, madencilik atıkları ve benzeri)” olarak tanımlanmaktadır. Ek-IV’ te atık listesi tablosunda 1. Sırada madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıklar türlerine göre ayrılmaktadır. Tablo 2. 1’de verilen Atık Listesinde (A) işaretli atıklar, tehlikeli atık konsantrasyonuna bakılmaksızın tehlikeli atık sınıfına girmektedir. (M) işaretli atıkların tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılacak çalışmalarda, tehlike arz edebilecek oluşumların konsantrasyon değerleri esas alınarak yapılır. Bununla birlikte maden atıkları çevreye verebilecekleri riskler açısından; “tehlikeli”, “tehlikesiz” ve “inert” atıklar olarak üçe ayrılır [23], [24].

Tablo 2. 1: Atık Listesi.

ATIK KODU	ATIK KODU TANIMI	AÇIKLAMA
01	Madenlerin aranması, çıkarılması, işletilmesi, fiziki ve kimyasal işleme tabi tutulması sırasında ortaya çıkan atıklar.	
01 01	Maden kazılarından kaynaklanan atıklar	
01 01 01	Metalik maden kazılarından kaynaklanan atıklar	
01 02	Metalik olmayan maden kazılarından kaynaklanan atıklar	
01 03	Metalik minerallerin fiziki ve kimyasal olarak işlenmesinden 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	

Tablo 2. 1: Atık Listesi (Devam).

01 04	Metalik olmayan minerallerin fiziki ve kimyasal işlemlerinden kaynaklanan atıklar	
01 04 07*	Metalik olmayan minerallerin fiziki ve kimyasal işlenmesinden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren atıklar	M
01 04 08	01 04 07 Dışındaki atık kaya ve çakıl taşı atıkları	
01 04 09	Atık kum ve killler	
01 04 10	01 04 07 dışındaki tozumsu ve pudramsı atıklar	
01 04 11	01 04 07 dışındaki potas ve kaya tuzu işlemlerinden 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	

AB Müktesebat Rehberi'nde [25] atık yönetimi hakkında aşağıdaki hususlar vurgulanmaktadır:

Atıkların çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması veya azaltılması son otuz yıl içinde gerçekleştirilen eylem planları ve mevzuatlar yardımı ile Avrupa Birliği (AB)'nde oldukça düzenlenmiş bir çerçeveye dayanmaktadır.

AB politikasında atıkların yönetiminin beş ana hedefi vardır. Bunlar:

- Çevre dostu ve daha az atık üreten teknolojilerle dönüşümü mümkün olan ürünler üreterek atık oluşumunu engellemek,
- Atıkların başka bir proste hammadde olarak yeniden kullanım ve geri kazanımının teşvik edilmesi,
- Avrupa düzeyinde belirlenmiş olan çevre standartlarına uyularak atık bertarafının düzenlenmesi ve iyileştirilmesi,

- Tehlikeli madde taşınması ile ilgili hükümlerin sıkılaştırılması,
- Atık ve kirliliğe maruz kalmış arazilerin ıslah çalışmalarının titizlikle yürütülmesi.

2.3.Madencilik Sektörü Atıklarının Çevreye Olan Etkileri

Madencilikte, etüd ve aramadan başlayarak cevherin endüstriyel işlemler sonrası satışa sunulması aşamasına kadar birçok atık çıkmaktadır ve buna bağlı olarak da birçok çevre problemleri ile karşılaşılabilir.

Bir maden sahası için yapılan etüdüler aşama aşama detaylandırılarak ilerlenir ve sadece iyi bir plan ve denetim yapılarak etkilenen arazi ve çıkan atıklar minimum seviyede tutulabilir [25]. Hazırlık ve işletme aşamaları genellikle kazı malzemelerinin depolama bölgelerine yığılması, yapı malzemelerinin nakliyesinden dolayı gürültü ve toz üretimi, ekipmanlardan dolayı egzoz emisyonu başlıca olmak üzere çevreye kalıcı etkileri vardır.

Yapılan etüdüler bitiminde işletmenin açık veya kapalı ocak şeklinde işletilmesine karar verilir. Açık ocak işletmeciliğinde arazi görünümü değişikliğe uğrar ve işletme alanındaki bitki örtüsü ortadan kaldırılır. Dekapaj ve üretim için yapılan patlatmalar toz ve gürültü kirliliğine sebep olurken, üretim sırasında ocakta biriken suyun drenajı akarsu ve toprak kirliliğine yol açabilir, yeraltı suyu seviyesi düşebilir, pasa ve cevherin kimyasal yapısından kaynaklı asidik sular oluşabilir. İşletme sonrasında arazinin eski topografyasına döndürülmesi neredeyse olanaksızdır [26].

Yeraltı ocak işletmeciliğinde yeraltı boşluklarından kaynaklı tasman hareketleri oluşumundan dolayı yeryüzündeki bina ve yollarda hasarlar meydana gelebilir. Açık işletmelerde olduğu gibi yeraltı işletmelerinde de suyun drenajından dolayı yüzey sularında ve toprakta kirlilikler oluşabilir, yeraltı su seviyesi düşebilir. Topografyanın bozulması açısından açık ocak madenciliğinin yer altı madenciliğine göre daha çok çevresel etkileri vardır [27].

Madenlerin üretiminin yapıldığı sahalarda bazı stabilite problemleri olan sahalarda stok alanlarına ve atık barajlarına uzak konumdadırlar. Bu nedenle madenin üretildiği yerden bu alanlara taşınması sırasında yükleme ve boşaltma işlemleri sebebiyle toz oluşumundan dolayı hava kirliliği, gürültü kirliliği, trafik ve güvenlik problemleri sık sık karşılaşılan sorunlardandır [27].

2.3.1.Su Kirliliği

Madencilik faaliyetlerinin her aşamasında atık yönetimi için önleyici, sürdürülebilir, doğru ve yeterli tedbirler alınmadığı sürece su kirliliği kaçınılmaz bir sonuç olarak karşımıza çıkacaktır. Kirlilik, yüzey sularıyla taşınabileceği gibi sızma ve süzülme yollarıyla yeraltı sularına karışarak taşınabilir. Suların devamlı hareket halinde olması su kirliliğinin başlıca sebebidir.

Su kirliliğine sebep olarak akla gelen bir diğer etmen ise ağır metallerdir. Ağır metaller periyodik cetvelin üç veya daha yüksek periyodunda yer alan yoğunluğu 5 g/cm³'ten yüksek olan metallerdir. Kurşun, krom, kadmiyum, bakır, nikel, civa, çinko, demir başta olmak üzere 60'dan fazla metal bu gruba dâhildir. Sulara taşınan ağır metaller seyreterek kısmen karbonat, sülfür ve sülfat şeklinde katı bileşikler oluştururlar. Sediment tabakasının adsorpsiyon kapasitesi sınırlı olması sebebiyle suların ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselir. Ülkemizde 2004 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından çıkarılan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde maden sanayisinde arıtma yapılmaksızın alıcı ortama deşarj standardı Tablo 2.2 de verilmiştir [28].

Tablo 2. 2: Madencilik endüstrisinde atık sularının alıcı ortama deşarj standartları.

Parametre	Birim	Kompozit Numune (2 Saatlik)	Kompozit Numune (24 saatlik)
Kurşun (Pb)	(mg/L)	0.5	-
Toplam Siyanür (CN ⁻)	(mg/L)	0.1	-
Demir (Fe)	(mg/L)	3	-
Çinko (Zn)	(mg/L)	3	-
Serbest Kükürt (S)	(mg/L)	15	10
Civa (Hg)	(mg/L)	-	0.05
Kadmiyum (Cd)	(mg/L)	-	0,2
Bakır (Cu)	(mg/L)	5	3
Toplam Krom	(mg/L)	2	1
pH	-	6-9	6-9

Tablo 2.2'de görüldüğü üzere alıcı ortama deşarj edilen atık suyu pH değerinin 6 ile 9 arasında olması istenmektedir. Madenlerde drenaj sularının pH değerleri kuvvetli asitten kuvvetli baza kadar geniş bir aralıkta değişiklik göstermektedir. pH değerinin önemi ise metal çözünürlükleriyle alakalıdır. Metallerin asitli ortamda

çözünürlükleri artmaktadır [29]. Drenaj sularındaki minerallerin asitli ortamda reaksiyonları sonucu alıcı ortamda metal konsantrasyonu artar ve su toksik hale gelebilir. Fe, Mn ve Al başta olmak üzere Ca, Mg, Cu, Pb, Zn, Co, As ve Cd gibi metal ve ağır metal iyonları çözeltiye geçmektedir [30].

Madencilik faaliyetleri sonucunda görülen su kirliliğinin en önemli sebeplerinden bir diğeri ise asit maden drenajı (AMD) oluşumu veya oluşum riskidir. Asit maden drenajı terkedilmiş veya aktif madenlerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileşimler sonucu meydana gelen bir kirliliktir [31]. Şlam atıklarının sülfür minerallerince zengin olması ve sülfür minerallerinin doygun olmayan vadoz zon içerisinde atmosferik veya çözünmüş oksijen ile etkileşimi AMD oluşumuna neden olmaktadır [10]. AMD oluşum kaynakları ise kayaç yığınları, atık barajlarına terk edilmiş olan şlam atıkları, pirit konsantresi stokları, açık veya kapalı maden işletmeleridir. Asit maden drenajı sadece bu alanlarda değil yüzey akıntıları, sızıntı ve drenaj yoluyla yeraltı ve yerüstü sularına da karışır [32]. Asit maden drenajları düşük pH karakteristiğine sahip, yüksek konsantrasyonlarda sülfat iyonları ve çok yüksek değerlerde çözünmüş demir ve çinko gibi metal konsantrasyonlarına sahiptir. Asit maden drenajlarının toksik etkisi nehir ve göl ekosistemlerinde kalıcı hasara sebep olmaktadır. Su sistemlerinin birbiriyle bağlantılı olması sebebiyle bu ağır metaller sadece drenaj yerinin yakınındaki bölgelerde değil uzaktaki su kütlelerini de etkiler [31]. AMD, yeraltısularının kirlenmesine sebep olarak tarımsal ve diğer kullanım amaçları için uygunsuz hale getirebilir. Su da yaşayan canlıların ölümüne sebep olur. Bu kirleticiyi azaltmak için sürdürülebilir ve uygun maliyetli çalışmalar yapılmaktadır. Atık yönetim hiyerarşisinin ilk adımı olan önleme çalışmaları ile maden atıklarının susuzlaştırılarak bertaraf edilmesi sağlanmalıdır. Ulusal ve uluslararası medyada sık sık şlam havuzlarındaki göçme ve kaymalara bağlı kazalar (Şekil 2.4) sonucu toksik özelliğe sahip şlamın ekosistem üzerinde büyük tahribatlara neden olduğu görülmektedir [33].



Şekil 2.4: Atık Barajı Taşkın Örnekleri. a) Macaristan, b) Giresun.

Bu çalışmanın tez konusunu oluşturan çeşitli sektörlere ait şlam atıklarının susuzlaştırılması çok sık karşılaşılan şlam barajlarındaki, göletlerindeki kazalar, prosesten atık barajına şlam taşıyan hatlardaki kazalar gibi istenmeyen durumlarda karmaşık kimyasal yapıya sahip atıkların alıcı ortama ulaşmasını önleyecek çözümler niteliğindedir.

2.3.2. Depolanma ve Stabilizasyon Problemi

Maden metalürjisi sektöründeki teknolojik gelişmeler, geçmişte ekonomik olmayan düşük tenörlü maden sahalarından da üretim yapılmasını mümkün kılmıştır. Bu teknolojiye cevher boyutunun küçültülmesi ile üretilmesi planlanan madenin verimi çok artmıştır. Fakat bu durum çok ince tane boyutlarında atık malzemelerinin artmasına neden olmuştur [34]. Bu ince taneli şlam atıkları yüksek oranda su içeren çamur (pülpte katı oranı %20-35) şeklinde maden atık barajlarında depolanır. İyi inşa edilmemiş baraj seddeleri, şlam atıkları ile gelen suyun basıncına maruz kaldıkları zaman sedde yıkılması ile çevre felaketine sebep olabilecek çamur akışlarına sebep olabilirler. Atıkların nereye ve nasıl depolanacağı kadar depolama alanlarının duraylılığı ve emniyeti de önemlidir [35]. Maden atık barajlarındaki stabilite sorunu son 30 yılda ciddi boyutlarda can ve mal kaybına yol açmış, çevresel felaketlere neden olmuştur.

Madencilikle alakalı olan kazaların dörtte üçünü maden atık barajlarında olan kazalar oluşturmaktadır. Atık barajlarında görülen kazaların en sık nedenleri stabilite problemleri, aşırı yağış ve sızıntıdır [36]. Ülkemizde ve dünyada meydana gelen son yıllardaki maden atık baraj kazalarından bazıları Tablo 2. 3'de verilmiştir [37].

Tablo 2.3: Son yıllarda gerçekleşen atık barajı kazaları.

Tarih	Yer	Cevher Tipi	Kazanın Türü	Sonuçları
21.06.2022	İliç, Refahiye Erzincan	Altın	Siyanür içerikli solüsyon taşıyan boru hatlarında meydana gelen arıza	-Gerekli inceleme değerlendirme Çevre, Şehircilik İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından sürdürülmektedir.
27.03.2022	Wenquan Kasabası, Jiaokou İlçesi, Shanxi Eyaleti, Çin	Boksit	Atık barajı kazası	-0,5 hektar orman arazi yok oldu.Bitişik işletmelerin duvarları yıkıldı.
20.01.2022	Banjhiberana köyü, Thelkoloi bölgesi, Sambalpur bölgesi, Odisha (eski adıyla Orissa), Hindistan	Demir	Atık barajı istinat duvarının çökmesi	-20 dönümlük tarım arazisi şlam atıklarıyla doldu. İki gölet kirlenerek balık ölümlerine sebep oldu. Bir güvenlik görevlisi çamur selinin altında kayboldu.
18.11.2021	Yedikardeş köyü, Giresun'un Şebinkarahisar ilçesi, Türkiye	Kurşun, çinko	Atık barajının çökmesi	-Ağır metaller ve kimyasallarla dolu 4500 tonluk şlam atıkları Kılıçkaya Barajına ulaştı.

Tablo 2.3: Son yıllarda gerçekleşen atık barajı kazaları (Devam).

Tarih	Yer	Cevher Tipi	Kazanın Türü	Sonuçları
28.03.2020	Tieli, Yichun Şehri, Heilongjiang Eyaleti, Çin	Molibden	Atık barajındaki drenaj tünellerinden atıkların salınması	-Atıklar 3km ilerideki Yijimi nehrine ulaşarak Tieli Şehrindeki 68.000 kişinin içme suyu kaynağını tehdit etti; 4 Nisan'a kadar kirlilik 208 km akış aşağısına ulaştı.
25.01.2019	Córrego de Feijão madeni, Brumadinho, Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brezilya	Demir	Atık barajının çökmesi	-Çamur seli 7 km ilerleyerek şehre indi. -259 kişi öldü. -11 kişi kayıp.
03.03.2018	Huancapetí (Huancapetí), Recuay eyaleti, Áncash bölgesi, Peru		Şiddetli yağmur sonrası atık barajı istinat duvarının çökmesi	-Kaza sonucunda tarım arazisi zarar gördü.
04.08.2018	Mount Polley madeni, British Columbia, Kanada	Bakır	Temel yetersizlik nedeniyle atık barajının yıkılması.	-7,3 milyon m ³ atık Hazeltine Deresine karışmıştır.
12.03.2017	Tonglvshan Madeni, Hubei eyaleti, Çin	Bakır	Baraj çökmesi	-Atıklar 27 hektarlık bir alana yayıldı. -İki kişi hayatını kaybetti.
08.08.2016	Dahegou Köyü, Luoyang, Henan Eyaleti, Çin	Boksit	Baraj çökmesi	-AMD'li atık çamuru 300 kişilik bir köyün boşaltılmasına sebep oldu.

Tablo 2.3: Son yıllarda gerçekleşen atık barajı kazaları (Devam).

Tarih	Yer	Cevher Tipi	Kazanın Türü	Sonuçları
05.11.2015	Germano madeni, Bento Rodrigues, distrito de Mariana, Região Central, Minas Gerais, Brezilya	Demir	Deprem sonrası baraj çökmesi	-Çamur seli bir kasabayı sular altında bıraktı. -158 ev yıkıldı, 17 kişi öldü. -6,7 milyar dolarlık zarar oluştu.
09.04.2011	Gümüşköy, Kütahya	Gümüş	Atık barajı sedde yıkılması	

Maden atık barajlarındaki duraysızlık problemleri başta sedde inşası olmak üzere, kayaçların mekanik özellikleri, jeolojik ve tektonik yapısı su, iklim koşulları, bitki örtüsü, aşırı yüklere ve yer çekimi kuvvetine bağlıdır. Tüm bunlar inşa edilen yapıların yenilmelerine neden olup çevreye ve insan yaşamına zarar vermektedir.

2.4.Maden Sektörü Atık Bertaraf Yöntemleri

Madencilik teknolojisindeki ilerlemeler ve hammaddeler için artan talep maden atıklarının tekrar işlenmesine ve daha fazla kaynağın çıkarılmasına olanak tanır. Düşük tenör değerine sahip bir madenin işletilmesinin karlı olabilmesi için büyük ölçekli madencilik faaliyetleri gerekir bu faaliyetler sonucunda oluşan atık hacmi de fazladır. Maden atıklarından olan şlam atıkları, cevher zenginleştirme işlemleri sonucunda içerisinde ince taneli parçacıklar ve kimyasalların yer aldığı katı ve sıvı fazın birlikte yer aldığı atıklardır. Maden atıkları aşağıda belirtildiği gibi belirli amaçlar doğrultusunda bertaraf edilmektedir [27] :

-Yeniden Kullanım: Cevher kütleleri genellikle birden çok mineral içerir. Yan ürün olarak çıkan birçok ürün başka bir proseste hammadde olarak kullanılabilir. Atıkların bu gibi durumlarda değerlendirilmeye olanak sağlayacak bir şekilde bertaraf edilmesi gerekir. Örnek olarak birçok hidrotermal cevherleşme de yaygın olarak görülen pirit (FeS_2) sülfirik asit üretiminde önemli hammaddelerden birisidir.

-Tecrit: Atıkların doğrudan veya bir etkileşim sonucu toksik etkiler oluşturması söz konusu ise tecrit edilmeleri gerekir. Örnek olarak birçok maden yatağında permeabilitesi ve porozitesi çok düşük olan killi formasyonlar tecrit için kullanılabilir.

-Katı-Sıvı Ayrımı: Su oranı fazla olan atıkların gravite etkisi ile askıdaki katı maddelerin çöktürülerek susuzlaştırılıp bertaraf edilebilir.

-Dolgu Malzemesi: Son yıllarda madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlanan değişik boyutlardaki maden atıklarının gerekli testler yapıldıktan sonra madencilik faaliyetleri sırasında çevre düzenlemesi için veya yeraltı maden işletmelerinde tahkimat için dolgu malzemesi olarak kullanılabilir.

-Kimyasal Tepkime: Özellikle karbonatlı bileşime sahip atıklar ağır metal çöktürme, siyanür parçalama ve asit maden drenajlarının nötrleşmesi gibi uygulamalarda kullanılabilir.

Madencilik faaliyetleri sonucu oluşan tüm atıkların bertarafında atığın türü, uygulanan yöntem, atığın yeri, yerleşimi ve su deşarjı oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bu parametreler dikkate alınarak atıklar yerüstü atık barajlarına, işletilmesi bitmiş yeraltı maden ocaklarına, denizaltına depolanarak veya nehir ve göllere deşarj edilerek bertaraf edilir.

2.4.1. Atık Barajları

Maden atıklarından olan şlam atıklarının % 99,4'ü yerüstü atık barajlarında ve sadece %0,6'sı deniz ortamında depolanmaktadır. Atık barajı bertarafı katı, sıvı, katı-sıvı fazlarında atıklar için kullanılabilen bir yöntemdir. Geleneksel atık barajı bertarafı en yaygın kullanılan atık bertaraf yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bazı durumlarda atıklar işletilmesi tamamlanmış açık maden ocaklarına da depolanabilmektedir. Atık barajları kendi içerisinde klasik barajlar ve setler olmak üzere ikiye ayrılır [38], [39].

-Klasik Baraj Tipi

Yüksek hacimlerdeki suyun ve maden atıklarının depolandığı genellikle vadilerde (Şekil 2.5) uygulanan baraj tipidir [40].



Şekil 2.5: Klasik Atık Barajı Örneği (Kanada).

-Set Tipi Barajlar

Genellikle düz topografyalarda uygulanır ve atıkların etrafı birkaç metrelik bir dolgu seti çevrilir. Avantajlı yönü olarak setlerin tam kapasite hesaplanarak inşa edilmesine gerek olmamasıdır. Atık barajının kapasitesi doldukça genelde setler yükseltilerek daha fazla atık depolanması sağlanır.

Dünya genelinde Uluslararası Büyük Barajlar Komitesi (ICOLD) tarafından takip edilen 3500 adet atık barajı olmakla birlikte yapılan vahşi madencilik sebebiyle kayıtsız 18000 atık barajı olduğu düşünülmektedir [35], [41]. Atık barajlarının yüksekliği 20-45 m ve ulaşabileceği en yüksek hacim $2,5 \times 10^8$ - $3,5 \times 10^8$ m³ olduğundan atık barajı arızalarının sonuçları ekonomik, çevre ve insan güvenliği açısından öngörülemez boyutlarda olabilmektedir [42]. Son yüzyılda atık barajlarının yıkılma oranı %1,2 olduğu ancak bu rakamın eksik ve yanlış kaynaklardan alınan bilgilerden hesaplandığı için yıkılma sayısının sadece bir alt kümesinin oranını temsil etmektedir [43]. Atık barajları doğal çevreyi korumak ve atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi için inşa edilmiş olmasına rağmen son yüzyıllarda atık barajlarındaki kazaların artışı yeni bertaraf yöntemleri arayışına neden olmuştur. Şekil 2. 6'de atık barajı bertarafına örnek resim verilmiştir [44].



Şekil 2.6: Set Tipi Atık Barajı Örneği (Brezilya).

2.4.2. Yeraltı Ocaklarında Bertaraf Yöntemi

Maden atıklarının bertaraf edilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri de üretimi tamamlanmış yeraltı maden ocaklarına atıkların doldurulmasıdır. Yeraltından madeni çıkardıktan sonra oluşan boşluklar yüzeyde çöküntüye ve kaymalara neden olabilir. Hem bu çöküntülerin önlenmesi hem de yeraltı maden ocağında üretimi tamamlanmış boşluklara çalışanların güvenliğini sağlamak için tahkimat olarak maden atıkları doldurulabilmektedir [32]. Şlam atıkları basınçlı filtre ile susuzlaştırıldıktan sonra çimento gibi bağlayıcı maddelerle karıştırılarak yer altındaki boşluklara pompalanır. Hem yeraltında tahkimatı sağlaması hem de atıkların bertaraf edilmesini sağladığı için başarıyla uygulanmaktadır. Şekil 2.7’de atık çamurların yeraltı ocaklarında depolanmasına örnek bir resim verilmiştir [32].



Şekil 2.7: Maden Atık Çamurların Yeraltı Ocaklarında Depolanması.

2.4.3.Nehir ve Göllere Deşarj Yöntemi ile Bertaraf

Günümüzde çevresel duyarlılığın ve vahşi madencilığe karşı tepkilerin artması ile terkedilen bir bertaraf yöntemidir. Nehir ve göller büyük hacimlere sahip olmadığı için bünyelerinde özümseyebilecekleri atık miktarı oldukça sınırlıdır. Bu yöntem nehir kenarlarında birikim oluşturması ve kirliliği uzak noktalara taşınması sebebi ile tercih edilmemektedir. Ayrıca şlam atıklarının yüksek toksik özellikte olması bu yöntemin kullanılmasını oldukça sınırlamaktadır [32].

2.4.4.Denizaltı Depolama Yöntemi ile Bertaraf

Şlam atıklarının denize deşarj edilmesi madencilığın ilk dönemlerinden itibaren uygulanmıştır. Özellikle denizin yakın ve derin, yağışın çok ve buharlaşmanın az, yerüstü atık bertaraf yöntemlerinin riskli olduğu bölgelerde atıkların deniz kıyısından uzaktaki derin zonlara bırakılması şeklinde uygulanır [27]. Şlam atıklarının denizlerin sığ zonlarına plansız bir şekilde deşarj edilmesi sebebiyle kıyısız bölgelerde kirliliğe ve deniz canlılarının ölümlerine sebep olduğu için 1970 yılından itibaren boru hatlarıyla derin zonlara deşarjlar yapılmaya başlanmıştır [45]. Şlam atıklarının daha derinlere depolanmasını sağlamak için, deşarj noktasının konumu deşarj hattından çıkan atık çamurun istenilen tabana ulaşana kadar sabit bir yoğunluk akıntısı oluşturacak ve minimum yayılımı sağlayacak yerde olmalıdır. Denizaltı kanyonlarının bu tip derin denizaltı depolamaları için uygun olduğu düşünülmektedir [35].

3.MATERYAL ve METOT

Bu çalışma farklı maden atık barajından alınan şlam atıklarının susuzlaştırılarak yenilikçi bir depolama sisteminin araştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla dört farklı maden atık sahasından numuneler alınmıştır.

Çalışma kapsamında atık malzemelerinin tane boyut dağılımı, Malvern marka Praticul Sizer cihazı ile belirlenmiştir.

Bu çalışmada atık malzemelerinin element içeriği, duyarlılığı yüksek olan WD-XRF yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Böylece atık malzemedeki çevresel açıdan risk oluşturabilecek element ve oranları tespit edilmiştir.

Şlam atıklarının susuzlaştırılarak ve boyut kazandırılarak depolanabilmesi amacıyla briketleme deneyleri yapılmıştır. Briketleme deneyleri için 20,5x10,5x23 cm boyutlarda paslanmaz çelikten yapılmış dikdörtgenler prizması şeklinde haznesi olan hidrolik presten yararlanılmıştır.

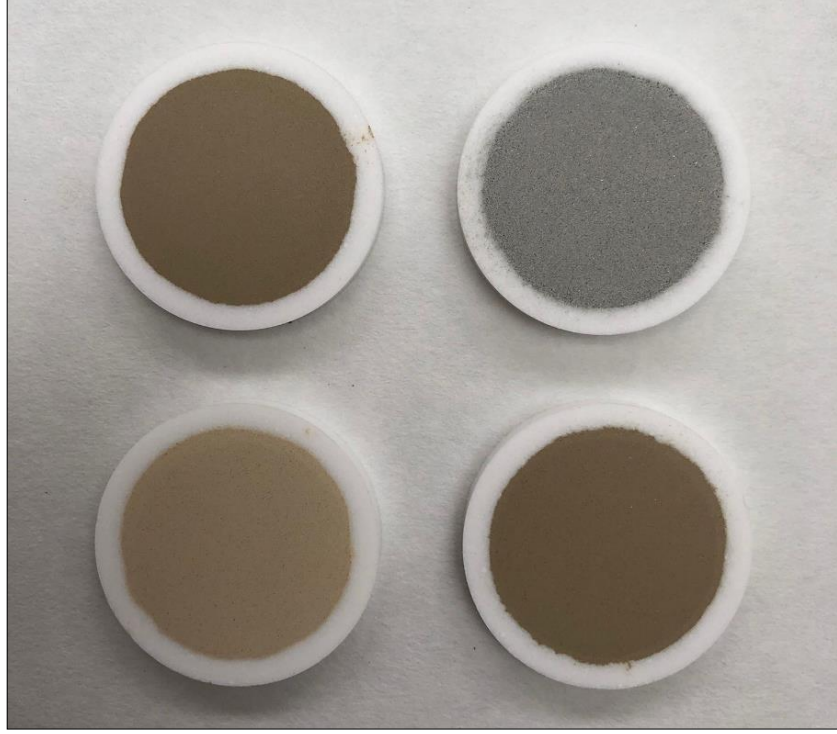
3.1. Numune Hazırlama

Nem tayini analizi için numunelerin doğal ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür. Ardından tartılan numuneler 105°C sıcaklığa sahip etüvde 24 saat bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan numunelerin kuru ağırlıkları tartılmıştır. Böylelikle yüzde cinsinden örneklerin nem miktarı saptanmıştır.

Tane boyutu analizi için kuru elek yöntemi kullanılmıştır. 0,063 mm açıklığa sahip ekte elenen numunelerin elek altı boyutu, Malvern marka Praticul Sizer cihazı ile ölçülmüştür.

XRF analizi için örnek hazırlanırken numunelerin tane boyu çeneli kırıcıda 30 mikron altına öğütülmüştür. Sonrasında pellet presinde basılan numuneler WD-XRF cihazında ölçülmüştür (Şekil 3.1, 3.2).

Hidrolik pres için numunelere herhangi bir ön kurutma veya kimyasal konulmamıştır. Atık sahasından alınan numuneler tartılarak hidrolik pres boşaltım aksamına konulmuştur.



Şekil 3.1: Numunelerden Basılan Pelletlerin Görünümleri.



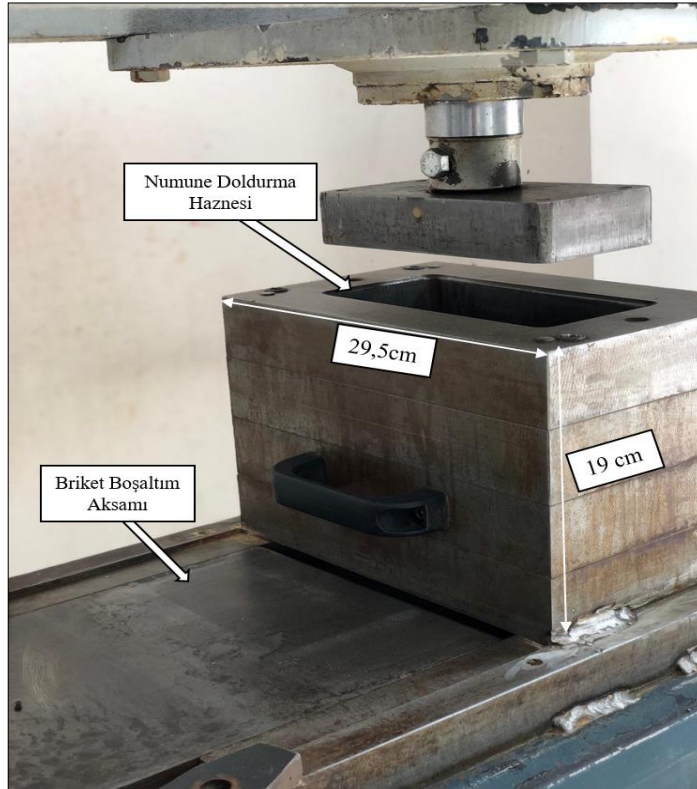
Şekil 3.2: WD-XRF Cihazı Görünümü.

3.2.Briketleme Yöntemi

Şlam atıklarının susuzlaştırılmasına yönelik laboratuvar veya pilot ölçekli çalışmalar için herhangi bir ticari cihaz bulunamamıştır. Bu çalışma kapsamında çalışmanın en önemli parçası olan kalıp Gebze Organize Sanayi Bölgesin de bir firmaya 29,5x19,5x19 cm boyutlarda çelik malzemeden imal ettirilmiştir. Hidrolik pres ise santimetrekareye 30 ton basabilme özelliğinde olup satın alma yoluyla temin edilmiştir. Sistemin briketleştirme işlemi Gebze Teknik Üniversitesi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü laboratuvarlarında yapılmıştır (Şekil 3.3). Pres cihazının şlam konulan haznesi üst tarafı açık alt tarafı hareketli plaka olan bir düzenektir. Düzenek susuzlaştırılarak briket haline getirilmiş şlam atığını alttan alabilmek için yatayda ileri geri manuel olarak hareket ettirilebilen bir aksama sahiptir (Şekil 3.4). Çamurun üstten sıkıştırılması pistonla üst plakanın aşağı doğru hareket ettirilmesi ile olur. Manuel çalışan bir piston aracılığıyla üst plaka aşağı doğru hareket ederek çamuru sıkıştırır. Düzenek güç kaynağı olarak elektriğe bağlıdır. Ayrıca deneylerde beherler, mezürler, şırınga, erlen, kaşık gibi gereçlerde kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Briketlemede Kullanılan Hidrolik Pres Makinasının Görünümü.



Şekil 3.4: Hidrolik Pres Briket Kalıbının Görünümü.

3.3.Sertlik Deneyleri

Deneyler sırasında kaynak problemlerinden dolayı tek eksenli basınç dayanımı ve üç eksenli basınç dayanımı gibi mukavemet deneyleri yapılamamıştır.

Şlam atıkları ile basılan tüm briketlere CONTROLS marka el tipi penetrometre ile sertlik deneyi yapılmıştır (Şekil 3.5).

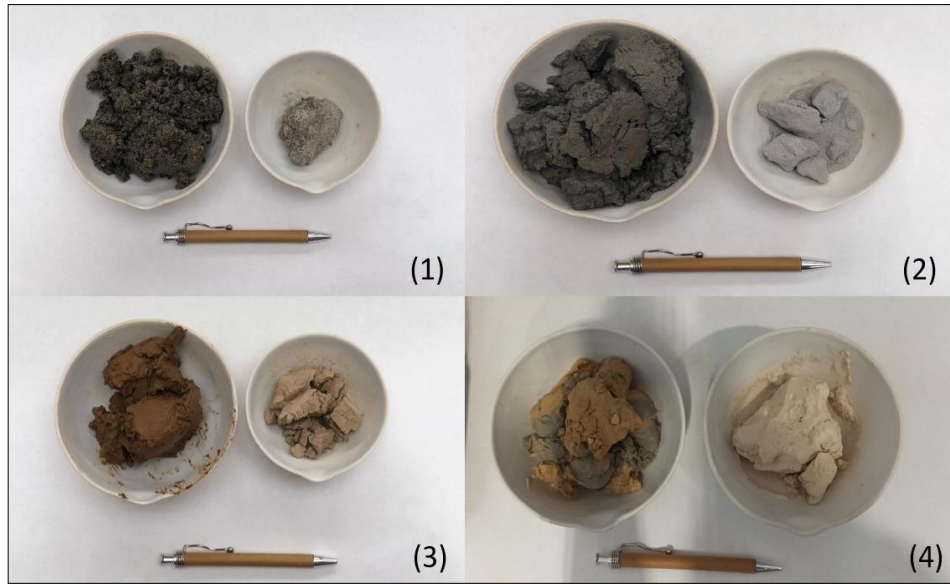


Şekil 3.5: El Tipi Penetrometre Görünümü.

4. BULGULAR

4.1.Malzeme Karakterizasyonu

Bu çalışma farklı maden atık barajlarından alınan şlam atıklarının susuzlaştırılarak yenilikçi bir depolama sisteminin araştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla dört farklı maden atık sahasından numuneler alınmıştır. Bu çalışmada ticari kaygılar nedeniyle işletme ünvanları verilmemiştir. Bunun yerine Numune 1, 2, 3, 4 olarak numaralandırma yöntemine gidilmiştir (Şekil 4.1).

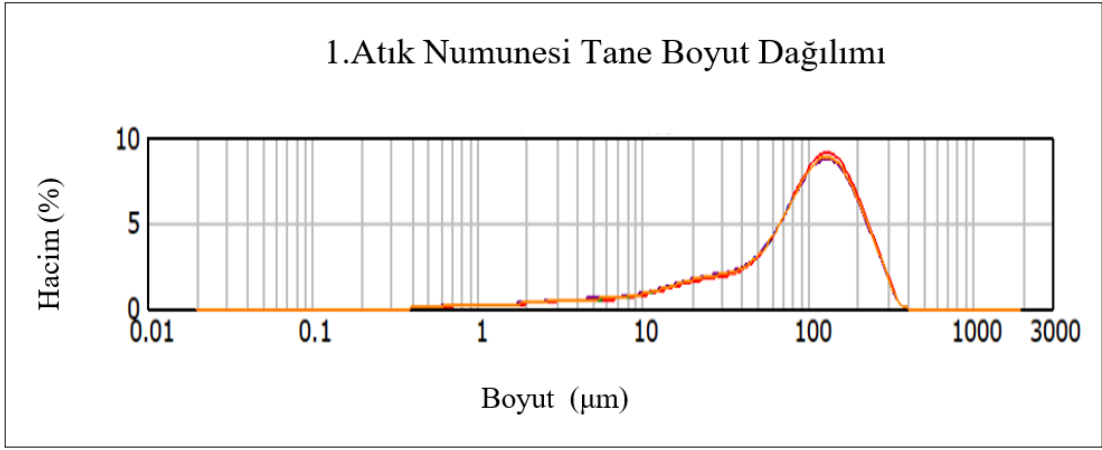


Şekil 4.1: Çalışma Kapsamında Kullanılan Dört Farklı Şlam Atığının Görünümü.

4.1.1.Fiziksel Özellikler

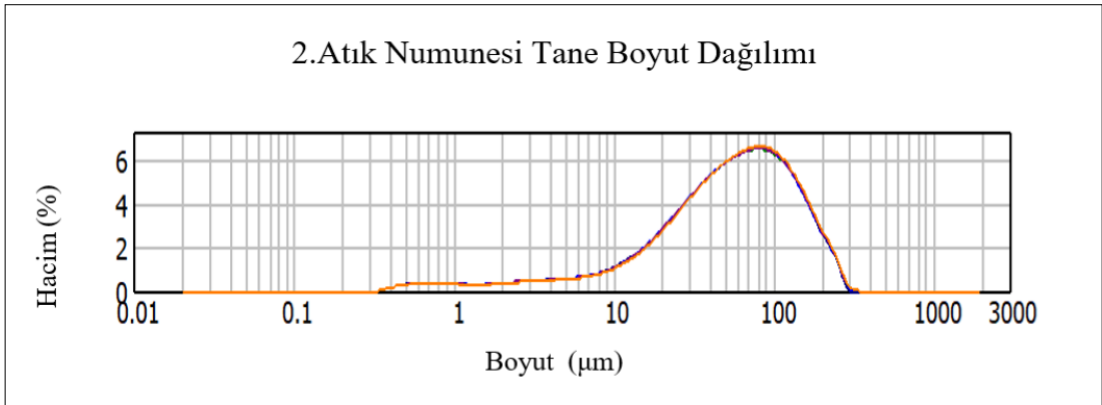
Bu çalışma kapsamında artık malzemesinin tane boyut dağılımı, Malvern Tane Boyutu Analiz cihazı ile belirlenmiştir.

Numune 1'in tane boyut analizi yapılmıştır. Deney sonucunda tane boyutu 14,654 μm -219,519 μm arasında değiştiği ve ortalama tane boyutunun 100,065 μm olduğu görülmüştür (Şekil 4.2).



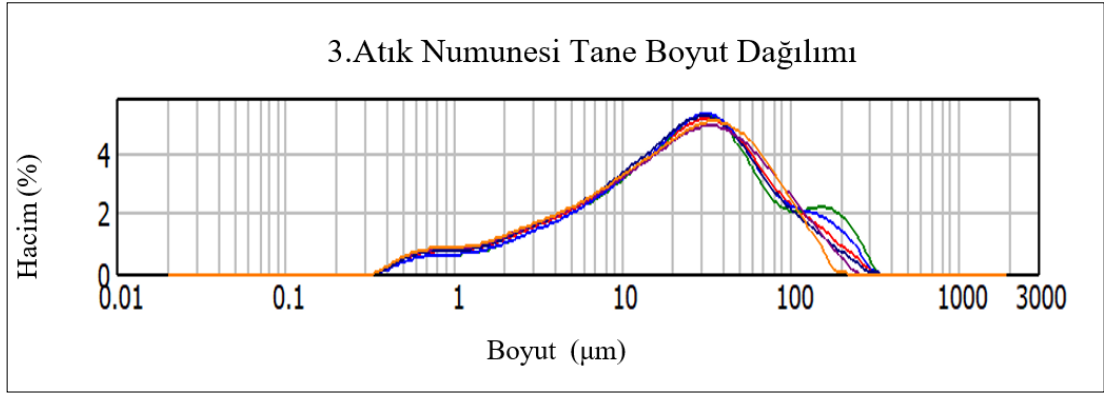
Şekil 4.2: Numune 1 Tane Boyut Dağılımı.

Numune 2'nin tane boyut analizi yapılmıştır. Deney sonucunda tane boyutu 11,149 -157,625 µm arasında olduğu ve ortalama tane boyutunun 58,650 µm olduğu görülmüştür (Şekil 4.3).



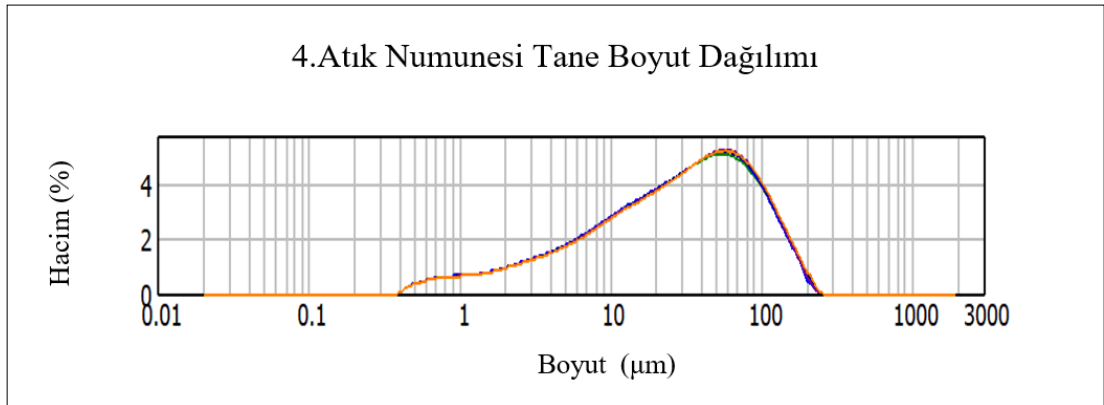
Şekil 4.3: Numune 2 Tane Boyut Dağılımı.

Numune 3'ün tane boyut analizi yapılmıştır. Deney sonucunda tane boyutu 2,329 -79,657 µm arasında olduğu ve ortalama tane boyutunun 21,255 µm olduğu görülmüştür (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Numune 3 Tane Boyut Dağılımı.

Numune 4'ün tane boyut analizi yapılmıştır. Deney sonucunda tane boyutu 3,428 - 109,444 µm arasında olduğu ve ortalama tane boyutunun 30,949 µm olduğu görülmüştür(Şekil 4.5).



Şekil 4.5: Numune 4 Tane Boyut Dağılımı.

Çalışma kapsamında kullanılan şlam atıklarının ortalama tane boylarının 21.055-100,065 µm arasında değişmesi, gelecekte endüstriyel ölçekli yapılacak çalışmalar için tane boyu seçiminin uygulamada başarılı sonuçlar için olumlu bir katkı olacağı düşünülmektedir.

4.1.2. Kimyasal Özellikler

Bu çalışmada artık malzemelerinin element içeriği, WD-XRF cihazı ile tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda 1. numunede %10 konsantrasyonunu geçen dört bileşen tespit edilmiştir. Bunlar SiO₂, CaO, B₂O₃ konsantrasyonu çıkmıştır. Numune içeriğinde B₂O₃ %15,5 oranında bulunmaktadır (Tablo 4.1). 2004 yılında keşfedilen Jadar Bor Havzasında B₂O₃ içeriği %13,1 olan bor tenörü 2021 yılından beri işletilmektedir [46]. Çalışılan şlam atığındaki B₂O₃ konsantrasyonu yakın gelecekte ekonomik bor üretilecek değere sahiptir.

Tablo 4.1: Numune 1 Elementel Analizi.

Element	İçerik(%)
SiO ₂	35.9
CaO	19.3
B ₂ O ₃	15.5
MgO	12.1
Al ₂ O ₃	5.74
K ₂ O	2.56
SO ₃	2.39
Fe ₂ O ₃	1.81
SrO	1.27
F	1,02

Yapılan analiz sonucunda 2. numunede %10 konsantrasyonunu geçen üç bileşen tespit edilmiştir. Bunlar CaO, SiO₂, Fe₂O₃ konsantrasyonu çıkmıştır (Tablo 4.2)

Tablo 4.2: Numune 2 Elementel Analiz.

Element	İçerik(%)
CaO	54.6
SiO ₂	18.8
Fe ₂ O ₃	10.7
SO ₃	5.48
Al ₂ O ₃	4.89
MgO	2.54
K ₂ O	1.23
ZnO	0.423
MnO	0,36
Na ₂ O	0.294

Yapılan analiz sonucunda 3. numunede %10 konsantrasyonunu geçen iki bileşen tespit edilmiştir. Bunlar SiO₂, Al₂O₃ konsantrasyonları olmuştur. Bu örnekte dikkat çekici olan 52 ppm Ag₂O tespit edilmiştir (Tablo 4.3). Mevcut durumda ortalama 150 g/ton üzerindeki gümüş tenörleri ekonomik olarak işletilmekte olup birçok maden sahasında (özellikle altın yatakları)daha düşük konsantrasyonlardaki gümüş ekonomik olarak işletilebilmektedir. Özellikle bu çalışmada önerilen susuzlaştırma ve depolama tekniği bu önemli sayılabilecek gümüş tenörünün yakın gelecekte işletilebilir ekonomik bir gümüş potansiyel cevheri olarak kullanılabilceğini akla getirmektedir.

Tablo 4.3: Numune 3 Elementel Analiz.

Element	İçerik(%)
SiO ₂	61.9
Al ₂ O ₃	13.3
Ag ₂ O	0,0058
K ₂ O	4.22
Fe ₂ O ₃	3.79
BaO	2.67
MgO	2.33
ZnO	1.90
SO ₃	1.59
As ₂ O ₃	0.793

Yapılan analiz sonucunda 4. numunede %10 konsantrasyonunu geçen iki SiO₂, Al₂O₃ bileşen tespit edilmiştir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4: Numune 4 Elementel Analiz.

Element	İçerik(%)
SiO ₂	76.2
Al ₂ O ₃	11.2
K ₂ O	6.11
CaO	3.35
MgO	4.07
Fe ₂ O ₃	2.73
TiO ₂	2.66
Na ₂ O	2.11
P ₂ O ₅	1.78
SO ₃	0.946

4.2.Briketleme Sonuçları

Yüksek su içeriğine sahip şlam atıkları gerek boru hatları gerek pompalama gerekse de nakliye ve bertaraf masrafları açısından oldukça maliyetlidir. Bertaraf maliyetlerini azaltmak için atığın olduğu yerde su hacmini azaltmak gerekir. Bu sebeple atıkların susuzlaştırılması hem taşıma hem de nihai depolama açısından çok ekonomiktir. Bu amaçla dört farklı maden sektöründen alınan numunelerin susuzlaştırılarak depolanması yönelik çalışmalar yapılmıştır.

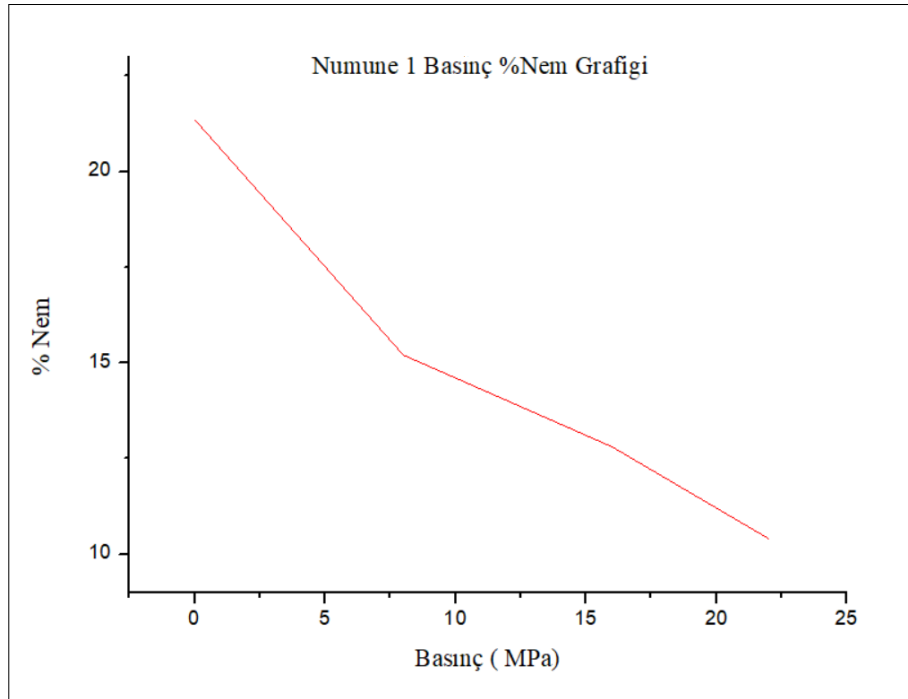
Dört farklı maden atık barajından alınan numuneler hidrolik presle susuzlaştırılmıştır. Deneylein başlangıcında giren şlam ağırlığının optimizasyonu için farklı ağırlıklarda şlamlarla deneyler yürütülmüştür. Bu deney sonuçlarına göre her bir atık sahasından alınan 2 kg atık numuneyle deneylerin yürütülmesi istenilen sonuçlara ulaşmayı sağladığı tespit edilmiştir. Alınan 2 kg şlamlar üzerinde 8,16 ve 22 MPa basınçlarda deneyler yapılmıştır. İnce boyutlu şlam atıkları ön termal kurutma işlemi yapılmadan ve herhangi bir bağlayıcı kimyasal kullanılmadan istenilen basınçlarda basılmıştır.

4.2.1.Numune 1

Bir numaralı atık sahasından alınan atık numunesi % 21,36 nem içeriği ile pilot sisteme sokulan şlam, 8, 16, 22 MPa basınçlar uygulanarak briket haline getirildiğinde numunenin nem içeriği sırasıyla % 15,2, 14,2, 10,4 değerlerine ulaşmıştır (Şekil 4.6), (Şekil 4.7).



Şekil 4.6: Numune 1, 22MPa'da Preslenmiş Örneğin Üstten ve Yandan Görünümü (20x10x4,5 cm).



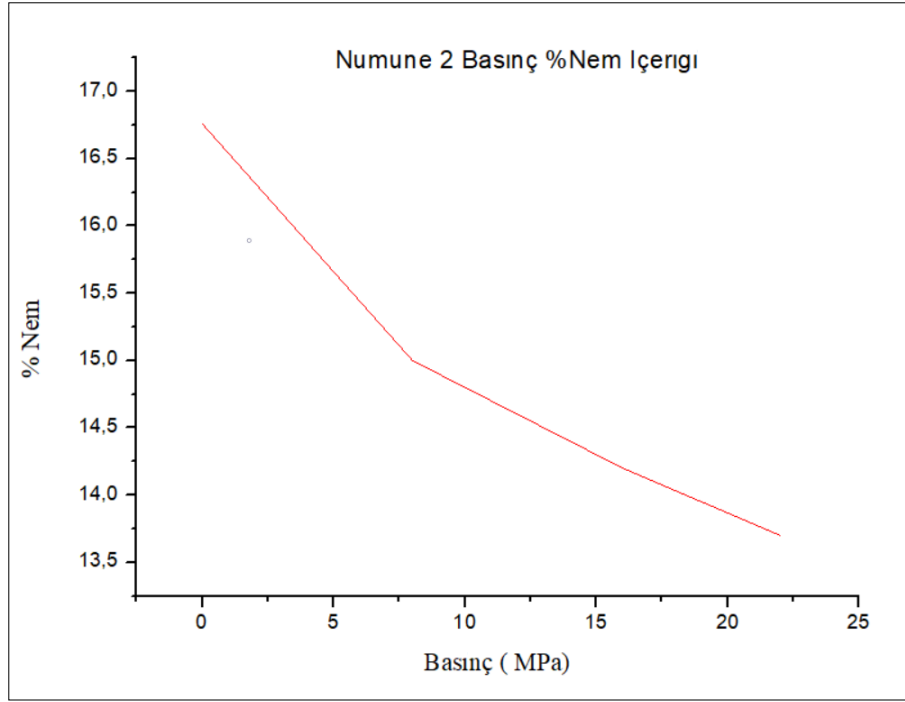
Şekil 4.7: Numune 1'deki Basınca Bağlı Nem Değişimi.

4.2.2.Numune 2

İki numaralı atık sahasından alınan şlam 8, 16, 22 MPa basınçlar uygulanarak briket haline getirildiğinde numunenin nem içeriği sırasıyla % 15, 14,2, 13,7 değerlerde olmuştur. Pres sonucu çıkan örneklerin %30'unda köşe kısımlarında zayıf zonlar oluşmuştur. 2 numaralı şlam örneğinde mutlak köşe sağlamlığını sağlamak için briketi sağlamlaştırıcı katkı maddelerine ihtiyaç olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.8,4.9).



Şekil 4.8: Numune 2 Preslenmiş Örneğin Üstten ve Yandan Görünümü (20x10x4,5cm).



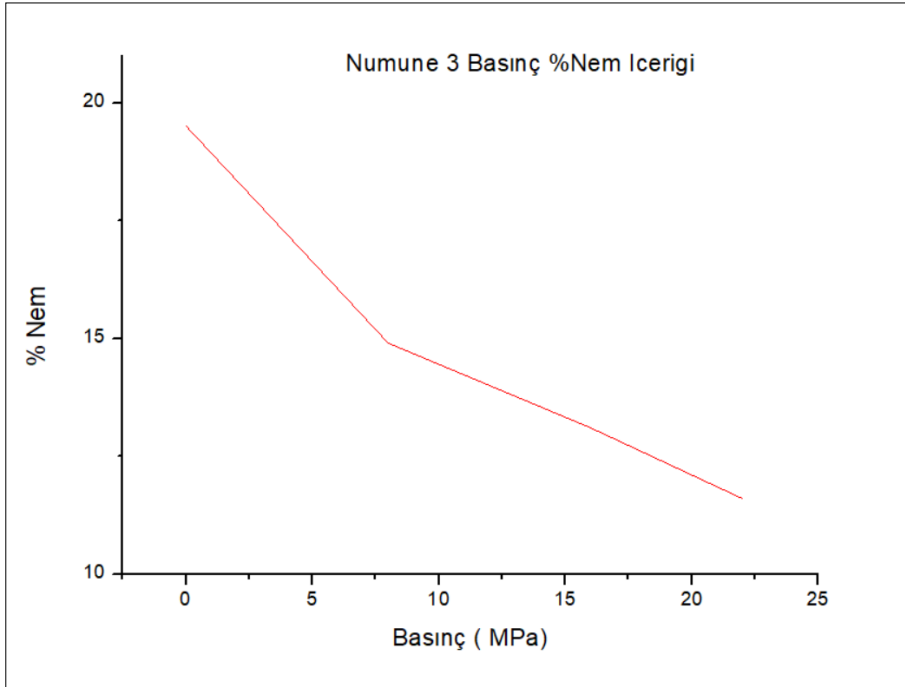
Şekil 4.9: Numune 2'deki Basınca Bağlı Nem Değişimi.

4.2.3. Numune 3

Üç numaralı atık sahasından alınan şlam 8,16,22 MPa basınçlar uygulanarak briket haline getirildiğinde numunenin nem içeriği sırasıyla % 19,51, 14,6, 11,6 değerlerde olmuştur (Şekil 4.10,4.11).



Şekil 4.10: Numune 3 Preslenmiş Örneğin Üstten ve Yandan Görünümü (20x10x4,5cm).



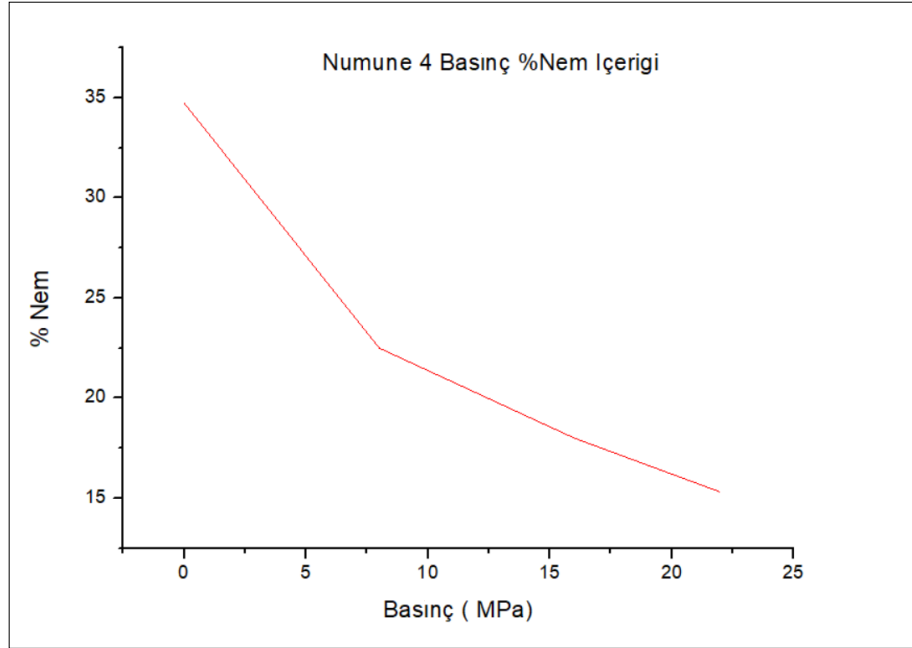
Şekil 4.11: Numune 3'deki Basınca Bağlı Nem Değişimi.

4.2.4.Numune 4

Dört numaralı atık sahasından alınan şlam 8, 16, 22 MPa basınçlar uygulanarak briket haline getirildiğinde numunenin nem içeriği sırasıyla % 22.5, 18, 15 değerlerde olmuştur (Şekil 4.12,4.13).



Şekil 4.12: Numune 4 Preslenmiş Örneğin Üstten ve Yandan Görünümü (20x10x4,5cm).

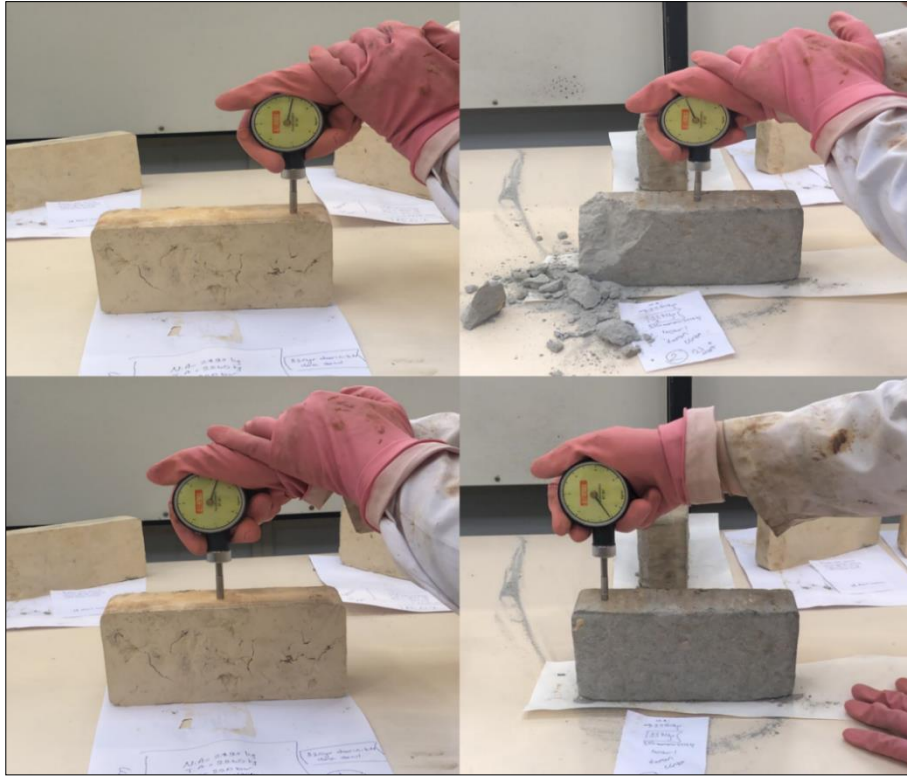


Şekil 4.13: Numune 4'deki Basınca Bağlı Nem Değişimi.

4.3. Penetrometre Deneyi Sonuçları

Şlam örneklerinden hidrolik presle oluşturulan briket örneklerinde dayanımları konusunda kabaca bir bilgiye sahip olmak için CONTROLS marka el penetrometresi ile dayanımları ölçülmüştür.

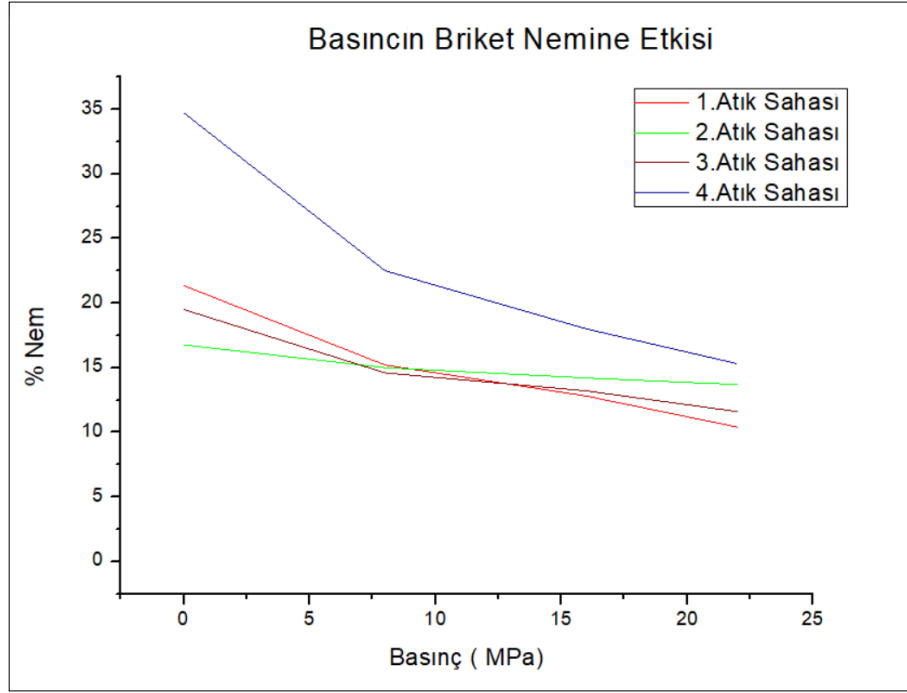
- Numune 1, 3 ve 4'de 8, 16, 22 MPa basınçla basılan briketler kenar ve orta kısımlarda 6 kg/cm^2 ye kadar dayanım göstermiştir. Numunelerde kırık çatlak ve ufalanma görülmemiştir.
- Numune 2'de 8.16.22 MPa basınçlarla basılan briket numunelerinde 22 MPa basınçla briket haline getirilen numune kenar kısımda $3,2 \text{ kg/cm}^2$, orta kısımda $4,2 \text{ kg/cm}^2$ basınçla kırılmıştır. 16 MPa basınçla briket haline getirilen numune kenar kısımda $2,1 \text{ kg/cm}^2$, orta kısımda $4,27 \text{ kg/cm}^2$ basınçla kırılmıştır. 8 MPa basılan numunenin elle sıkıldığında parçalanarak ufalandığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Penetrometre Ölçümleri.

Sonuç olarak çalışılan dört farklı şlam örneğinde preslenme sonucunda ciddi dayanımlara sahip dikdörtgenler prizması şeklinde briketler oluşmuştur. Bu geometrik şekil depolanma açısından önemli avantajlara sahiptir. Laboratuvarında preslenen

örneklere ait çeşitli basınçlarda sıkıştırılmış briket örneklerine ait görseller Şekil 4.16'de verilmiştir.



Şekil 4.15: Basıncın Briket Nemine Etkisi (Numune 1, 2, 3, 4).

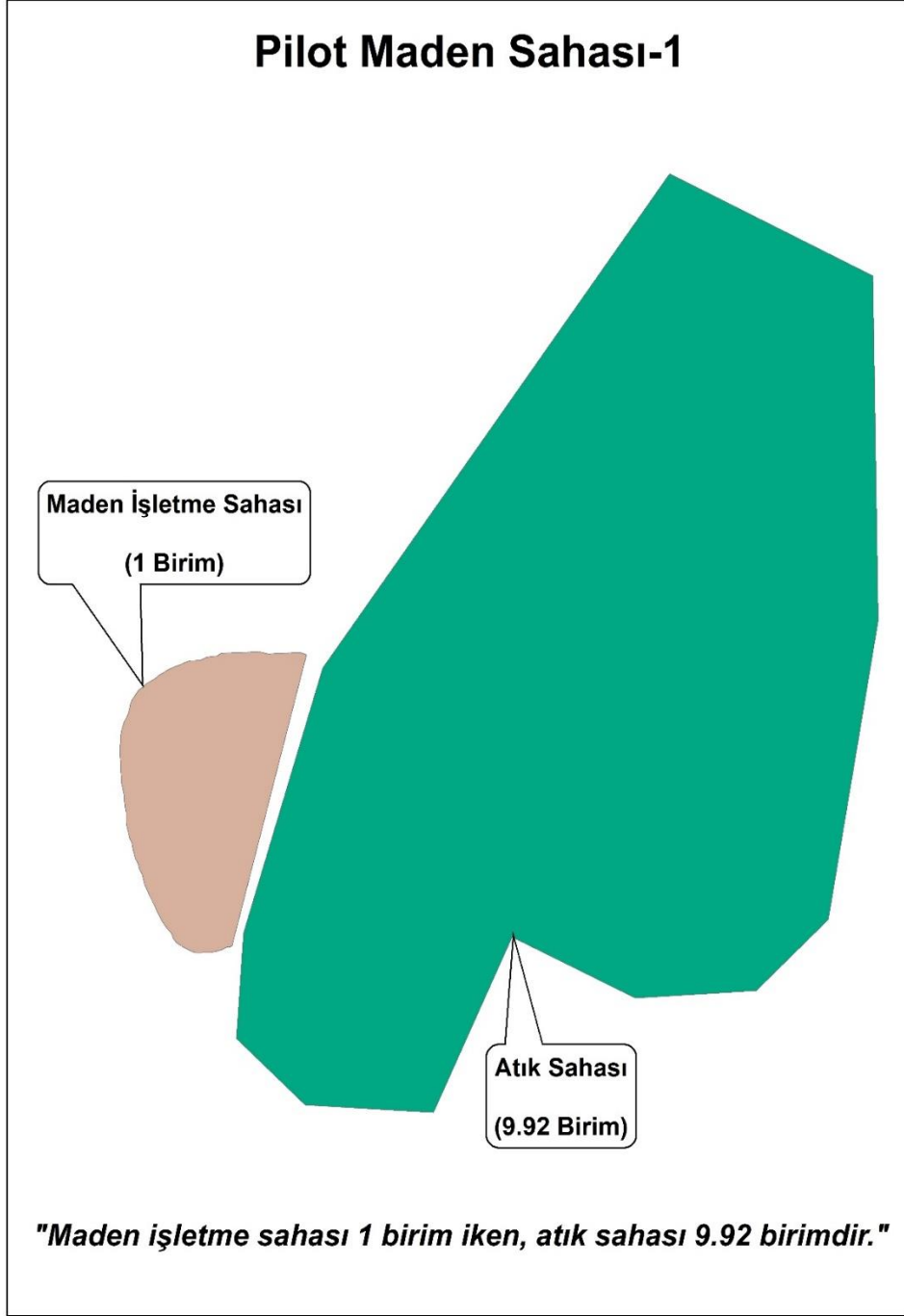


Şekil 4.16: Briket Örnekleri.

4.4. Depolama Yönteminin Belirlenmesi

Maden atıklarının bertarafı için genellikle yerüstü bertaraf yöntemi olan atık barajları kullanılmaktadır. Atık barajı inşası için büyük ölçekli araziler kullanılmaktadır. Maden atıklarının %99,4'ü yerüstü atık barajlarında depolanmaktadır. Uluslararası Büyük Barajlar Komitesi tarafından yapılan çalışmada, 500 kadar atık barajının %24'ünün yenilenme-yıkılmasının gerektiği, %42'sinin onarım gerektirecek boyutta hasarlı olduğu ve %34'ünün de kaza oluşturabilecek boyutunda hasarlı olduğu belirtilmektedir.

Maden atıklarının depo edildiği alanların büyüklükleri cevherin çıkarıldığı ve işlendiği alana kıyasla oldukça fazladır. Harita çizimlerinde halen işletilmekte olan ülkemizdeki bazı madenlerde işletme, şlam barajı oranları incelenmiştir. Bu oranın 1/5 ile 1/10 arasında değişim gösterdiği belirtilmektedir (Şekil 4.17, 4.18).



Şekil 4.17: Pilot Maden Sahası 1.



Şekil 4.18: Pilot Maden Sahası 2.

Şlam barajı inşaatlarında yer seçimden, atık barajının ömrünü tamamlayıp üst örtü teşekkülüne kadar birçok problemle karşılaşmaktadır. İlk aşama olan yer seçimi çoğu zaman yakın civardaki yerleşim sahipleri, çevre örgütlerinin ciddi muhalefeti ile karşılaşmaktadır. Hazırlanan ÇED raporlarının büyük bir kısmı çok uzun hukuki süreçler yaşamaktadır ve çoğu zamanda olumsuz olarak sonuçlanmaktadır. Bu konu ile ilgili haberlere ulusal yazılı ve görsel basında sık sık rastlanılmaktadır. Diğer taraftan maden üreticilerinin en büyük harcama kalemlerinden olan düzenli atık bertaraf yöntemleridir. Bir şlam sahası projelendirilirken yer seçiminden sonra, ciddi kazı maliyetleri, geçirimsiz tabakaları oluşturmak için yapılan harcamalar, nihai olarak şlam barajının üstünü kapatılması çok yüksek maliyetlidir.

Yukarıda bahsedildiği gibi kapatma işlemleri Yönetmeliklerle tanımlanmıştır. 15 Temmuz 2015’de Resmî Gazete’de yayınlanan Maden Atıkları Yönetmeliği’ nin 12. Maddesindeki tanıma göre:

“Kapatma işlemleri

MADDE 12 – (1) Maden atıklarının depolandığı tesislerde, kapatma işlemi başlamadan önce kapatma işleminin tüm detaylarının bulunduğu bir jeoteknik etüt raporunu da içeren kapatma projesi mühendislik firmalarına hazırlattırılarak Bakanlığın onayına sunulur.

(2) Maden atıklarının depolandığı tesislerde, atık depolama işlemi tamamen bittikten sonra depolama alanında üst örtü teşkil edilmeden önce, alan kurutularak/susuzlaştırıldıktan sonra tampon tabaka olarak kazı toprağı veya asit üretme potansiyeli olmayan pasalar serilerek tesviye edilir. Kapatma işlemine başlamadan önce, atıkların veya yapının kayma ve çökme riskine karşı, depolanan atık kütesinin yeterince oturduğu tespit edilir.

(3) Yağmur sularının drenajı için yağış/buharlaşma verileri dikkate alınarak kuşaklama kanalları inşa edilir. İnfiltrasyonun en aza indirgenmesi ve drenajın sağlanması amacıyla, uygun kalınlıkta ve geçirimsizlikte doğal veya jeosentetik malzemeler kullanılır.

(4) Tehlikeli ve tehlikesiz maden atıklarının depolandığı tesislerde, üst örtü sisteminde tampon tabakanın üzerinde geçirimsizliği sağlamak amacıyla kil gurubu mineraller ya da jeosentetik kil tabakası kullanılır. Bu durumda, tampon tabaka kalınlığı en az bir metre olmalıdır. Bu tabakaların üzerine yağmur sularını drene

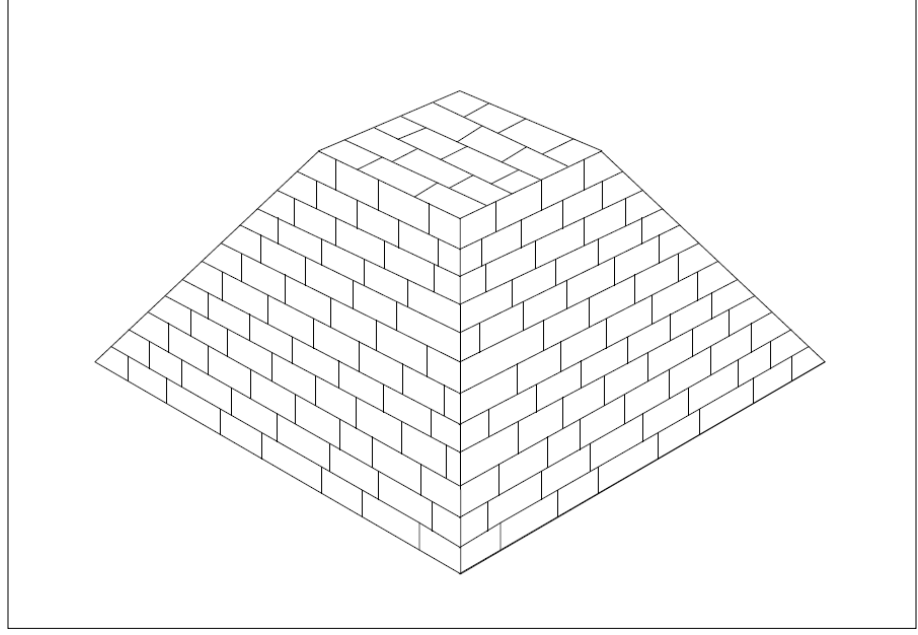
edecek uygun kalınlıkta ve özellikte doğal ya da jeosentetik drenaj malzemesi uygulanır.

(5) Üst örtü toprağı olarak yöreye özgü bitki türlerinin yetiştirilmesini sağlayabilecek şekilde uygun kalınlıkta serilir ve bitkilendirme yapılır.

(6) Bu hükümler inert maden atıklarının depolandığı tesislerde uygulanmamakla birlikte bu sahalarda atık depolama işleminin bittikten sonra sahanın üstünün kapatılması ve yeşillendirilmesi zorunludur.”dmjn

Kapatma planlarının 4. Maddesinde geçirimsizlik için 1 m kalınlığında kil gurubu mineraller ya da jeosentetik kil tabakası önerilmektedir. Oysa şlam havuzundaki malzeme çoğu zaman kil boyutunda geçirimsiz bir malzemedendir oluşmaktadır. Bu nedenle şlam barajlarındaki malzemelerin karakterizasyonları iyi yapıp, işletmeleri gereksiz harcamalardan kurtarmak önemli bir durum olmuştur.

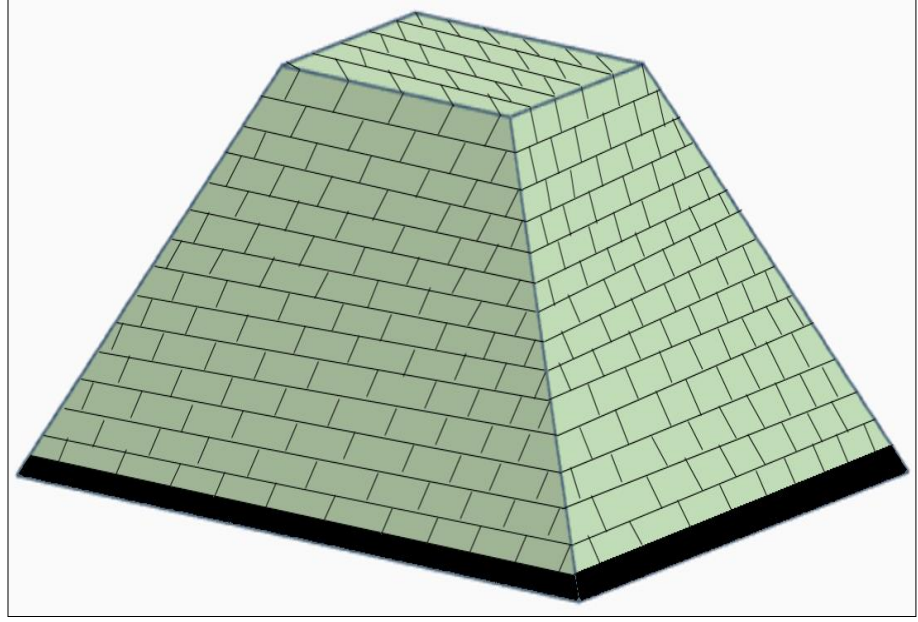
Bu çalışmanın en önemli amaçlarından biri yukarıda kısmen bahsedilen sektördeki problemlere alternatif çözüm aramaktır. Bu çerçevede maden atıklarının susuzlaştırılarak ve hacimlerinin azaltılarak depolanması için çalışmalar yapılmıştır. Laboratuvarında yapılan çalışmalarda yaklaşık 2570 cm³ hacme sahip şlam atık numunesi briketlenerek yaklaşık 1000 cm³ hacime düşürülmüştür. Briketleme için alınan numune miktarı arttıkça briket kalınlığı artmaktadır. Laboratuvarında yapılan bu deneyler 2 kg alınan numuneler üzerinden hesaplanmıştır.



Şekil 4. 19: Briket Depolama Tasarımı 1.

Orta ölçekli bir maden sahasında 1,5 km² yüzey alanına sahip bir şlam barajına yaklaşık derinliğe bağlı olarak 30-40 milyon ton şlam atığı depolanabilmektedir (Şekil 4.19). Bu çalışmanın laboratuvar deneyleri sonuçlarına göre 10.000 m² lik bir araziye yüksekliği 5,5 metre olacak şekilde briketler dizilebilir (Sektör çalışanlarıyla sözlü görüşme). Kesik prizma şeklinde dizilecek olan briketler, kayma sorunu yaşanmaması için şevli bir şekilde dizilecektir. Şev açısı yaklaşık 45 derece olarak planlandığında 10.000 m² lik düztabanlı bir araziye yaklaşık 100 bin ton atık briketlenmiş bir şekilde atık bertaraf edilebilecektir. Bu rakam 1 km² arazi içerisine 100 milyon tona yakın atığa ulaşmaktadır.

Briketlerin depolanması tasarımı Şekil 4.20’de belirtilmiştir. Briketlerin atmosferik şartlarda minimum etkilenmesi için ara katlara çimento veya püskürtme beton uygulanabilir. Depolanması biten alan içinde üst örtü kaplaması yapılabilir.



Şekil 4. 20: Briket Depolama Tasarımı 2.

Şlam atıklarının briketlenerek depolanması hacim azaltımı sağlayarak daha az alan kullanımı sağlamaktadır. Atık yığından herhangi bir su akışı olmadığı için yeraltı ve yerüstü sularına karışarak olumsuz bir durum gelişmeyecektir. Atık barajlarına harcanan yatırım, tadilat, bakım ve kapatma masrafları göz önünde bulundurulduğunda sunulan briketlenerek depolama en ekonomik çözüm önerisidir. Bu çalışmanın en önemli geri dönüşlerinden birisi tecrit edilmiş susuzlaştırılmış şlam atıkları gelişen teknolojiye ve ihtiyaçlara bağlı olarak şlam havuzunda depolamadan çok daha kullanışlı bir yöntem olmaktadır.

5.SONUÇLAR VE YORUMLAR

Maden tesis atıklarının çevreye zarar vermeden ekonomik ve güvenilir bir şekilde bertaraf edilmesi geçmişten günümüze dek süregelen madencilik problemlerinden birisidir. Artan hammadde ihtiyacı ile birlikte düşük tenörlü cevherler artan maliyet ve atık miktarlarına rağmen üretilmektedir. Özellikle zenginleştirme tesisinden çıkan fizikokimyasal işlemler görmüş maden atıklarının doğru bir şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Aksi halde çevresel felaketlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Oluşan kazalar çevresel ve ekonomik yönden oldukça zarar verici nitelikte olmaktadır. Maden atık barajlarındaki kazalar ve oluşan asit maden drenajları atıkların susuzlaştırılarak depo edilmesinin önemli bir konu olarak ele alınmasında rol oynamıştır.

Doğal kaynakların tükeniyor oluşu ve hammadde ihtiyacının artıyor oluşu geçmişten günümüze kadar gelen atık malzemelerinin yeniden kullanılmasını gerektirmektedir. Atık veya yan ürün adını alan bu malzemelerin tekrardan kullanılması sürdürülebilir ekonomiye de katkı sağlayacaktır. Alternatif hammadde olarak maden atıklarının kullanılabilmesi için atıklar bertaraf edilirken bağlayıcı ve kimyasallar eklenmemelidir. Atık malzemelerine bağlayıcı ve kimyasallar eklemeyen bertaraf edilmesi gerekmektedir. Atık malzemelerinin bağlayıcı ve kimyasallar eklenerek depo edilmesi tekrar kullanımda yeniden arıtma gerektireceği için dezavantaj sağlayabilir.

İkisi metalik diğerleri endüstriyel hammaddeler olmak üzere dört farklı maden atık barajından alınan şlam numuneleriyle herhangi bir ön termal kurutma ve kimyasal katkı maddesi olmadan briket numuneleri hazırlanmıştır. Her bir atık sahasından alınan 2 kg atık numunesiyle farklı basınçlarda deneyler yapılmıştır. 1 numaralı atık sahasından alınan atık numunesi % 21,36 nem içeriğine sahipken briket haline getirilen atık numunesinin nem içeriği %10,4-15,2 arasında değerlerde olmuştur. 2 numaralı atık sahasından alınan atık numunesi % 16,76 nem içeriğine sahipken basılan briketlerde nem içeriği %13,7'ye kadar düşürülmüştür. 3 numaralı atık sahasından alınan atık numunesinin nem içeriği %19,51 iken briketlenen atık numunesinin nem değeri %11,16 - 14,6 aralığında bir nem içeriğine sahiptir. 4 numaralı atık sahasından alınan %34,74 nem içeriğine sahip atık numunesi briket haline getirildikten sonra nem içeriğinde %15,3-22,5 aralığında bir düşme olmuştur. Basınç artıkça giderilen nem ve

briket neminde artış gözlenmektedir. Basınca bağlı olmaksızın alınan numune miktarı arttıkça briket kalınlığı artmaktadır.

Briketlerin susuzlaştırılması deneylerinde alınan numune miktarlarından giderilen su miktarlarına göre 1.maden atık sahasında %78-80, 2.maden atık sahasında %77-80 aralığında, 3.maden atık sahasında %73-78 aralığında, 4.maden atık sahasında %78-80 aralığında bir verimle susuzlaştırma işlemi yapılmıştır.

Geleneksel bertaraf yöntemlerinden olan atık barajları yatırım maliyetleri ve onarım bakım maliyetleri oldukça yüksektir. Maden atıklarının depo edildiği alanların büyüklükleri cevherin çıkarıldığı ve işlendiği alana kıyasla oldukça fazladır. Pilot sahalarda yapılan harita çizimlerinde bu oranın 1/5 ile 1/10 arasında değişim gösterdiği belirtilmektedir. Yatırım maliyeti yüksek olan atık barajlarının bakım onarım maliyetleri ve hasar sonucu onarım maliyetleride yüksektir. Kapasitesi dolmuş kapatılmak istenen bir atık barajının üzeri örtülerek rehabilite edilmesi gerekmektedir.

Yapılan çalışmalar ön değerlendirmeleri ve sonuçlarını içermektedir. Maliyet hesabı için ayrıntılı bilgilere literatürde fazla rastlanmaması ve atık barajlarının yapım aşamasından kapatılmasına kadar ki gerekli malzemelerin hepsinin döviz endekli oluşu sonucu detaylı bir maliyet analizi yapılamamıştır. Atık barajında şamların bertaraf edilmesi 43 TL/ton olurken, hidrolik presle susuzlaştırma prosesi için bu durum sadece ton başına elektrik maliyeti hesaplanarak 34 TL/ton bulunmuştur. Hidrolik presle susuzlaştırma yönteminde en büyük gider elektrik sarfiyatı ve bir kaç mm kalınlığındaki püskürtme betondan oluşmaktadır.

Briketlerin kesik piramit şeklinde kaymaması için gerekli şev açısının hesaplanarak depolanması gerekmektedir. Briketlerin atmosferik şartlarda nem içeriklerinde çok az oynamalar olmasına rağmen su ile temasından kaçınılmalıdır. Önerilen kesik piramit şeklinde yığma geometrisi düz arazi için önerilmiştir. Alanın kendine özgü topoğrafyasına bağlı olarak briket boyutlarında ve yığma şeklinde değişikliklerin yapılması mümkündür.

Bu çalışmada farklı maden atık sahalarından alınan şlam atıklarının çevresel etkileri değerlendirilerek işletme maliyeti düşük, çevresel açıdan risk oluşturması en az seviyede olan minimum arazi kullanımı ile maksimum atık depolama yönteminin kullanılabilmesi hedeflenmiştir. Hidrolik presle susuzlaştırma yapılması durumunda malzeme karakterizasyonunun çok önemli olduğu ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında kullanılan laboratuvar ölçekli hidrolik pres cihazının tüm şlam atıklarında %100 verimle çalışacağı konusunda yeterli veriye ulaşılamamıştır. Çalışılması

planlanan maden sahalarında kısa dönemli ve pilot ölçekli çalışmaların çıktılarına göre endüstriyel tesisin planlanması ve fizibilite etütlerinin yapılması önerilir.

KAYNAKLAR

- [1] Web 1, 2020, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>, (Erişim Tarihi: 26/01/2022).
- [2] Iritani, E., Katagiri, N., Yamada, M., Hwang, K. J., Cheng, T. W., (2016), “Ultrahigh-pressure expression of activated sludge assisted with self-flocculation caused by ultrasonication”. Chemical Engineering Research and Design, 112, 16-23.
- [3] Rao, B., Huang, G., Lu, X., Wan, Y., Jiang, Z., Chen, D., & Liang, A., (2017), “An ultrahigh-pressure filtration and device design and optimiz study on high dry dewatering of sludge”, Process Safety and Environmental Protection, 106, 129-137.
- [4] Rao, B., Zhu, Y., Yu, M., Lu, X., Wan, Y., Huang, G., Liu, X., (2019), “High-dry dewatering of sludge based on different pretreatment conditions”, Process Safety and Environmental Protection, 122, 288-297.
- [5] Rao, B., Su, X., Lu, X., Wan, Y., Huang, G., Zhang, Y., Zhang, J., (2019), “Ultrahigh pressure filtration dewatering of municipal sludge based on microwave pretreatment”, Journal of environmental management, 247, 588-595.
- [6] Rao, B., Pang, H., Fan, F., Zhang, J., Xu, P., Qiu, S., Su, J., (2021),” Pore-scale model and dewatering performance of municipal sludge by ultrahigh pressurized electro-dewatering with constant voltage gradient”, Water Research, 189, 116611.
- [7] ResGaz 1, (2006), Çevre Kanunu, 26 Nisan 2006 tarih ve 26167 sayılı Resmi Gazete.
- [8] Tekirdağ Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (T.Ç.Ş.İ.M.), 2011, “Madencilik Sektöründe Atık Yönetimi Uygulamaları”, 23 Aralık 2011 tarihli yayını.
- [9] ResGaz 2, (2008), Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik, 5 Temmuz 2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete.
- [10] ResGaz 3, (2015), Maden Atıkları Yönetmeliği, 2 Nisan 2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete.
- [11] Environmental Protection Agency (EPA), (1994), “U. S. Technical Document: Acid Mine Drainage Prediction”, EPA 530-R-94-036. Office of Solid Waste, Special Waste Branch.
- [12] Environmental Protection Agency (EPA) (2003), “Characterization of Ore, Waste Rock and Tailings”.

- [13] Web 2, (2017), [https:// www.grida.no/resources/11415](https://www.grida.no/resources/11415), (Erişim Tarihi: 14/03/2022).
- [14] Kossoff, D., Dubbin, W. E., Alfredsson, M., Edwards, S. J., Macklin, M. G., Hudson-Edwards, K. A., (2014), "Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation", *Applied Geochemistry*, 51, 229-245.
- [15] Adiansyah, J. S., Rosano, M., Vink, S., Keir, G., (2015), " A framework for a sustainable approach to mine tailings management: disposal strategies", *Journal of cleaner production*, 108, 1050-1062.
- [16] Web 3, CESCO, (2019), [https:// www.cesco.cl/2019/08/16/los-relaves-son-una-oportunidad-para-avanzar-en-una-mineria-de-menor-impacto/](https://www.cesco.cl/2019/08/16/los-relaves-son-una-oportunidad-para-avanzar-en-una-mineria-de-menor-impacto/), (Erişim Tarihi: 15/03/2022).
- [17] BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), (2001), "Management Of Mining, Quarrying and Ore-Processing Waste In The European Union", Co-ordination by P. Charbonnier December 2001 BRGM/RP-50319-FR, 79 p.
- [18] MMSD (Mining, Minerals and Sustainable Development), (2002), "Mining for the Future Appendix A: Large Volume Waste Working Paper", April 2002, No.31, pp. A1-A55.
- [19] Yıldız, N, (2014), "Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme 1. Cilt".
- [20] JOURNEAUX ASSOC., (2012), "Engineering Challenges For Tailings Management Facilities And Associated Infrastructure With Regard To Climate Change In Nunavut" Report no. L-11-1472, March 21, 2012, pp.110.
- [21] Web 4, (2015), <https://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=duyurudetay&Id=21531>, (Erişim Tarihi: 26 Mayıs 2022).
- [22] ResGaz3, (2010), Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 26 Mart 2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmi Gazete.
- [23] Web 5, (2015), <https://www.csb.gov.tr/turkce/index.php?Sayfa=yonetmelikliste>, (Erişim Tarihi: 26 Mayıs 2022).
- [24] CPS, (2012), "Atık Yönetimi Hakkında AB Müktesebat Rehberi", s.53-58.
- [25] Eevli, B., (1998), "Madencilik,  evre ve çed Raporu", Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları.
- [26] Aslan, İ. , (2017), "Türkiye'de demir madeni işletmelerinde "Yeşil Madencilik" uygulamasını destekleyen faktörler", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,  evre Bilimleri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara S, 1.

- [27] Çetiner, Güney E., Ünver B., Hindistan M., (2006), "Maden Atıkları İle İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye." Bilimsel Madencilik Dergisi 45.1: 23-34.
- [28] Arslan, V., (2016), "Cevher Hazırlama Tesis Artıkları, Çevre ve İnsan Sağlığına Etkileri ve Alınacak Önlemler".
- [29] TÜYLÜ S., (2016), "Maden Tesis Atıklarının Yerüstünde Depolanmasında En Uygun Tasarım Koşullarının Belirlenmesi", İstannul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği, Doktora Tezi.
- [30] Ulusoy, Y., (2006), " Üretimi bitmiş açık maden ocaklarının rehabilitasyonu ve doğaya yeniden kazandırılmasının" Şile-Avcıkoru" örneğinde irdelenmesi"
- [31] Ighalo, J. O., Kurniawan, S. B., Iwuozor, K. O., Aniagor, C. O., Ajala, O. J., Oba, S. N., Igwegbe, C. A., (2022), "A review of treatment technologies for the mitigation of the toxic environmental effects of acid mine drainage (AMD)", Process Safety and Environmental Protection, 157, 37-58.
- [32] Karadeniz, M., (1996), "Cevher Zenginleştirme Tesis Artıkları Çevreye Etkileri Önlemler", MTA Genel Müdürlüğü, MAT Daire Başkanlığı, Cevher Zenginleştirme Servisi, 41-71.
- [33] Web 6, (2020), a) <https://www.medyaport.net/gundem/zehirli-atik-baraji-coken-maden-tekrar-calismaya-basladi-h39632.html>
b) <https://www.aljazeera.com/gallery/2010/10/8/in-pictures-hungarys-toxic-disaster>, (Erişim Tarihi: 15 Mayıs 2022).
- [34] Armstrong, M., Petter, R., Petter, C., (2019), "Why have so many tailings dams failed in recent years?", Resources Policy, 63, 101412.
- [35] Sezgin, N., (2020), "Maden Atık Çamurlarının Denizaltı Depolama Yöntemi ile Bertarafı", Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(1), 209-217.
- [36] Watson, A.H., (2010), "Alternative tailing disposal - fact and fiction", Paste tailings management, APRIL 2010 International Mining SUPPLEMENT, pp. 3-6.
- [37] Web 7,(1960), <https://www.wise-uranium.org/mdaf.html>, (Erişim Tarihi: 5 Mayıs 2022).
- [38] Vogt C., (2012), "Craig Vogt Inc. Ocean & Coastal Environmental Consulting", Virginia, USA
- [39] Trannum H.C., Gundersen H., Escudero-Oñate C., Johansen J.T., Schaanning M.T., (2018), "Effects of submarineminine tailings on macrobenthic community structure and ecosystem processes", Science of the Total Environment, 630, 189-202.

- [40] Web 8, (2020), <https://thenarwhal.ca/how-the-tahltan-nation-is-weighing-coronavirus-concerns-against-red-chris-mine-operations-in-northern-b-c/>, (Erişim Tarihi: 5 Nisan 2022).
- [41] Islam, K., Murakami, S., (2021), “Global-scale impact analysis of mine tailings dam failures: 1915–2020”, *Global environmental change*, 70, 102361.
- [42] Macklin, M. G., Brewer, P. A., Hudson-Edwards, K. A., Bird, G., Coulthard, T. J., Dennis, I. A., Turner, J. N., (2006), “ A geomorphological approach to the management of rivers contaminated by metal mining” , *Geomorphology*, 79(3-4), 423-447.
- [43] Azam, S., Li, Q., (2010), “Tailings dam failures: a review of the last one hundred years”, *Geotechnical news*, 28(4), 50-54.
- [44] Web 9, (2019), <https://www.wrm.org.uy/bulletin-articles/brazil-hydro-alunortes-alumina-tailings-dam-a-disaster-foreshadowed>, (Erişim Tarihi: 9 Nisan 2022).
- [45] Ramirez-Llodra, E., Trannum, H. C., Evenset, A., Levin, L. A., Andersson, M., Finne, T. E., Vanreusel, A., (2015), “Submarine and deep-sea mine tailing placements: a review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in Norway and internationally”, *Marine Pollution Bulletin*, 97(1-2), 13-35.
- [46] Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, (2021), “Bor Sektör Raporu”.

ÖZGEÇMİŞ

Rabia ASLAN, Lisans derecesini 2014 yılında İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Maden Mühendisliği alanında tamamlamıştır. 2019 yılından itibaren Gebze Teknik Üniversitesi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.