



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

MACUN DOLGU UYGULAMASINDA FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

Behzad AGHATABAY

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN

Nisan, 2018

İSTANBUL

Bu çalışma, 19.04.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Ahmet Erdal OSMANLIOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Nuray TOKGÖZ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Atilla ÖZTÜRK
İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Fakültesi

Yrd. Doç. Dr. Kağan ÖZDEMİR
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

“Macun Dolgu Uygulamasında Fiziksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi” isimli bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinden çalışmaların yürütülmesi ve sonuçlandırılmasına kadar her aşamasında bilgi, deneyim, destek ve görüşlerinden yararlandığımız danışman hocam Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN’e, çalışmam boyunca beni yönlendiren ve tezin çeşitli aşamalarında gösterdiği yardımlarından dolayı değerli hocam Araş. Gör. Dr. Deniz ADIGÜZEL’e, değerli hocam Araş. Gör. Dr. Serkan TÜYLÜ’ye, değerli hocam Araş. Gör. Hasan EKER’e, değerli arkadaşım Erdoğan Göksun SAVAŞ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her safhasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve her zaman yanımda olan arkadaşım Zahra NASIRI'ye çok teşekkür ederim.

Nisan 2018

Behzad AGHATABAY

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. ARTIKLARIN DEPOLANMASINDA KARŞILAŞILAN TEMEL PROBLEMLER.....	4
2.1.1. Jeokimyasal Problemler.....	4
2.1.2. Jeoteknik Problemler	5
2.2. ARTIKLARIN BERTARAF ETME YÖNTEMLERİ.....	6
2.2.1. Yeraltı Dolgu Yöntemleri.....	7
2.3 ÇİMENTOLU MACUN DOLGU (ÇMD).....	11
2.3.1. Macun Dolgu İçeriği.....	15
2.3.2. Dayanım ve Durabilite	17
2.3.3. Su-Çimento Oranı.....	21
2.3.4. Bağlayıcı.....	23
2.3.5. Macun Dolgunun Yeraltına Nakliyesi.....	23
2.3.6. Macun Dolgu İşletme Maliyetleri	25
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	26
3.1. ÇALIŞMA ALANININ TANIMI.....	27
3.1.1. Coğrafi Konum.....	27
3.1.2. İşletme Hakkında Genel Bilgiler	28
3.1.3. Bölgenin Jeolojisi	29
3.2. ARTIK MALZEMENİN FİZİKSEL VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ	30

3.2.1. Özgül ağırlık.....	30
3.2.2. Tane boyut dağılımı.....	33
3.2.3. Mineralojik Bileşimi ve Elementel Analizi.....	38
3.2.4. Karışım Suyu.....	39
3.2.5. Sızıntı Suyu Analizleri.....	39
3.3. KIVAM ÖZELLİKLERİ.....	41
3.4. MACUN DOLGU NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI.....	42
3.5. ULTRASONİK DALGA HIZI (PUNDİT DENEYİ).....	44
3.6. TEK EKSENLİ BASMA DAYANIMI (TEBD).....	46
4. BULGULAR.....	47
4.1. ARTIK MALZEMENİN KARAKTERİZASYONU.....	47
4.1.1. Özgül Ağırlık.....	47
4.1.2. Sızıntı Suyun pH Analizi.....	48
4.1.3. Kıvam (Slamp) Deneyi.....	49
4.2. MEKANİK TESTLER.....	50
4.2.1. Tek Eksenli Basma Dayanımı (TEBD).....	50
4.3. ULTRASONİK DALGA HIZI (PUNDİT DENEYİ).....	55
4.4. UDH-TEBD İLİŞKİSİ.....	59
4.5. MACUN DOLGUNUN EKONOMİK ANALİZİ.....	61
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Cevher hazırlama sonucu asit maden drenajının oluşumu (Ercikdi ve diğ., 2017).	4
Şekil 2.2: Alaska'da Fort Knox altın madeni artık barajı (Tüylü, 2016).....	6
Şekil 2.3: Maden atıklarının derin deniz deşarjı (Esen, 2015).....	7
Şekil 2.4: Hidrolik dolgu örneği (Sheshpari, 2015).....	10
Şekil 2.5: Dünya çapında macun dolgu teknolojisi kullanımı (Ercikdi ve diğ., 2017).....	12
Şekil 2.6: ÇMD kullanımını gösteren tipik bir kes-doldur madenciliğin şeması (Walske, 2014).....	13
Şekil 2.7: Tipik bir yeraltı boşluk yapısında dolgu şekli (Walske, 2014).....	14
Şekil 2.8: Macun dolguyu oluşturan bileşenler (Belem ve Benzaazoua, 2007; Koohestani ve diğ., 2017).....	16
Şekil 2.9: Farklı bağlayıcı oranı ve kür sürelerine sahip macun malzemenin TEBD değerleri (Belem ve Benzaazoua, 2007).....	17
Şekil 2.10: Farklı bağlayıcı içeriğine göre hazırlanan ÇMD'nin 28. gündeki dayanımına su/çimento oranının etkisi (Fall ve diğ., 2008).....	22
Şekil 2.11: Farklı bağlayıcı ve pülp te katı oranlarına göre su/çimento oranının değişimi (Belem ve Benzaazoua, 2007).....	22
Şekil 2.12: Bir boru hattı içindeki macun dolgunun akma gerilmesi (Belem ve Benzaazoua, 2007).....	24
Şekil 2.13: Macun dolguda kullanılan temel nakliye sistemleri (Belem ve Benzaazoua, 2007).....	24
Şekil 3.1: Çalışmanın akım şeması	26
Şekil 3.2: Çalışma sahasının yer bulduru haritası.....	27
Şekil 3.3: Artık malzemesinin özgül ağırlığının bağlayıcı tüketimine ve maliyetine etkisi (Fall ve diğ., 2005).....	31
Şekil 3.4: Piknometre deneyi.....	32
Şekil 3.5: Deney numunelerinin özgül ağırlık için tartımı ve boyutlarının ölçümü	33

Şekil 3.6: Artık malzemenin içeriğindeki ince tane oranlarının ÇMD'nin dayanımına etkisi, (Fall ve diğ., 2005).	34
Şekil 3.7: Artık malzemenin içeriğindeki ince tane oranlarının ÇMD'nin gözenek büyüklüğü dağılımına etkisi (Fall ve diğ., 2008).....	35
Şekil 3.8: Artık malzemenin içeriğindeki ince tane oranlarının, farklı bağlayıcı oranlarındaki ÇMD malzemesinin slampına etkisi (Fall ve diğ. 2008).....	36
Şekil 3.9: Çalışmada kullanılan artık malzemesinin genel tane boyut dağılımı (İzki, 2013; Ocak, 2015; Akyol, 2016).	37
Şekil 3.10: NPC ile hazırlanan ÇMD numuneleri için zamana bağlı pH değişimi (Cihangir ve diğ., 2012).....	40
Şekil 3.11: Slamp metodolojisi (a), deney ekipmanları ve artık malzemesinin slamp ölçümü (b ve c).....	41
Şekil 3.12: Çimentolu macun dolgu karışımı hazırlanan mikser.	42
Şekil 3.13: 5 cm çapında ve 10 cm yüksekliğindeki silindir numune kalıpları.	43
Şekil 3.14: Macun dolgu numunelerinin kalıplara dökülmesi (a ve b) ve numunelerin kalıplardan çıkarılmış görünümü (c).	43
Şekil 3.15: Farklı artık malzemesi ile farklı bağlayıcı oranlarında hazırlanan ÇMD numunelerinin kür sürelerine göre TEBD (a) ve UDH (b) değerlerindeki değişim (Yılmaz ve diğ., 2014).....	44
Şekil 3.16: Pundit deney cihazı (a) ve ölçümü (b).	45
Şekil 3.17: Transdüserlerin (verici ve alıcı) ölçüm için hazırlanması.	46
Şekil 4.1: ÇMD'nin farklı çimento oranlarındaki özgül ağırlığı.....	48
Şekil 4.2: Farklı çimento oranlarındaki sızıntı suyunun pH değerleri.	49
Şekil 4.3: Farklı çimento oranlarında slamp değerleri.	50
Şekil 4.4: 28 günlük kür süresi sonundaki TEBD değerleri.	52
Şekil 4.5: Kür sürelerine göre elde edilen TEBD.	53
Şekil 4.6: Farklı çimento oranlarına göre 3 ile 28 günlük kür sürelerindeki TEBD değerlerinin yüzdesel değişimleri.	54
Şekil 4.7: Farklı çimento oranlarındaki ÇMD numunelerinin 3-7, 7-14 ve 14-28 günlük kür süreleri arasındaki TEBD yüzdesel değişimi.	55
Şekil 4.8: Farklı bağlayıcı oranlarındaki ÇMD'nin kür sürelerine göre UDH değerleri.	57
Şekil 4.9: Farklı bağlayıcı oranlarındaki ÇMD'nin UDH değerleri.	58

Şekil 4.10: Farklı çimento oranlarına göre 3 ile 28 günlük kür sürelerindeki UDH değerlerinin yüzdesel değişimleri.	58
Şekil 4.11: Farklı çimento oranların 3-7, 7-14 ve 14-28 günlük kür sürelerin arasındaki UDH yüzdesel değişimi.	59
Şekil 4.12: Farklı çimento oranlarında TEBD ve UDH ilişkisi.	60



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Kaya dolgu sistemlerinin avantajları ve dezavantajları (Wang ve diğ., 2013).	9
Tablo 2.2: Macun dolguda istenen tek eksenli basma dayanım değerleri.	19
Tablo 2.3: Çeşitli çalışmalarda yapılan 28 günlük tek eksenli basma dayanım sonuçları. ...	19
Tablo 3.1: Artık malzemenin tane boyut dağılım özellikleri.....	37
Tablo 3.2: Artık malzemesinin kimyasal özellikleri (İzki., 2013; Ocak., 2015; Akyol., 2016).....	38
Tablo 4.1: Artık malzemenin özgül ağırlık sonuçları.....	47
Tablo 4.2: Farklı kür sürelerindeki %80 PKO'lu ÇMD numunelerinin TEBD sonuçları.	51
Tablo 4.3: 14 ve 28 günlük kür sürelerindeki TEBD'nin literatür ile karşılaştırılması.	53
Tablo 4.4: Farklı kür sürelerindeki %80 PKO'lu ÇMD numunelerinin UDH sonuçları.	56
Tablo 4.5: UDH-TEBD ilişkisine ait eşitlikler ve korelasyon katsayıları.....	60
Tablo 4.6: Bağlayıcı oranına göre 1 m ³ macun dolguda kullanılacak çimento maliyetleri...	61

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
μm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
Km	: kilometre
gr	: Gram
Kg	: Kilogram
MPa	: Mega paskal
G_s	: Özgül ağırlık
C_c	: Eğrilik katsayısı
C_u	: Üniformluk katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
AMD	: Asit Maden Drenajı
ÇMD	: Çimentolu Macun Dolgu (Cement Paste Backfill)
PKO	: Pülpte Katı Oranı
TEBD	: Tek Eksenli Basma Dayanımı
UDH	: Ultrasonik Dalga Hızı
XRD	: X Işınları Difraktometre
XRF	: X Işını Floresan Spektrometre

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MACUN DOLGU UYGULAMASINDA FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

Behzad AGHATABAY

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN

Son yıllarda cevher hazırlama tesisi artıklarının depolanması sırasında yaşanan çevresel problemlerden dolayı, bu artık malzemelerin yeraltında macun dolgu malzemesi olarak kullanımında büyük bir artış görülmektedir. Yeraltında oluşturulan boşluklara doldurulan bu macun malzeme, genellikle tesis artığının (pülpte katı oranı, PKO %70-%85), çimento (katının ağırlıkça %3-%9'i kadar) ile karışımından oluşmakta ve macun malzemenin dayanım değeri ise karışımda kullanılan bu malzeme oranlarına bağlı olmaktadır. Macun dolgu sistemi, artıkların yeraltında depolanabilmesinin yanı sıra tavan yüklerine bağlı göçüklere karşı da destek görevini üstlenmektedir. Dolayısıyla oluşturulan macun malzemenin zamana bağlı olarak alacağı maksimum dayanım değeri önem kazanmaktadır. Oluşturulan macun dolgu karışımı tavan tahkimatı sağlaması amacıyla istenilen minimum 4 MPa'lık dayanım şartını sağlamalı ve karışım maliyeti minimum olmalıdır. Bu nedenle en uygun çimentolu macun malzeme oranının çalışma sahası şartlarına göre belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, CEM I PÇ 42,5 çimento %3, %5, %7, %9 ve %11 oranlarında sırasıyla %80 PKO'ya göre karıştırılarak macun dolgu malzemesi hazırlandı ve 50mm çapında 100mm yüksekliğindeki silindir kalıplara döküldü. Daha sonra kür sürelerinin etkisinde ortaya konulması amacıyla hazırlanan macun malzeme silindir numuneleri 3,7,14 ve 28 günlük kür sürelerinin sonunda tek eksenli basma dayanımı testine tabi tutuldu. Karışımlarda Kastamonu/Küre Bakır madeni artıkları kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada numunelere kırılmadan önce pundit deneyi yapılarak ultrasonik dalga hızı parametresi ile tek eksenli basma

dayanımı arasındaki ilişki değerlendirilecektir. Bu çalışmaya göre sülfür içerikli bakır madeni artığının optimum karışım oranları (artık, çimento ve su) macun dolgu için belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında sonuç olarak karışım oranları içerisinde maliyet düşünülürken %5 çimentolu dolgu karışımı optimum karışım oranıdır. Tavanı tutma özelliği istenen yeraltı işletmelerde ise ($> 4\text{MPa}$ dayanım) %11 oranında çimentolu karışım uygun olmaktadır.

Sonuç olarak, Türkiye madencilik sektörünün en önemli sorunlarından biri olan artıkların depolanabilirliği konusu, bu tez çalışması ile hedeflenmiştir.

Nisan 2018, 86. sayfa.

Anahtar kelimeler: Macun Dolgu, Artık Yönetimi, Dayanım



SUMMARY

M.Sc. THESIS

**INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PASTE
BACKFILL APPLICATIONS**

Behzad AGHATABAY

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Mining Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN

In recent years, mineral processing tailings during deposition used has created many environmental problems. Nowadays these tailing materials used as a cement paste backfilled material has increased tremendously in the tailing dispose process. This paste material filled in underground voids usually consists of mixture of cement (3-9% by weight), tailings (solid ratio, 70-85%). Whereas strength values of the paste material used depends on the proportion of these materials used in the mixture because of the fact that Paste backfill materials played an important role in the underground supporting system. For a cement paste Backfilled system the maximum strength gained over time is also an important factor under consideration. Paste backfill formed should bear at least a strength of 4MPa for underground support in the meantime the cost of the paste backfill should be minimum and affordable. For all these reasons mentioned above it is important to determine the ratio of the cement paste materials used.

In this study, paste backfill material used was prepared by mixing CEM I PC, 42.5 cement with 80% solid ratio and pour cylinder molds with a diameter of 50mm and a height of 100mm. The paste material samples prepared was exposed to the effects of the curing time process and was subjected to the uniaxial compression strength test at the end of the 3,7,14, and 28 days of curing times. Kastamonu/Küre copper mine tailings used in the mixture and their physical and chemical properties used was revealed before this mixture was prepared, in addition to it in this study the relationship between uniaxial compression strength and ultrasonic P-wave was evaluated as well. Accordingly by determining the optimum mixing ration of the sulfur

containing copper tailing mining it will be possible to reliably use this underground supporting system in the mines.

As a result, when the cost is considered within the mixing ratios, the optimum mix ratio is 5% cement paste mixture. In the underground mining for underground supporting system (> 4 MPa strength) 11% ratio cement paste mixture is suitable.

As a result the aim of this project to enable the effective evaluation of the most important problems of mining industry in Turkey.

April 2018, 86. pages.

Keywords: Paste Backfill, Tailings Management, Strength



1. GİRİŞ

Madencilik tarihsel olarak insani ve toplumsal gelişim için her zaman gerekli olmuştur ve bu nedenle toplumun artan ihtiyaçlarını karşılamak için maden endüstrisine devamlı olarak yatırım yapılması gerekmektedir (Aldhafeeri ve diğ., 2016). Madencilik faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan atık ve artıklar çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan kısa, orta ve uzun vadede zararlı sonuçlar doğurabilmektedir (Kitula, 2006; Başçetin ve diğ., 2017). Özellikle sülfür içeren artıklar madencilik endüstrisinde en ciddi çevresel problemlerden biri olarak kabul edilir (Öhlander ve diğ., 2012). Maden artıkları ile ilgili yaygın olarak karşılaşılan temel problemler; jeokimyasal açıdan su, hava, toprak kaynaklarının kirlenmesi ve jeoteknik açıdan depolanan malzemelerin duraysızlık sorunlarıdır (Çetiner ve diğ., 2006; Kumari et al., 2010).

Macun dolgu yönteminin avantajlarından bazıları çevresel açıdan tehlikeli artıkların yeraltı açıklıklarında depolanması, yeryüzünde depolanan artık miktarının en aza indirilmesi, üretim artışının daha etkin sağlanması, sülfürlü minerallerin oksidasyonunu ve ağır metal mobilizasyonunun kontrol edilmesidir. Ayrıca yeraltı boşlukları için verimli bir tahkimat ile cevher kütlelerinin sürekli ve tamamen kazanılabilmesini sağlamaktadır (Yılmaz ve diğ., 2014, Aldhafeeri ve diğ., 2016).

Çimentolu Macun Dolgu (ÇMD); cevher zenginleştirme işlemleri sonrası ortaya çıkan proses artıklarının çimento bağlayıcısı ve su ile karışımdan oluşan pompalanabilirlik açısından uygun kıvama (6–10 inç slamp) sahip bir malzemedir (Cihangir ve diğ., 2015; Wu ve diğ., 2015; Ouattara ve diğ., 2017). Pülpte katı oranı (PKO) genellikle %70 – 85 arasındadır (Yılmaz ve diğ., 2011, Wu ve diğ., 2015, Li ve Fall, 2016, Jiang ve diğ., 2017). Literatür incelemelerine göre macun dolguda kullanılan bağlayıcı (çimento, puzzolan malzemeler vb.) oranları ve türlerinde farklılıklar görünmektedir. Örnek olarak Wang ve diğ. (2017) çalışmasına göre %1-7; Benzaazoua ve diğ. (2002), Kesimal ve diğ. (2002), Li ve Fall (2016), Ouattara ve diğ. (2017) çalışmalarına göre %3-7; Kesimal ve diğ. (2012) bir başka çalışmasına göre %3-8; Wu ve diğ. (2015), Koohestani ve diğ. (2017) çalışmalarına göre kullanılacak bağlayıcı oranı %2-10 arasında uygulanmaktadır. Dolgu bileşenlerinden her biri, macun dolgunun kısa, orta ve uzun dönemdeki durabilitesini, nakliyesini ve boşluklara yerleştirilmesi gibi işlenebilirlik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir (Akyol, 2016).

ÇMD'deki çimento genel oranının katı madde kütlesinin ağırlıkça %1 ila %10 arasında değiştii literatürden anlaşılmakta olup madencilik faaliyetinin yaklaşık %10 ila %20'si arasında işletme maliyetini oluşturduğu ifade edilebilmektedir. Dolgu malzemesinin tipik maliyeti metreküp başına 2 \$ ila 20 \$ arasında değişebilmektedir. Bu çimento oranlarındaki azalmalar veya artışlar, madenin işletme maliyetlerini önemli derecede etkilemektedir (Benzaazoua ve Belem, 2004).

Bir yeraltı bakır madeni artıklarının macun dolgu olarak kullanılabilirliğinin araştırılması ve dayanım açısından en uygun çimento oranın belirlenmesi amacıyla bu tez çalışması yapılmıştır. Özellikle bu çalışmada kullanılan artık malzemesinin mevcut işletme koşullarında oluşturulan macun malzeme performansı üzerine etkisi olan mukavemet ve maliyet ilişkisi ortaya konulmuştur. Buna göre farklı çimento oranlarında karışımlar hazırlanıp tek eksenli basma dayanım deneyine tabi tutulmuş ve bununla beraber pundit deneyi yapılarak TEBD ve UDH parametreleri arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

Yeraltı maden üretimi sırasında, cevher çıkarımı nedeniyle genellikle birçok boşluk ortaya çıkmaktadır. Bu boşluklar tipik olarak 30 ila 80 m yüksekliğinde ve 20 m × 20 m düzlem boyutunda olup iyi bir dolgu yapılmadığında genellikle zeminde ve yeraltında çökmelere ya da tasmanlara neden olabilir. Bu boşluklarda uygulanabilecek en uygun yöntemlerden biri olan macun dolgu yöntemi eğer kullanılırsa, daha önce kazılmış bu boşluklarda artık malzemesi depolanarak aynı zamanda tahkimat amacıyla faydalanılabilir. Ayrıca, maden üretim alanında tahkimat amacıyla bırakılmak zorunda kalınan büyük cevher topukları, maden kaynaklarının çok büyük ölçüde kaybolmasına neden olacaktır.

Cevher hazırlama sonrasında ortaya çıkan artıklar yaygın olarak artık barajlarında depolanmaktadır. Özellikle kontrolsüz ve risk oluşturan geleneksel artık barajları, yalnızca madenin çevresindeki mevcut arazilerin kullanılmasına değil bununla birlikte çevresel ve canlı yaşamı açısından bazı sorunların oluşmasına neden olabilmektedir (Bentel, 2013, Kossoff ve diğ., 2014). Bu nedenlerden dolayı, macun dolgu yöntemi, büyük miktardaki artıkların yeraltı maden boşluklarına depolanmasıyla sürdürülebilir madencilik açısından etkili bir artık bertaraf yöntemi olarak benimsenmiştir. Dolgu kütlesi, genellikle geçici ya da daimi topuk olarak kullanılabilir. Böylece devamlı kazılar için ilave yapısal tahkimat sağlamak ve mineral kaybını en aza indirebilmektedir (Y1, 2016).

Son yıllarda, artık yönetiminde önemi giderek artan çimentolu macun dolgu (ÇMD) teknolojisi, çevresel, teknik ve ekonomik açıdan önemli faydalarından dolayı dünyadaki yeraltı maden işletmelerinde yaygınlaşarak uygulanmaktadır. Çimentolu macun dolgu (ÇMD) üç temel malzemeye katılaştırılmış yeni bir malzemedir: (1) filtrelenmiş proses artıkları (tipik olarak ağırlığa göre % 70-85 katı madde), (2) hidrolik bağlayıcılar (kuru katı artıklarının ağırlıkça % 3-10), ve (3) boru hattındaki macunun akışkanlığını sağlamak için karışım suyundan oluşmaktadır (Yılmaz ve diğ., 2009; Li ve Fall, 2016; Zheng ve diğ., 2016; Koohestani ve diğ., 2017).

ÇMD ilk kez 1980'lerin başında Almanya'nın Bad Grund Pb-Zn Yeraltı Madeninde uygulanmıştır. Tipik bir ÇMD, çoğunlukla artıklardan, su ve az miktarda çimentodan oluşur. Genellikle ağırlıkça %70-85 arası katı madde içerir ve klasik hidrolik dolgularla

karşılaştırıldığında boru hattından akarken yüksek yoğunluk ve tanelerin ayrışmama özellikleri macun dolguyu karakterize etmektedir (Yı, 2016).

2.1. ARTIKLARIN DEPOLANMASINDA KARŞILAŞILAN TEMEL PROBLEMLER

Madenlerde cevher hazırlama tesisinde gerçekleştirilen zenginleştirmeden sonra mevcut ekonomik şartlar altında geriye kalan değersiz malzemeye maden proses artığı denilmektedir. Artıkların bertaraf edilmesi, jeoteknik ve jeokimyasal stabilizasyon güvenliği açısından önemlidir. Özellikle, depolanan malzemelerin Asit Maden Drenajı (AMD), ağır metal mobilizasyonu gibi jeokimyasal etkilerinin yanı sıra durabilitesini etkileyen dayanım parametreleri açısından jeoteknik özelliklerinin ortaya konulması gerekmektedir (Başçetin ve diğ., 2016b).

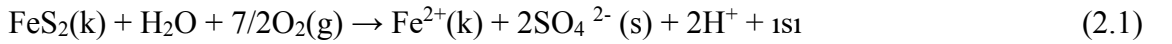
2.1.1. Jeokimyasal Problemler

Artıklar çoğunlukla maden sahası alanı içerisinde bulunan geleneksel artık barajlarına deşarj edilmektedir. Ancak bu depolama yöntemi ekonomik yönden ucuz olmasına karşın çevresel açıdan büyük riskler taşımaktadır. Özellikle yerüstünde atmosferik koşullar altında artık barajlarında depolanan metalik proses artıkları, depolama sonrasında yıllarca ağır metal ve diğer kirlenici maddelerin taşınmasına ve sülfürlü minerallerin oksitlenmesine bağlı olarak asit maden drenajı (AMD) oluşumuna neden olabilmektedir (Jung ve Bıswas, 2002). Bu durum Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Cevher hazırlama sonucu asit maden drenajının oluşumu (Ercikdi ve diğ., 2017).

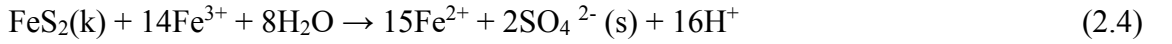
Bakır maden artıkları genellikle pirit açısından zengindir ve arsenik (As), bakır (Cu) ve çinko (Zn) gibi toksik metalleri içerir. Piritin içerisinde bulunan sülfür mineralinin su ve oksijen ile etkileşerek oluşan oksidasyon sonucu ortamın asit miktarı artar. Böylece artıklardaki toksik metallerin daha hızlı çözünmesi gerçekleşir ve ortamdaki ağır metal konsantrasyonu yükselir. Örneğin, sülfürlü artıklar, yani genellikle pirit, nemli ortam şartları altında hava ile temas ettiğinde oksitlenir. Bu tepkime (Eşitlik 2.1), AMD oluşumunda başlangıç adımıdır (Karadeniz, 2011; Ercikdi ve diğ., 2017).



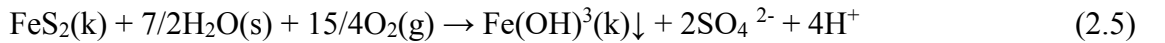
Ardından, Fe^{2+} yükseltgenir (Eşitlik 2.2), tepkime ürünü Fe^{3+} hidrolize uğrayarak (2.3) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ halinde çöker.



Güçlü bir oksitleyici olan Fe^{3+} bir miktar daha piritin oksitlenmesine neden olur (tepkime (2.4)) ve bir döngü gelişir.



Piritin oksitlenmesini kapsayan döngünün ifadesi [2.5] numaralı toplam tepkimedir.



2.1.2. Jeoteknik Problemler

Artık barajlarında, ince taneli maden artıkları tamamen doymuş hale geldiğinde ve iklim koşullarına bağlı olarak hidrostatik basınçlara maruz kaldıklarında stabilizasyon sorunları ortaya çıkabilir. Bu stabilizasyon sorunları, artık barajlarının fiziksel ve kimyasal açıdan tahribatlı çamur akışlarına neden olabilir (Başçetin ve Tüylü, 2017). Artık barajları aşağıdaki durumlarda stabilizasyon problemler ile karşılaşabilir; (a) artık barajlarının uygun olmayan tasarımları, inşaatı, işletilmesi ve idaresi; (b) olumsuz iklim koşulları (yoğun yağış gibi); (c) barajın yetersiz yüksekliği ve aşırı bertaraf edilmesi; (d) zemin koşulları, sıvılaşma, şev istikrarsızlığı ve deplasmanı; ve (e) drenaj koşulları, kaçak ve gözenek su basıncı (Azam ve Li, 2010).

Sürekli olarak barajlardaki artık miktarının artması nedeniyle boşluk suyu basınçları da aşırı bir şekilde artabilir. Boşluk suyu basınçlarındaki artış, artıkların efektif gerilmelerinin ve kayma mukavemetinin azalmasına neden olur. Dolayısıyla, artık barajının kademeli olarak yapımı sırasında, bir dolgu şevinin dengesiz hale gelebileceği potansiyel tehlikeli bir stabilite durumu ortaya çıkabilir (Zardari, 2011).

Yeraltı maden üretimi sırasında, cevherin çıkarıldığı alanlar yeraltında boşluklara neden olur. Bu yeraltındaki boşluklar jeoteknik problemlere ve genellikle tasmana neden olabilir (Walske, 2014). Dolgu, yeraltı maden üretimi ile ortaya çıkan tasmanı kontrol etmenin etkili bir yoludur. Tasman, özellikle yeraltı maden üretimi derinleştikçe daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Çimentolu macun dolgu (ÇMD), boşlukların stabilitesini önemli ölçüde artırırken tasmanı da engelleyebilmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir dolgu doldurma yöntemidir (Zhang ve diğ., 2017).

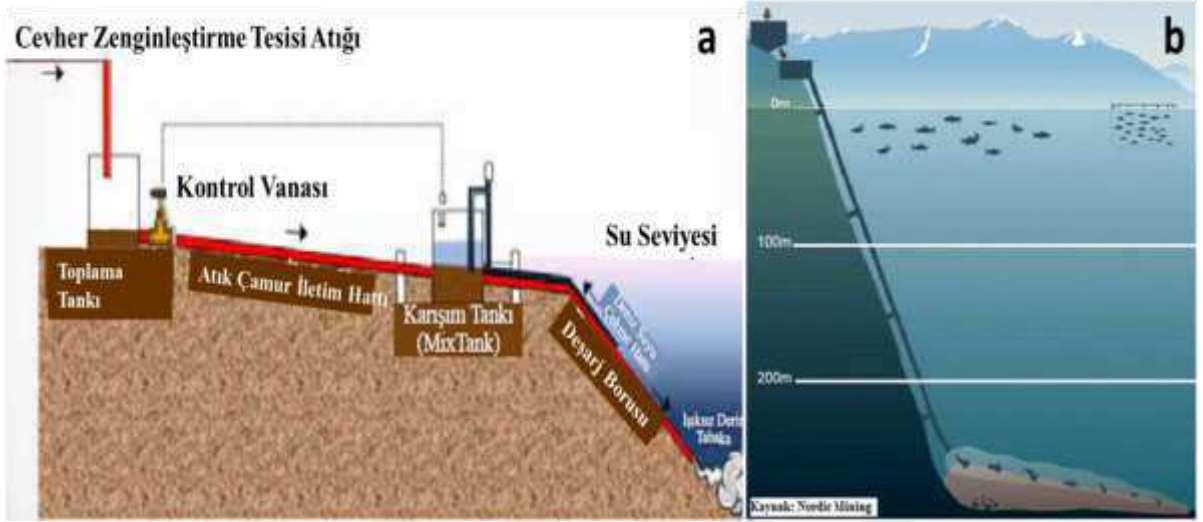
2.2. ARTIKLARIN BERTARAF ETME YÖNTEMLERİ

Günümüzde gittikçe artan çevresel ve düzenleyici kısıtlamalar, artıkların emniyetli ve güvenli bir şekilde yönetilmesini gerektirmektedir. Cevher işleme sırasında üretilen artıklar, (a) artık barajlarında, (b) mevcut derin deniz bölgelerinde ve (c) yeraltı maden boşluklarında dolgu olarak depolanmaktadır (Ercikdi ve diğ., 2017).



Şekil 2.2: Alaska'da Fort Knox altın madeni artık barajı (Tüylü, 2016)

Derin deniz deşarjı yönteminin kullanılabilmesi için maden sahasının denize çok yakın olması gereklidir (Şekil 2.3). Bu yöntem yerine, iyi inşa edilen, denetlenen ve kontrol edilen artık barajları dünya genelinde artık yönetimi / depolama için daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.2) (Ercikdi ve diğ., 2017).



Şekil 2.3: Maden atıklarının derin deniz deşarjı (Esen, 2015).

Caldwell ve diğ. (2015) tarafından çalışmalarına göre dünya çapında 3500'den fazla artık barajının bulunduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, özellikle 1960-2017 yılları arasında yılda ortalama 2-5 artık barajı kazaları meydana gelmiştir. En son artık baraj kazası 30 Haziran 2017 tarihinde Mishor Rotem, İsrail'de yaşandı ve 100000 metreküp asidik artık suyu serbest bırakıldı. Bu toksik artık su, kuru Ashalim nehir yatağından taşı ve arkasından 20 km de fazla mesafe boyunca ekolojik tahribat bıraktı (USCOLD ve diğ., 2017). Bu kazalar, insanların hayatlarını kaybetmesine, çevredeki yapıların hasar almasına, tarım ve ormancılık arazilerinin tahribatına ve olumsuz çevresel etkilere (su kirliliği gibi) neden olmuştur.

2.2.1. Yeraltı Dolgu Yöntemleri

Yeraltında üretim sırasında oluşan boşluklar, her zaman çökme riski taşımaktadır. Dolayısıyla madencilik tarihinde bunun gibi tehlikeleri önlemek amacıyla bu boşlukların yeniden doldurması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında genellikle kaya dolgu, hidrolik dolgu ve çimentolu macun dolgu yöntemleri uygulanmaktadır.

2.2.1.1. Kaya Dolgu Yöntemi

Üretim sonucu oluşan boşlukların büyük tane boyutlu malzeme ile doldurulması işlemidir. Kaya dolgu olarak; yan kayaçlar, taş ocağı artıkları ve agrega, dekapaj malzemeleri, cevher hazırlama tesis artığındaki büyük boyutlu malzemeler ve nehir çakılları gibi malzemeler kullanılabilir. Kaya dolgu genellikle yerüstü tesisinde hazırlanarak, yeraltında uygulanacağı bölgeye kamyon ya da farklı araçlarla taşınarak dolgu malzemeleri doğrudan boşluklara dökülmektedir (Wang ve diğ., 2013).

Kaya dolgu yöntemi, yeraltı madenciliğinde bazı durumlarda uygulanabilen ekonomik bir dolgu yöntemidir. Bu yöntem, yerüstündeki artık malzemelerinin azaltılmasını ve kullanılabilir arazilerin korunmasını sağlamaktadır. Ayrıca, maden boşluklarının durabilitesini artırır, tasman oluşumunu ve göçükleri azaltır (Sheshpari, 2015).

Kaya dolgusunda, dolgu malzemelerinin nakliyesi için kullanılan ekipmanlarla ilişkili olarak (I) yan-döküm vagon, (II) bant konveyörü ve (III) kamyon ve sıyırıcı kombinasyonu gibi üç çeşit yöntem bulunmaktadır. Bu üç yöntemin avantaj ve dezavantajları Tablo 2.1’de verilmiştir (Wang ve diğ., 2013).

Kaya dolgusunun avantajları ve dezavantajları aşağıda özetlenmiştir (Hefni, 2014);

❖ Kaya Dolgu Avantajları:

- Yerüstü artık depolamayı azaltır.
- Hazırlama sistemi nispeten basittir.
- Çimento kullanıldığında yüksek mukavemet elde edilebilir.
- Güvenli çalışma ortamı sağlar.

❖ Kaya Dolgu Dezavantajları:

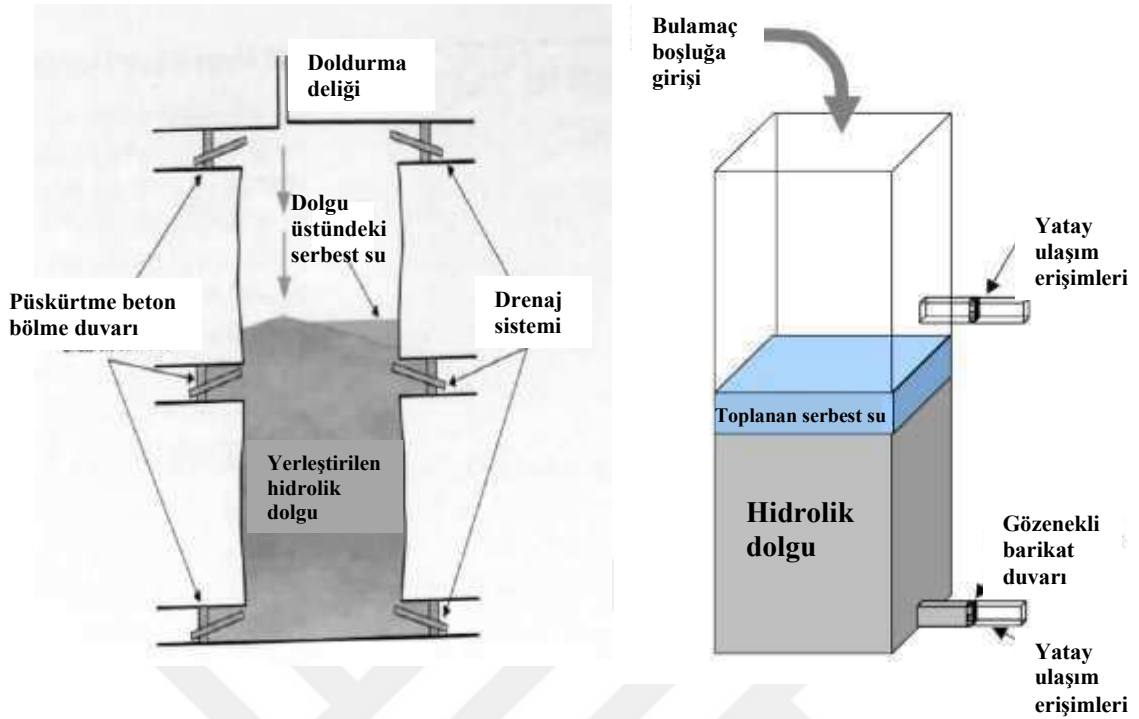
- Artık kayanını, öğütülmesini ve nakliyesini gerektirir, bu da maliyetleri artırır.
- Dolgu içindeki boşluklar nedeniyle ince taneler ve bağlayıcı maddelerin eklenmesini gerektirebilir.
- Kaya dolgusu homojen olmadığı için dayanımı düşmektedir.

Tablo 2.1: Kaya dolgu sistemlerinin avantajları ve dezavantajları (Wang ve diğ., 2013).

Yöntem	Uygulanabilir alanlar	Avantajlar	Dezavantajlar
I	İyi stabiliteye sahip küçük boyutlu boşluklar	(a) Kullanımı kolay; (b) Az ekipman ihtiyacı	(a) Yüksek işgücü yoğunluğu; (b) Düşük verimlilik
II	Doldurma çalışma yüzeyi Tavan taşı yakınında olması	(a) Yüksek kapasite; (b) Esnek operasyon;	(a) Pahalı cihazlar; (b) Kompleks yapı
III	Kamyon kullanılan maden ocakları	(a) Yüksek kapasite; (b) Geniş uygulama aralığı	(a) Lastiklerin fazla aşınması; (b) Hava kirliliği

2.2.1.2. Hidrolik Dolgu Yöntemi

Hidrolik dolgu yeraltında yüksek yoğunluklu çamur benzeri karışımın sondaj kuyuları ve boru hatları yoluyla uygun bölgelere sevk edilmesi işlemidir. Hidrolik dolguda maden artıkları, nehir kumları ve kırmataş kumları gibi malzemeler yeraltı maden boşluklarını doldurmak için kullanılır (Yao ve diğ., 2012). Şekil 2.4'te hidrolik dolguya bir örnek gösterilmektedir. Hidrolik dolgu yeraltı uygulamasında, dolgunun yapıldığı bölgeden suyun drenajı, dolgulu yerin barikat ile kapatılması ile yapılır. Hidrolik dolgu malzemesi, boşluğun üst kısmından boşluğun içine doğru dökülür. Hidrolik dolgu malzemesinin yüksekliği artarken, dolgu üstünde serbest su birikir ve bu su boşaltılmalıdır. Hidrolik dolgu oluşturulmadan önce, boyutu 1 μ m'dan daha az olan taneler genellikle dolgu malzemenin geçirgenliğini artırmak için karışım malzemesinden çıkarılır. Ayrıca 10 μ m'dan küçük boyuttaki parçacıklar da %10'dan daha az olmalıdır. Hidrolik dolguda hacimce katı oranı genellikle %40 ve %50 arasında değişmektedir. Hidrolik dolgu malzemesinin geçirgenliği 10^{-5} ila 10^{-6} m/sn arasında olmalıdır (Sheshpari, 2015).



Şekil 2.4: Hidrolik dolgu örneği (Sheshpari, 2015).

Drenaj, hidrolik dolgu tasarımında en önemli faktördür. Çünkü bu bölümdeki ihmal, sıvılaşma, tıkanma ve boru hattı problemleri gibi çok sayıda aksamalara neden olmaktadır. ABD Wyoming bölgesindeki kömür madenlerindeki oda-topuk yeraltı madenciliği hidrolik dolgu yöntemlerine örnek olarak verilebilir (Sheshpari, 2015).

Hidrolik dolgu avantajları ve dezavantajları aşağıda özetlenmiştir(Hefni, 2014);

❖ Hidrolik Dolgu Avantajları :

- Alt yapı sisteminin kurulması ve operasyonun yürütülmesi daha basittir.
- Dolgu karışımının tesiste hazırlanması kaliteyi artırır.
- Boru hatları optimize edilerek pompalama ihtiyacı önlenebilir (yerçekimi kullanımı).

❖ Hidrolik Dolgu Dezavantajları :

- Dolgu malzemesi içindeki fazla suyun uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlem hem madencilik faaliyetlerinin uzamasına hem de maliyet artışına neden olmaktadır.

- Dolgu malzemesinin içindeki aşırı su çimentonun aktif olmasını engellediği için dayanımını düşürmektedir.
- Barikat sistemi maliyetinin artmasına neden olur.

2.3 Çimentolu Macun Dolgu (ÇMD)

Madencilik faaliyetlerinde, macun dolgusu, madencilerin üzerinde çalışması için istikrarlı bir platform sağlamak üzere daha önceden çıkarılmış cevher boşluklarına yerleştirilir ve yeraltındaki boşlukların bitişik galerilerle olan temas alanını azaltarak boşluk duvarları için zemin desteği sağlamaktadır. Yeraltı macun dolgusu sadece topuklara ve boşluk duvarlarına zemin desteğini sağlamakla kalmaz aynı zamanda tasmanları önleyerek topuğun geri kazanımına yardımcı olur ve böylece verimliliğin geliştirilmesine katkıda bulunur (Ercikdi ve diğ., 2017).

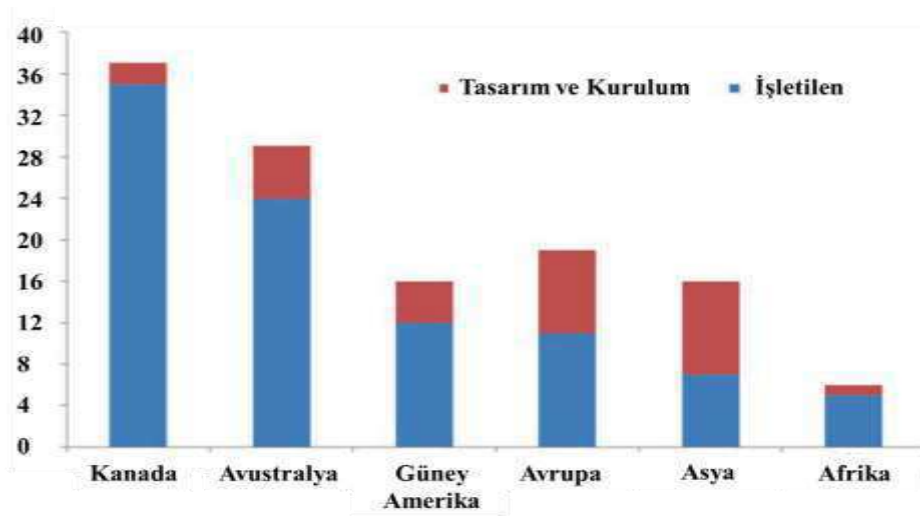
Çimentolu macun dolgu (ÇMD) diğer dolgu yöntemleri olan kaya ve hidrolik dolgu ile karşılaştırıldığında, aşağıdaki gibi önemli teknik, ekonomik ve çevresel yararlar sunmaktadır (Ercikdi ve diğ., 2017).

❖ Çimentolu Macun Dolgunun Avantajları

- Çimentolu macun dolgu, artıkların büyük bir bölümünün yeraltı boşluklarına geri yerleştirilmesini sağlar ve böylece artıkların bertaraf edilmesi için alan ve rehabilitasyon maliyetlerini önemli ölçüde azaltır.
- Yeraltı boşluklarına nakli esnasında macun dolgusunun taneleri arasında ayrışma gerçekleşmemektedir. Bu nedenle, ÇMD'nin daha homojen bir şekilde boşluklara deşarjı gerçekleşebilmektedir.
- Artık malzemeyle beraber olan proses suyunun yaklaşık % 90'ı tikiyer ve filtrasyon işlemleriyle geri kazanılabilir.
- ÇMD düşük geçirgenliğe sahiptir ve dolayısıyla yer altı sızıntısını önlemek için bir bariyer görevi görür. Aynı zamanda, oksijen difüzyonunu engelleyerek asit maden drenajının (AMD) oluşumunu da azaltır.
- ÇMD 'nin bir boru hattı sistemi vasıtasıyla taşınması, geleneksel nakliye sistemlerinin yol açtığı problemleri (tahkimat sistemlerine zarar, trafik sorunları vb.) azaltır.

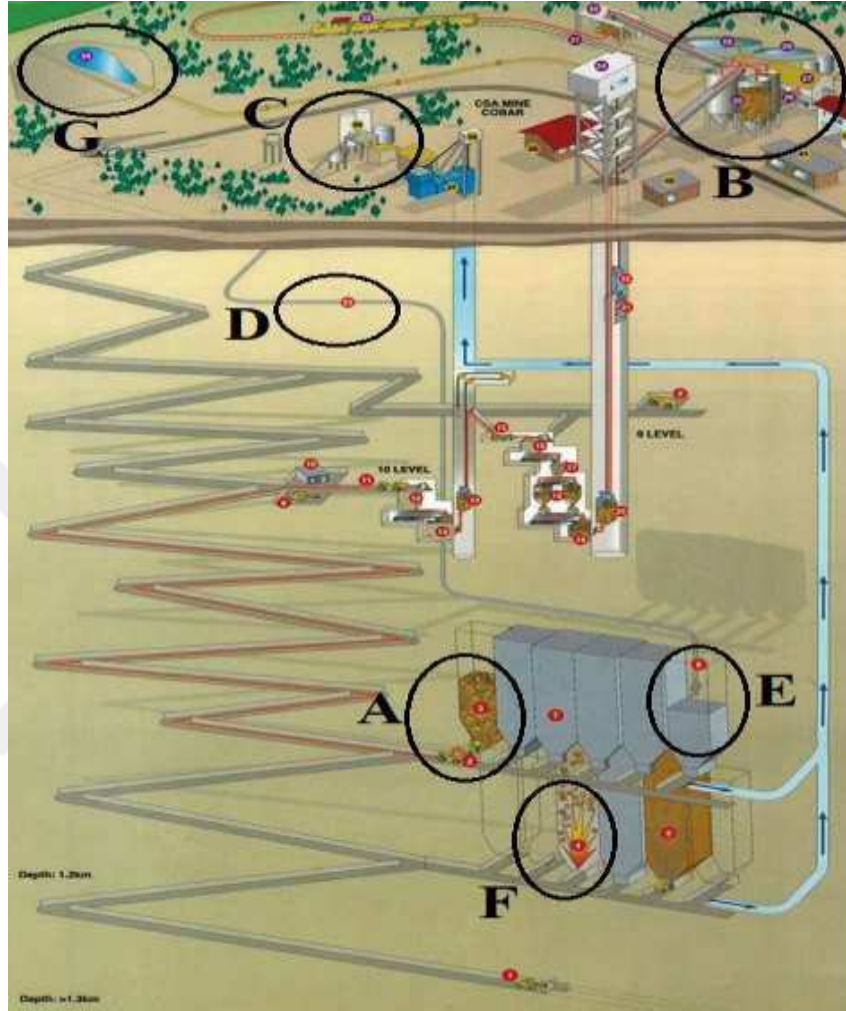
- ÇMD, hızlı bir şekilde dayanım kazanır ve böylece hidrolik dolgu ile karşılaştırıldığında madencilik döngüsünün süresi azalır.
 - ÇMD 'ye eklenen çimento, dayanım artışı sağlar ve asit nötrleştirme potansiyelini artırarak geçirgenliği ve AMD oluşumunu azaltır.
- ❖ Çimentolu Macun Dolgusu Dezavantajları
- Artıkların susuzlaştırılması işlemlerinin yatırım ve işletme maliyeti yüksektir.
 - Macun dolgusu, yüksek yoğunluklu dolgu malzemesinin yeraltı boşluklarına aktarılması için yüksek bir pompalama basıncı gerektirir. Bu pompalama bakım ve enerji maliyetlerini artırır.
 - Sülfür minerallerin, oksijen ve su varlığında oksidasyonu uzun süreli istikrarsızlık sorunlarına neden olabilir.
 - Macun dolgudaki en uygun karışımı, artık malzemesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değiştirebilmektedir.
 - Macun dolgu, teknolojik yenilikleri takiben nitelikli bir mühendislik çalışması gerektirir.

Macun dolgu teknolojisi son 30 yılda önemli gelişme kaydetti. 12 m³/h'den 200 m³/h kapasiteye kadar olan 100'den fazla macun dolgu tesisi tüm dünyada aktiftir. Ayrıca, bunlara ek olarak yaklaşık 30 tesis tasarım ve kurulum aşamasında olduğu bilinmektedir (Ercikdi ve diğ., 2017) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Dünya çapında macun dolgu teknolojisi kullanımı (Ercikdi ve diğ., 2017).

Kes-doldur üretim yönteminin uygulandığı tipik bir yer altı maden işletmesinin şematik görünümü Şekli 2.6 verilmiştir (Walske, 2014).

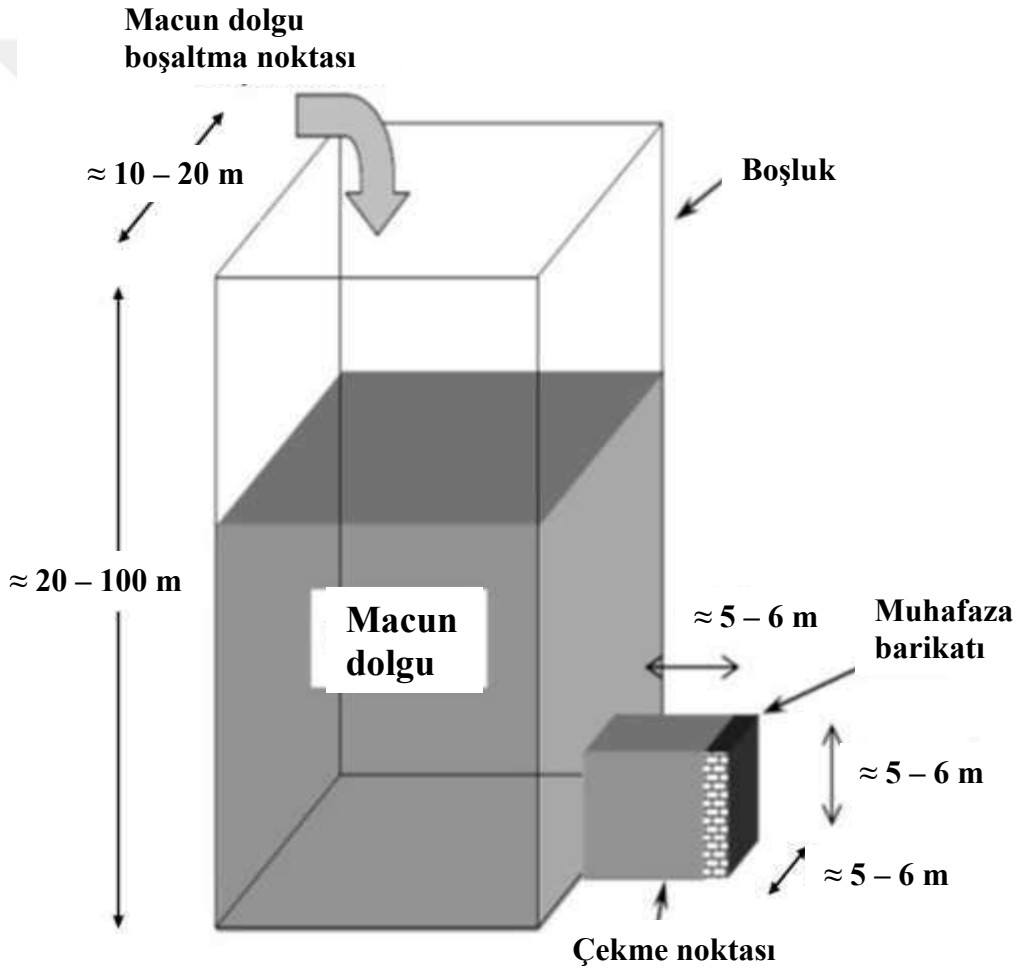


Şekil 2.6: ÇMD kullanımını gösteren tipik bir kes-doldur madenciliğin şeması (Walske, 2014).

Şekil 2.6'da belirtilen harflerle ilgili işlemlerin özellikleri şöyledir; A: boşluktan cevher çıkarımı, B: Cevherin işlendiği konsantratör ve tikiyerde artıklar, artık depolama tesisi ya da dolgu için üretilir, C: Macun dolgu bileşenlerinin karıştırıldığı dolgu tesisi, D: Macun dolgu tesisinden boşluklara dolguyu taşıyan nakliye sistemi (pozitif deplasmanlı pompa vb.), E: Kazılan bir boşluğa dolgunun depolanması, F: Bir boşluğun patlatılması, yandaki dolgu malzemesinin açığa çıkması, G: Artık depolama tesisi.

Dolgu malzemesinin ilk yapım aşamalarında ince tane fraksiyonununun (artık malzemesi) neden olduğu karmaşık davranışlardan sakınmak amacıyla genellikle kayaç veya iri taneli artık

malzemesi çimento gibi bağlayıcı maddelerle karıştırılarak kullanılmıştır. Günümüzde, çimentolu macun dolgunun (ÇMD) geliştirilmesi ile beraber ince taneli artıkların daha fazla kullanılması sağlanmış ve bunun sonucu olarak artık barajlarında depolanan malzeme miktarı azaltılmıştır. Ayrıca, dolgu karışımının içerisinde yer alan ince taneli malzemenin artması sonucu dolgu malzemesindeki tanelerin ayrışmaması sağlanmış ve böylece pompa yardımı ile nakledilerek süreklilik sağlanmıştır. Bu durumun bir diğer avantajı ise, doldurulan boşlukların daha homojen bir şekilde doldurulması gerçekleştirilebilmektedir. (Walske, 2014).



Şekil 2.7: Tipik bir yeraltı boşluk yapısında dolgu şekli (Walske, 2014).

Şekil 2.7 tipik bir boşluk doldurma tasarımını göstermektedir. Burada ÇMD, boşluğun üstünden boşaltılır ve cevherin başlangıçta çıkarıldığı, taban kısmındaki "çekme noktası" boyunca açılan bir barikat ile sınırlandırılır.

2.3.1. Macun Dolgu İçeriği

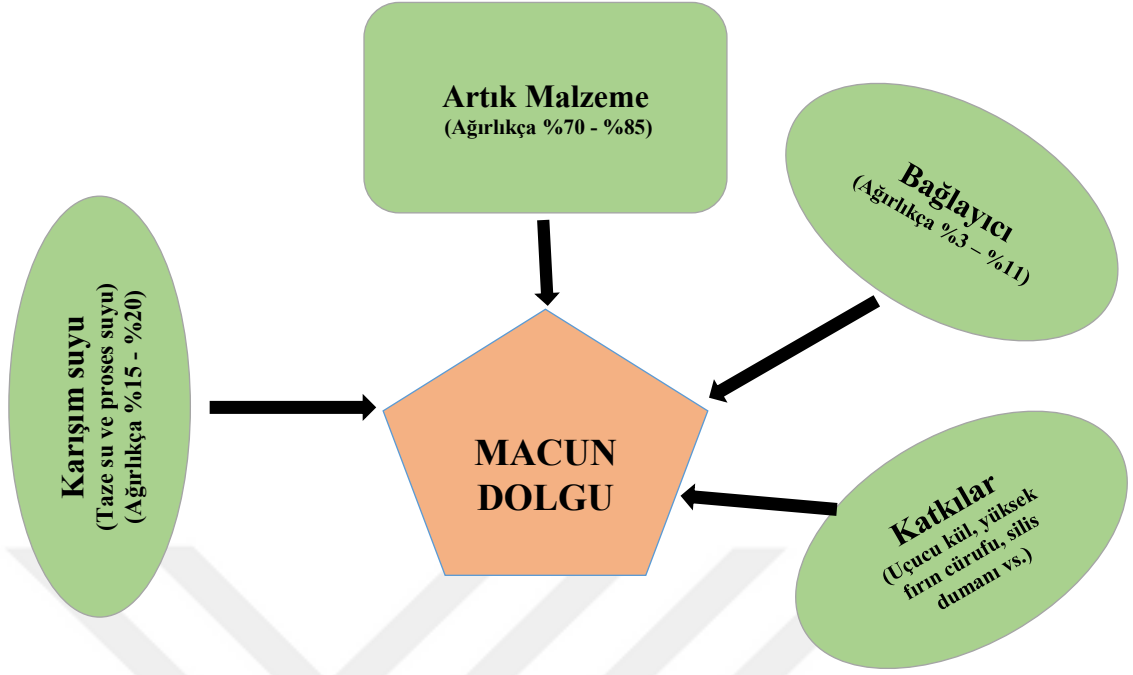
Macun dolgusunun dayanımını, çevresel açıdan riskini ve pompalanabilirlik kalitesini etkileyen ana bileşenleri Şekil 2.8'de gösterilmektedir. Bunlar (Belem ve Benzaazoua, 2007);

- Artık malzemesinin fiziksel ve jeokimyasal özellikleri;
 - Özgül ağırlık,
 - Tane boyut dağılımı,
 - Tane şekli,
 - Tanelerin spesifik yüzey alanı,
 - Permeabilite,
 - Porozite,
 - Mineraloji,
 - Elementel içerik.

Bağlayıcı malzeme türleri ve oranı (Jung ve Bıswas, 2002; Benzaazoua ve diğ., 2004; Ercikdi ve diğ., 2009; Yılmaz ve diğ., 2009)

- %3-%10 çimento (CEM-I, CEM-III ve CEM-IV vb.)
- Puzzolan malzemeler
 - %1,5-%5 uçucu kül,
 - %2,4-%8 yüksek fırın cürufu,
 - %1,8-%6 silis dumanı vb.)
- Karışım suyunun kimyasal özellikleri,
 - Sülfat konsantrasyonu,
 - pH,
 - Redoks potansiyeli (Eh),
 - Elektriksel iletkenlik.

Her bileşen, dolgu dolumunda, akışında, yerleştirildiğinde ve uzun süreli sertleştirmede önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 2.8: Macun dolguyu oluşturan bileşenler (Belem ve Benzaazoua, 2007; Koohestani ve diğ., 2017).

ÇMD sertleşmesinde tanenin yüzey alanlarında dolgu partikülleri arasında yapışma meydana gelir. Çeşitli bağlayıcı madde türleri kullanılmaktadır. Ancak en yaygın olanı Portland çimentosudur (CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V). Gereken Portland çimentosu miktarını azaltmak ve dolayısıyla maliyetleri azaltmak için bazen puzolanik malzemeler katkı maddesi olarak kullanılır. Toz haline getirilmiş uçucu kül ve yüksek fırın cürufu, katkı olarak kullanılan en popüler puzolanlardır.

Karışım içerisindeki katı yüzdesi, nakliye için gereken karışım reolojisini ödün vermeden azami artık hacminin kullanılmasını sağlar. Katı miktarı; bağlayıcı miktarı, artık miktarı (pülpte katı oranı (PKO)) ve su miktarı sırayla 2.6, 2.7, 2.8 ve 2.9 denklemlerine göre hesaplanır (Belem ve Benzaazoua, 2007).

$$M_{katı} = M_{bağlayıcı} + M_{kuru\ artık} \quad (2.6)$$

Burada : $M_{katı}$: katı miktarı (Kg), $M_{bağlayıcı}$: bağlayıcı miktarı (Kg), $M_{kuru\ artık}$: artık miktarı (Kg);

$$B_{w\%} = \frac{M_{bağlayıcı}}{M_{katı}} \times 100 \quad (2.7)$$

Burada : B_w : Bağlayıcı oranı (%);

$$PKO_{w\%} = \frac{M_{katı}}{M_{su} + M_{katı}} \times 100 = \frac{M_{bağlayıcı} + M_{kuru\ atık}}{M_{su} + M_{bağlayıcı} + M_{kuru\ atık}} \times 100 \quad (2.8)$$

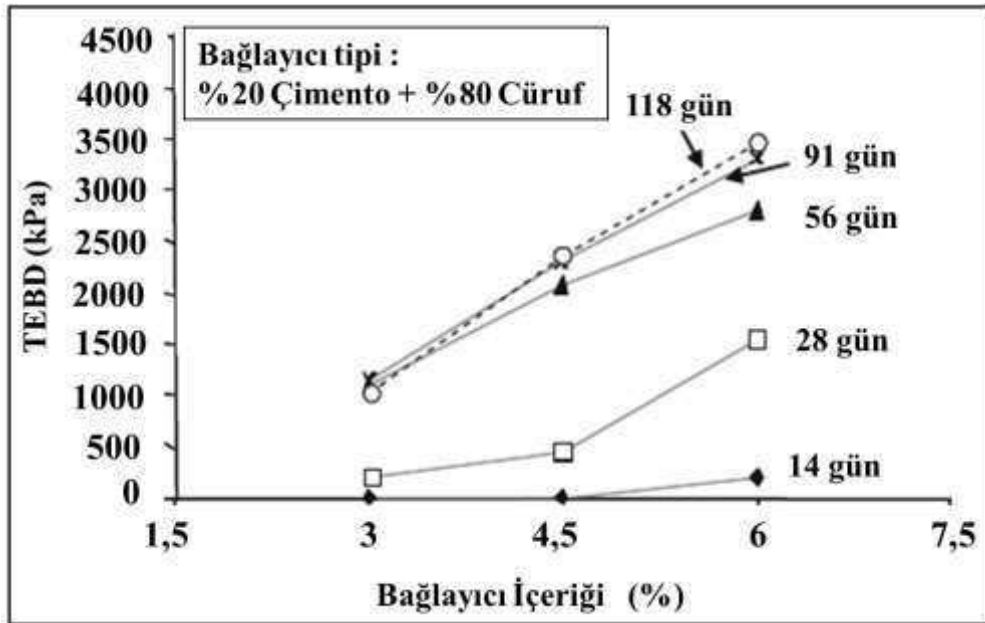
Burada : PKO: pülpte katı oranı (%), M_{su} : su miktarı (Kg)

$$W(\%) = \frac{M_{su}}{M_{katı}} \times 100 \quad (2.9)$$

Burada : W: su oranı (%).

2.3.2. Dayanım ve Durabilite

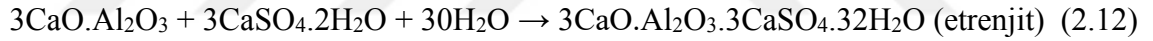
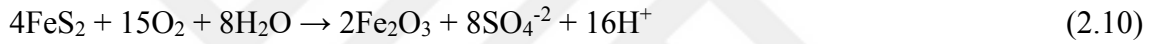
Belirli bir dayanım kazanma süresi için macun dolgu dayanımı bağlayıcı içeriğiyle doğru orantılıdır (Şekil 2.9). Son zamanlarda elde edilen deney sonuçlarına göre macun dolgu malzemesi içindeki sertleştirme işleminin yalnızca bağlayıcı hidrasyonundan değil, aynı zamanda macun boşluk suyundan hidratlanmış fazların çökmesinden kaynaklandığını göstermiştir (Belem ve Benzaazoua, 2007).



Şekil 2.9: Farklı bağlayıcı oranı ve kür sürelerine sahip macun malzemenin TEBD değerleri (Belem ve Benzaazoua, 2007).

Yeterli bağlayıcı hidratasyonu olmadan dolgu, gereken dayanımı ve sertliği karşılayamaz. Macun dolgusunu yeraltına pompalanabilmesi için gerekli olan kıvamın oluşturulmasında taze su eklenmektedir. Macun dolgusunun hacimsel su içeriği daima normal portlant çimentosunun hidratasyon gereksinimlerini aşmaktadır. Asıl sorun, suyun pH ve sülfat tuzlarının içeriğidir. Asitik su ve sülfat tuzları dolgu içinde çimentolu bağlara saldırır, bu da mukavemet, dayanıklılık ve stabilite kaybına neden olur (Benzaazoua ve diğ., 2004).

Piritin bozunması sonucu oluşan sülfat iyonları (Eşitlik 2.10) bağlayıcı hidratasyonu ile oluşan kalsiyum hidroksit $[Ca(OH)_2;CH]$ ve trikalsiyum alüminat $[3CaO.Al_2O_3;C_3A]$ ile reaksiyona girerek jips ($CaSO_4.2H_2O$) ve etrenjit ($3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$) oluşmaktadır. Jips ve etrenjit (Eşitlik 2.11 ve 2.12) dolgu ve beton içerisinde hacim artışı ile 70-200 MPa'lık içsel gerilme oluşturarak beton ve dolguda çatlamalara neden olmaktadır (Tariq ve Nehdi 2007; Glasser ve diğ., 2008).



Bu amaçla yerleştirilen dolgunun 28 günlük kür süresi sonunda en az 0,7 MPa'lık dayanım kazanması gerektiği belirtilmektedir (Landriault, 1995). Ayrıca ekipman ve işçiler için çalışma platformu işlevini sağlayacak dolgunun da erken kür sürelerinde yüksek dayanım kazanması gerektiği belirtilmiştir (Belem ve Benzaazoua, 2008). Macun dolgunun tavan tahkimatı sağlaması amacıyla yeraltı üretim boşluklarına yerleştirilmesi durumunda ise dolgunun minimum 4 MPa'lık bir dayanıma sahip olması gerekmektedir (Belem ve Benzaazoua, 2007; Erçıkıdı, 2009; Kesimal ve diğ., 2012). Macun dolgunun daha erken kür sürelerinde istenen dayanım kazanımını sağlaması, yan cevher damarlarının üretimi için gerekli bekleme süresini kısaltmaktadır. Macun dolgunun yeraltındaki konumuna ve işlevine bağlı olarak literatürde belirtilen dayanım değerleri Tablo 2.2'de verilmiştir. Ayrıca bu konudaki farklı araştırmacıların çalışmalarında elde ettikleri 28 günlük kür süresinin sonundaki dayanım değerleri ise Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Macun dolguda istenen tek eksenli basma dayanım değerleri.

Kaynaklar	TEBD	Kür süresi	Açıklama (Artık türü)
US EPA (US Environmental Protection Agency), 1989	≥ 345 kPa	-	Macun dolgu
Brackebusch, 1994	0,7 – 2 MPa	-	Macun dolgu
Benzaazoua ve diğ., 1999	$\geq 0,7$ MPa	28	Macun dolgu (polimetallik maden: bakır, çinko, altın ve gümüş)
Belem ve Benzaazoua, 2007	1 MPa	-	Kendi kendini ayakta tutabilen macun dolgu
	≥ 5 MPa	-	Tavanı tutmada macun dolgu
Ercikdi ve diğ., 2010	$\geq 0,7$ MPa	28	Macun dolgu (bakır-çinko)
Kesimal ve diğ., 2012	≥ 1 MPa	28	Kendi kendini ayakta tutabilen macun dolgu (bakır)
	≥ 4 MPa	28	Tavanı tutmada macun dolgu (bakır)
Ercikdi ve diğ., 2014	≥ 1 MPa	28	Kendi kendini ayakta tutabilen macun dolgu (bakır)
Cihangir ve diğ., 2015	≥ 1 MPa	28 ve 365	Macun dolgu (bakır-çinko)
Li ve Fall, 2016	≥ 1 MPa	28	Kendi kendini ayakta tutabilen macun dolgu (suni artık: silis artığı)
Başçetin ve diğ., 2016a)	2-5 MPa	28	Macun dolgu (kurşun-çinko)
Chen ve diğ., 2017	≥ 3 MPa	7	Macun dolgu (fosfat)

Tablo 2.3: Çeşitli çalışmalarda yapılan 28 günlük tek eksenli basma dayanım sonuçları.

Kaynaklar	Açıklama		28 günlük TEBD	
(Benzaazoua ve diğ., 2002)	%78 PKO	Bağlayıcı türü: %100 çimento	Oran : %3	56 kPa
			Oran : %4,5	780 kPa
			Oran : %7	1450 kPa
		Bağlayıcı türü: %50 çimento + %50 uçucu kül	Oran : %3	24 kPa
			Oran : %4,5	86 kPa
			Oran : %7	640 kPa
(Jung ve Biswas, 2002)	%79,5 PKO	Bağlayıcı : %3 çimento	0,80 MPa	
		Bağlayıcı : %6 çimento	2,23 MPa	
		Bağlayıcı : %9 çimento	4,55 MPa	
		Bağlayıcı : %12 çimento	5,65 MPa	
(Benzaazoua ve diğ., 2004)	%78 PKO	Bağlayıcı türü: %50 NPÇ* + %50 PÇ V**	Oran : %3	215 kPa
			Oran : %4,5	405 kPa
			Oran : %7	745 kPa
		Bağlayıcı türü: %50 NPÇ + %50 uçucu kül	Oran : %3	160 kPa
			Oran : %4,5	495 kPa
			Oran : %7	980 kPa
		Bağlayıcı türü: %20 NPÇ + %80 yüksek fırın cürufu	Oran : %3	210 kPa
			Oran : %4,5	530 kPa
			Oran : %7	980 kPa

Tablo 2.3 (devam): Çeşitli çalışmalarda yapılan 28 günlük tek eksenli basma dayanım sonuçları.

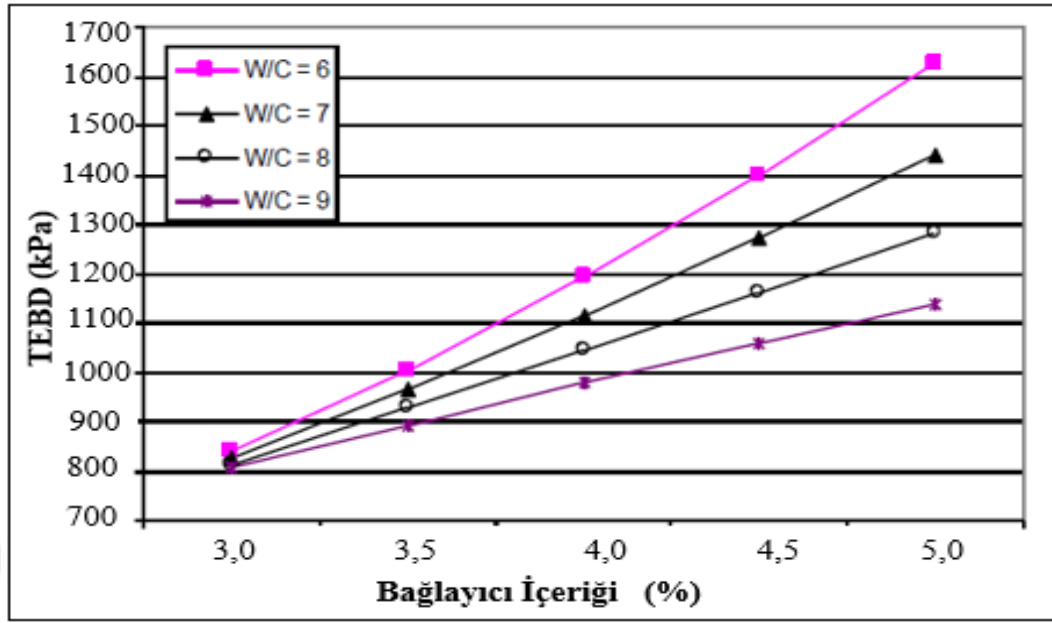
(Kesimal ve diğ., 2005)	%82,8 PKO (Artık T1)	%4 portland puzzolanlı çimento	340 kPa	
		%5 portland puzzolanlı çimento	505 kPa	
		%6 portland puzzolanlı çimento	560 kPa	
		%7 portland puzzolanlı çimento	780 kPa	
	%81,5 PKO (Artık T2)	%4 portland puzzolanlı çimento	375 kPa	
		%5 portland puzzolanlı çimento	400 kPa	
		%6 portland puzzolanlı çimento	485 kPa	
(Yılmaz ve diğ., 2009)	%78 PKO, Hacimsel katı içeriği: %50,8 – 50,2 Bağlayıcı türü: %100 NPÇ	Oran : %3	184 kPa	
		Oran : %5	275 kPa	
		Oran : %7	467 kPa	
		Oran : %10	924 kPa	
	%78 PKO, Hacimsel katı içeriği: %50,8 – 50,2 Bağlayıcı türü: %20 NPÇ + %80 cüruf	Oran : %3	594 kPa	
		Oran : %5	1507 kPa	
		Oran : %7	2131 kPa	
(Yılmaz ve diğ., 2011)	%78 PKO, bağlayıcı : %20 NPÇ + %80 Cüruf	Bağlayıcı oranı: %3	0,98 MPa	
		Bağlayıcı oranı: %4,5	1,49 MPa	
		Bağlayıcı oranı: %7	2,74 MPa	
(Yin ve diğ., 2012)	Katı kütlesi : %68 artık, %12 cüruf %20 çimento	74 PKO	3,14 MPa	
		76 PKO	4,10 MPa	
		78 PKO	5,75 MPa	
		80 PKO	7,25 MPa	
(Ercikdi ve diğ., 2014)	%77,25 PKO (Artık T1***)	Bağlayıcı: %5 CEM III/A 42,5 N	0,57 MPa	
		Bağlayıcı: %6 CEM III/A 42,5 N	0,88 MPa	
		Bağlayıcı: %7 CEM III/A 42,5 N	1,00 MPa	
	%74,71 PKO (Artık T2***)	Bağlayıcı: %5 CEM III/A 42,5 N	0,49 MPa	
		Bağlayıcı: %6 CEM III/A 42,5 N	0,66 MPa	
		Bağlayıcı: %7 CEM III/A 42,5 N	0,86 MPa	
(Koohestani ve diğ., 2016)	% 74,1 PKO Bağlayıcı : %20 NPÇ* + %80 yüksek fırın cürufu	%0 akçaağaç talaşı	%2 Bağlayıcı	0,37 MPa
			%4,5 Bağlayıcı	1,40 MPa
			%7 Bağlayıcı	2,08 MPa
		%12,5 akçaağaç talaşı	%2 Bağlayıcı	0,34 MPa
			%4,5 Bağlayıcı	1,23 MPa
			%7 Bağlayıcı	2,03 MPa
		%14,5 akçaağaç talaşı	%2 Bağlayıcı	0,31 MPa
			%4,5 Bağlayıcı	1,14 MPa
			%7 Bağlayıcı	1,92 MPa
(Zhang ve diğ., 2016)	Çimento - kum oranı: 1:8	%12,5 Aeolian kum	%70 PKO	0,78 MPa
			%72 PKO	0,89 MPa
			%74 PKO	1,2 MPa
		%25 Aeolian kum	%70 PKO	0,98 MPa
			%72 PKO	1,43 MPa
			%74 PKO	1,76 MPa
		%50 Aeolian kum	%70 PKO	0,61 MPa
			%72 PKO	0,71 MPa
			%74 PKO	0,95 MPa

Not: *NPÇ: Normal Portland Çimentosu, ** PÇ V: Portland Çimentosu CEM V, *** T1 ve T2 : Artık 1 ve Artık 2.

Tablo 2.3'te görüldüğü üzere araştırmacılar farklı PKO ve bağlayıcı oranlarında çimentolu macun dolgu malzemesi hazırlamışlar ve TEBD deneyi uygulamışlardır. Ayrıca bazı araştırmacılar imento ile farklı katkı malzemelerini (uçucu kül, yüksek fırın cürufu, vb.) karıştırarak imento maliyetini azaltmaya çalışmışlardır. Örneğin Yin ve diğ., (2012) tarafından, %68'i artık, %12'si cüruf ve %20'si CEM-I imento ile %80 PKO'da hazırlanan macun dolguda 7,25 MPa sonuç alınarak en yüksek dayanım elde edilmiştir. Ancak bu karışımda kullanılan imento miktarı kabul edilebilir ölçülerin (katı içeriğinin ağırlıkça %3-10) ok üzerinde kullanılmıştır. Ayrıca Benzaazoua (2002) ve Yılmaz (2009) alışmalarında ise %78 PKO'da %3 CEM-I imento ile hazırlanan macun malzemelerin dayanımları sırasıyla 56 kPa ve 184 kPa olarak en düşük değerleri bulmuşlardır. Ayrıca Jung ve Bıswas (2002) alışmasına göre bir bakır madeni proses atığı ile hazırlanan %80 PKO ve %12 CEM-I imentoda 5,65 MPa dayanım elde edilmiştir. Dayanım değerlerinin geniş bir aralıktaki değişkenlik göstermesi, macun dolguyu oluşturan artık malzemesinin ve bağlayıcının türü, pülpde katı oranı ile fiziksel-kimyasal özelliklerinin dayanıma olan etkilerini açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasının literatüre katkı açısından önemi artmaktadır.

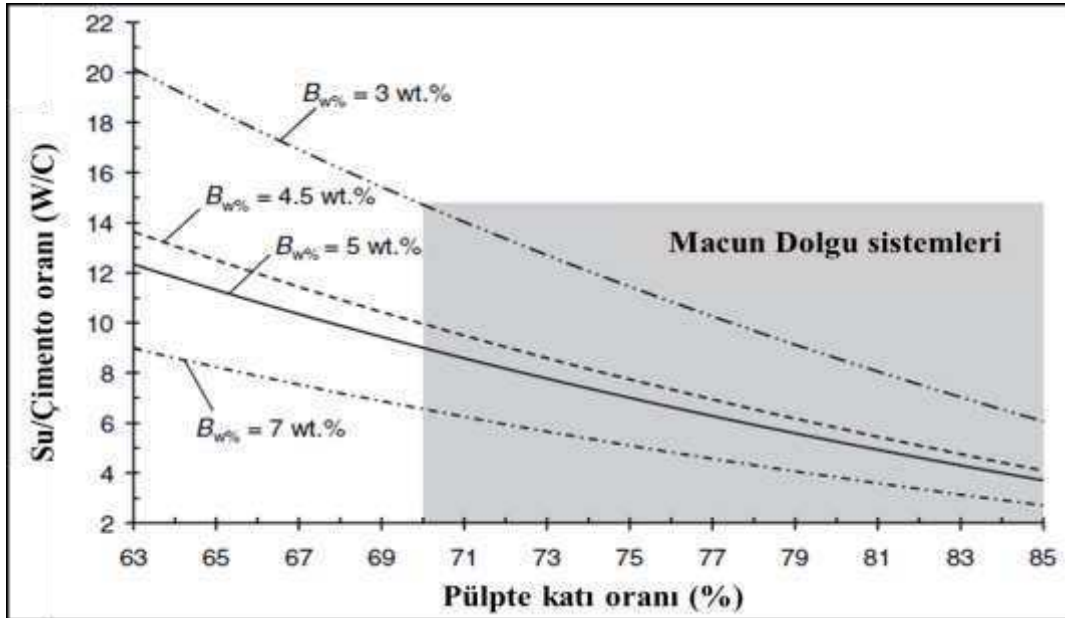
2.3.3. Su-imento Oranı

Su/imento oranı, macun kalitesini kontrol etmedeki en etkili faktörlerden biri olarak bilinir. Su, uygun hidrasyon ve karışımın işlenebilirliği için gereklidir. Hidrasyon için az miktarda su kullanılır; geri kalan su MD 'yi yeraltına pompalamak için gereklidir. Bununla birlikte, MD 'deki fazla su katılmaya başlayan macun dolgunun gözenekliliğini etkiler. Bu boşluklar su veya hava ile doldurulabilir bu da basınç dayanımının azalmasına sebep olur. Buradan TEBD ve su/imento oranı arasındaki ilişkinin ters orantılı olduğu sonucuna varılabilir (Abdul-Hussain ve Fall, 2011) (şekil 2.10). şekil 2.10'da görüldüğü gibi su/imento oranı 6 iken su/imento oranı 9 olan macun malzemeler karışlaştırılığında, su/imento oranı arttıkça tek eksenli basma dayanımının azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2.10: Farklı bağlayıcı içeriğine göre hazırlanan ÇMD'nin 28. gündeki dayanımına su/çimento oranının etkisi (Fall ve diğ., 2008).

Madencilik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan dört farklı bağlayıcı içeriği için su/çimento oranının tipik bir varyasyonu Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11: Farklı bağlayıcı ve pülpte katı oranlarına göre su/çimento oranının değişimi (Belem ve Benzaazoua, 2007).

Macun dolgu sistemlerinde 70-85 PKO aralığında ve çimento oranı ağırlıkça 3 ile 7 olan değişim aralığı göz önüne alındığında, su/çimento oranı 2,7 ila 20,2 arasında değişiklik Şekil 2.11'de gösterilmektedir.

2.3.4. Bağlayıcı

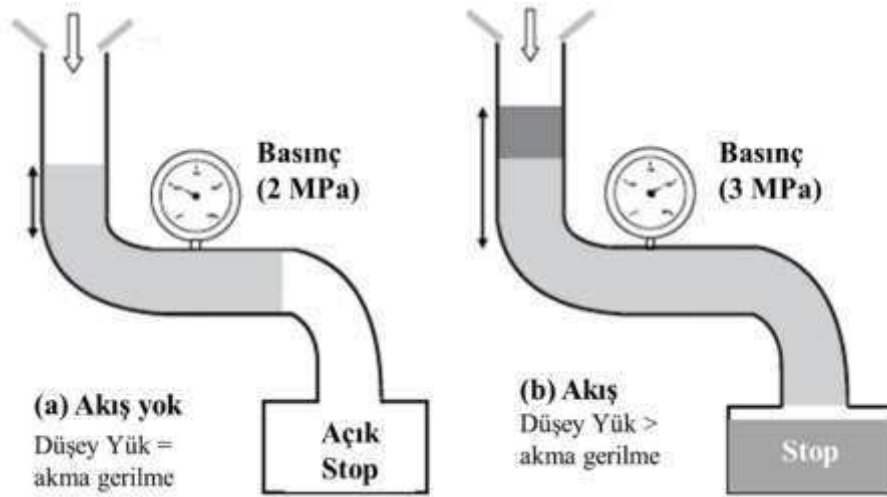
Bağlayıcılar, su ile kimyasal reaksiyona girerek agrega tanelerini birbirine bağlayan malzemelerdir (Hefni, 2014). Bağlayıcı maddeler, ÇMD içerisinde kohezyon mukavemeti artırarak kendi kendini tutabilmesine ve dayanım kazanmasına yardımcı olur. (Belem ve Benzaazoua 2007). Bağlayıcı olarak en yaygın olanı Portland çimentosudur (CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V). ÇMD'de en kısa zamanda maksimum dayanım elde edilmesi gerekmektedir bu yüzden Bağlayıcının seçiminde iki parametre önemlidir. Bunlardan ilki çimentonun maksimum dayanımı diğeri prizlenme süresidir (Hefni 2014). Bağlayıcı, ÇMD'nin istenen dayanım ve stabilitesini elde etmek için kullanılır. Ca bakımından zengin bağlayıcıların asit ve sülfat saldırısına karşı savunmasız olduğu bilinmektedir. ÇMD'nin sülfat açısından zengin numunelerinde kısa ve uzun vadede mukavemet ve stabilite sorunları ile karşılaşmaktadır (Cihangir ve diğ. 2012). Normal portlant çimentonun (NPC), sülfür açısından zengin artıkların ÇMD'sine yönelik bir bağlayıcı olarak özellikle uygun olmadığını ve dayanım ve istikrar gerekliliklerini karşılamak için aşırı yüksek dozajlarda kullanılabileceğini göstermiştir (Erçikdi 2009).

Bu çalışmada, CEM I 42,5 R çimento %3, %5, %7, %9 ve %11 oranlarında kullanılmıştır. Katkısız olması, yüksek dayanım ve erken priz süresi nedenleri için CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır.

2.3.5. Macun Dolgunun Yeraltına Nakliyesi

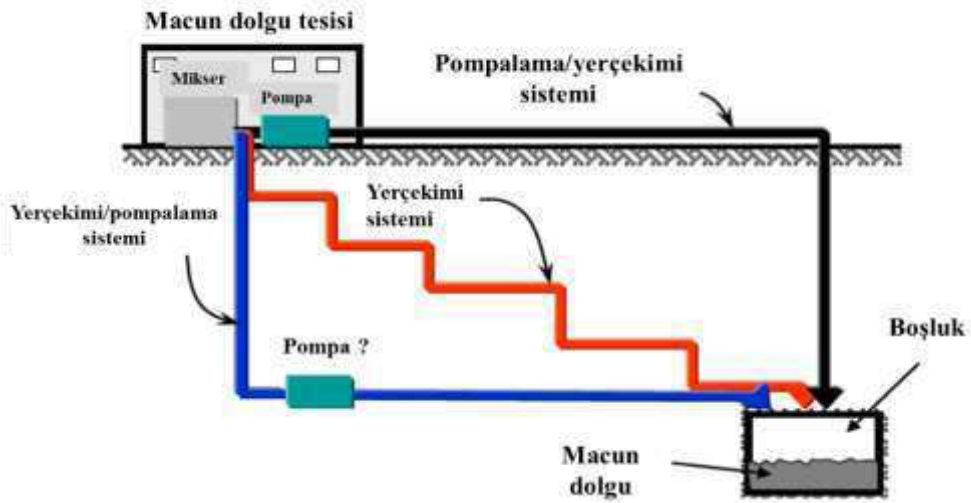
Macun dolgu, yüksek karışım yoğunluğu olarak hazırlanan artık malzemesi genellikle ince taneli fraksiyonlardan oluşmaktadır. Bu karışım harcı non-newtonian bir akışkan gibi davranmakta, dolayısıyla akışa başlamak için uygulanan bir kuvvet gerekmektedir (Şekil 2.12). Örneğin, dış macunu sık kullanılan bir non-newtonian akışkan sıvıdır ve dış macunu tüpün dışına çıkarmak için sıkıştırılmalıdır (Şakil 2.12b). Macun dolgu yüksek viskoziteye sahip olduğundan dolayı borudan taşınırken tıkaç akışı (Laminar akışta akım profili boruda hızın eşit dağılımıyla düzleştiğinde, tıkaç akış terimi kullanılır) gösterir. Merkezdeki çekirdek bir tıpa

gibi hareket ederken, macun karışımının dış kısımları borunun yan duvarına karşı kaymaktadır (Belem and Benzaazoua, 2007).



Şekil 2.12: Bir boru hattı içindeki macun dolgunun akma gerilmesi (Belem ve Benzaazoua, 2007).

Şekil 2.13'de gösterildiği gibi malzemeyi yüzeydeki bir noktadan yeraltı boşluklarına taşımak için üç adet sistem kullanılabilir. Yerçekimi/pompalama, yer çekimi ve pompalama/yerçekimi sistemleri (Belem ve Benzaazoua, 2007).



Şekil 2.13: Macun dolguda kullanılan temel nakliye sistemleri (Belem ve Benzaazoua, 2007).

- Yerçekimi/pompalama sistemi (Şekil 2.13), yeraltı içerisine tamamen girme avantajına sahiptir, bu nedenle yüzey aktivitelerinde herhangi bir aksamaya neden olmaz. Ayrıca, dikey yatay mesafe oranı (D/ Y) genellikle çok uygundur ve pompalama enerjisi çok az veya hiç gerekmez.
- Yerçekimi sistemi (Şekil 2.13) düşey yükü yatay basınca kademeli olarak dönüştürme avantajına sahiptir, böylece daha kısa ve daha hafif borular kullanılabilir. Kalkış noktası basınçları orta olduğundan, hat arızaları varsa, ana şaft veya ana işletme seviyesini bozmaz. Devir, maden genişledikçe kademeli olarak geliştirilebilir.
- Pompalama/yerçekimi sistemi (Şekil 2.13), özel yeraltı düzeyi gereksinimleri veya ana şaftın bozulması olmadan kolay kurulum, kontrol ve bakım avantajına sahiptir. Bununla birlikte yeraltı dolgu işlemi uygulaması için uzun bir kuyu ile pompalama işlemi ve yüksek basınçlı bir kalkış noktası gerektirir.

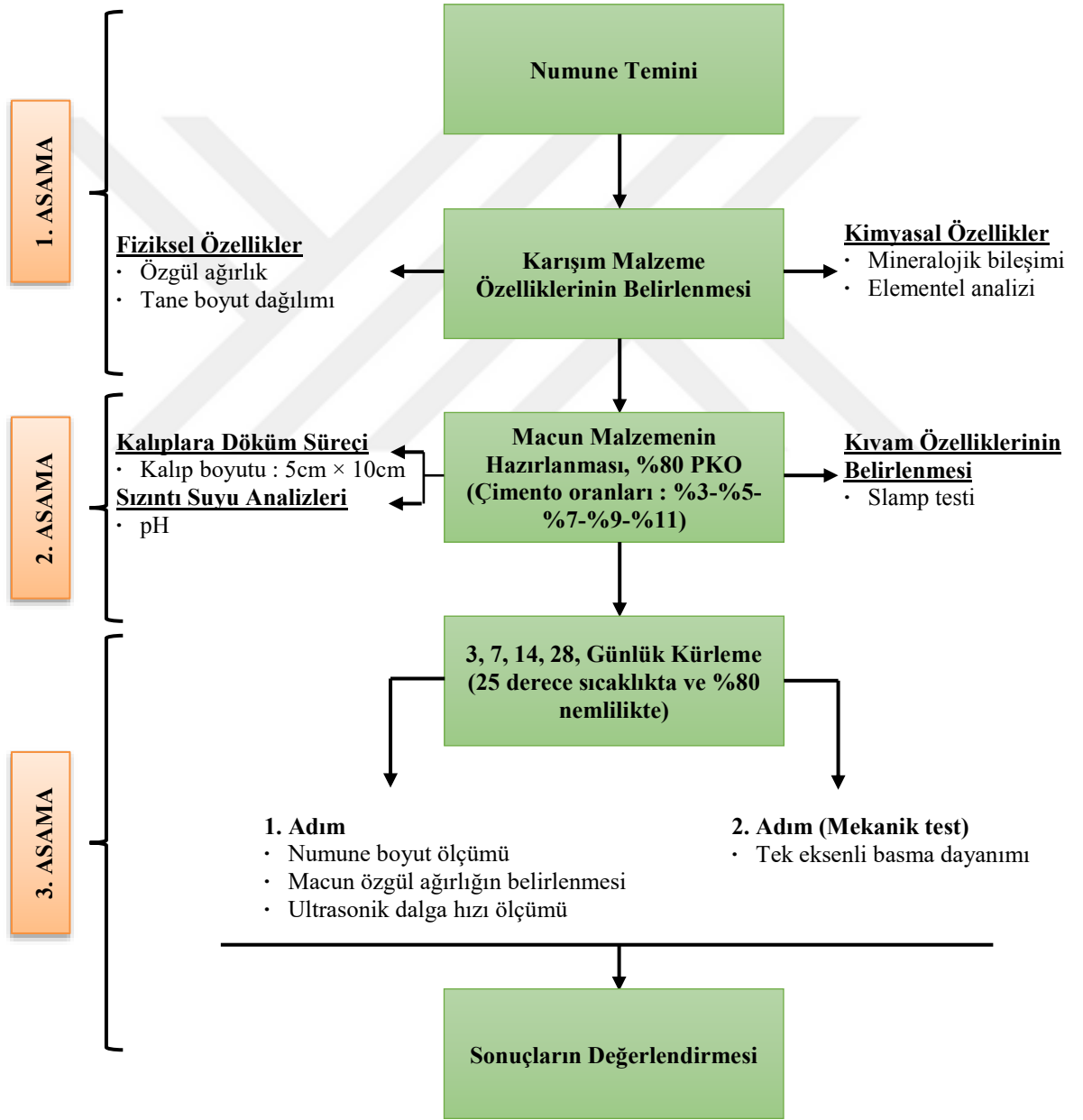
2.3.6. Macun Dolgu İşletme Maliyetleri

ÇMD 'nin maliyeti, karışımda kullanılan bağlayıcı türü ve oranına doğrudan bağlıdır. Genellikle asıl bağlayıcı malzemesi olarak çimento kullanılmaktadır. Dolayısıyla büyük miktarlarda dolgu olduğunda, çimento/bağlayıcı içeriğinde küçük bir azalma bile önemli ölçüde maliyetin düşürülmesine neden olabilir.

Macun dolgu maliyetleri tek başına toplam maden işletme maliyetinin % 10 ila% 20'si arasında ve bağlayıcı maddeler dolgu maliyetlerinin %75'ini oluşturmaktadır. Gerekli olan portland çimentosu miktarını azaltmak için katkı maddesi olarak genellikle puzolanik malzemeler kullanılarak maliyetlerin düşürülmesi istenilen dayanıma göre sağlanabilmektedir. En yaygın katkı olarak kullanılan puzolanlar toz haline getirilmiş uçucu kül ve yüksek fırın cürüflarıdır (Belem ve Benzaazoua, 2007).

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada proses tesis artıklarının yeraltı macun dolguda kullanması amacıyla farklı çimento oranlarında karışımlar hazırlanarak dayanım ve maliyet açısından en uygun karışım belirlenmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirmiş olan deney ve analizleri içeren akım şeması şekil 3.1'de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Çalışmanın akım şeması

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere bu tez çalışması 3 temel aşamadan oluşmaktadır:

1. Numune temini ve karışım malzeme özelliklerin belirlenmesi.
2. Macun malzemenin hazırlanması.
3. Farklı günlere göre kürlenmiş macun malzemesi yoğunluk, pundit ve tek eksenli basma dayanım testlerinin yapılması ve bu parametreler arasındaki ilişkilerin ortaya konulması.

3.1. ÇALIŞMA ALANININ TANIMI

3.1.1. Coğrafi Konum

Küre Türkiye'nin Karadeniz bölgesinin batı bölümünde olup, Kastamonu iline bağlıdır. Ankara'ya 312 km uzaklıkta yurdumuzun önemli büyük bakır, istihsal bölgesidir. İl merkezine 59 km, Karadeniz'e 39 km dir. Yükseltisi 950 m dir. $41^{\circ} 42'$ enlem $33^{\circ} 34'$ boylam daireleri arasındadır. Küre ilçesi dağlık ormanlık engebeli bir arazi yapısına sahiptir (Şekil 3.2) (Oruç, 2012).



Şekil 3.2: Çalışma sahasının yer bulduru haritası.

3.1.2. İşletme Hakkında Genel Bilgiler

Bakibaba cevher kütlesi eski Yunanlılar, Romalılar, Cenevizliler, Bizanslılar, Selçuklular (İsfendiyaroğulları) ve Osmanlılar tarafından önemli miktarda işletilmiştir. Eski işletmelerin delili çevrede görülen 2 milyon ton civarında cüruf ve eski maden galerilerinde bulunan madenî paralardır. Bakibaba madenindeki tüneller, eski Yunan ve Roma madencilerinin kullandıkları şekil ve boyutları andırmaktadır. Fatih Sultan Mehmet 1453 yılında İstanbul'un fethinde kullanılan topların yapımı için Küre'den gelen bakır ve demiri kullanmıştır. O zamandan kalma toplar üzerinde «Küre-i nühas» (Küre bakırı) damgası bulunmaktadır. Kısa müddet sonra, Sinop'a Pontus İmparatorluğuna karşı donanma gönderdiği zaman, İsfendiyaroğullarının Beyi, İsmail Bey (bu beylik içine Kastamonu vilâyeti ve Küre girmekte idi) bütün askerî araçlarını Küre'den temin etmiştir (1290-1462). 1659 ile 1845 yılları arasında Osmanlılar aralıklı olarak Bakibaba madenini işletmişlerdir. 1715 yılındaki Osmanlı kayıtlarına göre, top yapmak için her yıl Küre'den İstanbul'a bakır getirilmiştir. 1845 te bir madenin çökmesi çok sayıda madencinin hayatına mal olmuş ve geri kalanları da madene girmekten ürkütmüş, böylece madencilik faaliyeti durmuştur. 1895 ile 1913 yılları arasında birçok yabancı şirket Bakibaba çevresinde çalışmışlardır. Prospecting and Mining Ltd. cüruf yığınına şaftlar yardımıyla inceleyerek, burada %1-1,25 Cu içerikli 1,5 milyon ton ve %2-2,5 Cu içerikli 200000 ton cevher olduğunu saptamıştır. Birinci Dünya Savaşından sonra, 1924'te, Fransız sermayesi ile kurulmuş olan Balya Kara Aydın Madencilik şirketi tarafından eski üç seviyede çalışmalar yapılmış ve orta seviyeden cevher çıkarılmıştır. 1923'te, Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşundan kısa süre sonra, Nikitin, Küre çevresinin jeolojik incelenmesi ve arama programı önermesi için görevlendirilmiştir. 1939'da, MTA yeni bir program başlatmış, Kovenko'yu bölgenin jeolojisini incelemesi ve yeni program önerisinde bulunması için bölgeye göndermiştir. Kovenko, Aşıköy ve Kızılsu civarında demir kapkalı bulmuş ve bu civarla birlikte Bakibaba'nın bir kısmının jeofizik yöntemlerle incelenmesini önermiştir. 1955'ten itibaren Aşıköy açık işletmesi Küre Pyrites-Turkish Joint Stock Company tarafından işletilmeye başlanmış, fakat 1959'da Etibank'a devredilmiştir. 1963'ten beri aramalar sırasında, elektromanyetik prospeksiyon ve sondaj faaliyetleri aralıklı olarak sürdürülmüştür. 1963 ve 1964'te, Etibank SP ve elektromanyetik etütler yapmış, bu çalışmalar sonunda Bakibaba ve Kızılsu civarında yeni sondaj önerilerinde bulunulmuştur. Bakibaba'da kesilen cevher kütlesinin rezervi hesaplandıktan sonra, Karadeniz Bakır İşletmeleri (KBİ) 1968'de işletmeye başlamıştır (Şahin, ve İmamoğlu, 2017).

3.1.3. Bölgenin Jeolojisi

Çalışma sahasının yarısından fazlasını tortul kayaçlar kaplar. Bu formasyonlar subgrovak ve siyah şeyl öjeosenklinal çökellerini ve konglomera çamurtaşı ve kireçtaşının öjeosenklinal olmayan dizisini oluşturur. Küre bölgesinde yer alan kayaçlar arasında subgrovak en yaşlı (Permiyen), Geç Jura kireçtaşı da en genç olanıdır. Subgrovak-siyah şeyl birimi, püskürük kayaçların ektruzyonların öncesinde izoklinal bir şekilde kıvrımlanmış gibi görünür. Olasılıkla Permiyen-Triyas yaşında bir denizaltı bazalt dizilimine ait olan kayaçların büyük bir kütlesi öjeosenklinal birikimleri ile ilişkidir. Değişik kompozisyonda konuyla ilgili daykların çeşitli oluşumları bazaltik kayaçlar arasında yer alır. Yukarıya doğru bunları yastıksız breşler ve tulumsu kloritik kütleler izler. Tek yastıkların breşlere doğru olan geçişli zonunda matriksin içeriği dereceli olarak artar. Yastıklar aynı zamanda daha çok ters şekilli ve iyi seçilmemiş hale gelirler. Kırılmış yastıklar ve parçaları, çoğunlukla bazalt diziliminin en üst kısmını kaplar. Bazaltoidler ve bunlarla ilişkili olan diyabaz daykları toleyitik okyanus tabanı bazaltik kimyasal bileşimine sahiptirler. Küre bölgesindeki Bakibaba, Aşıköy ve Kızılsu bakır içeren pirit yataklarının birçok ortak özellikleri vardır. Bunların hepsi esasta bazaltik kayacın yerini alan sülfitlerden oluşur. En büyük cevher kütlesi Aşıköy madeni, yaklaşık 170 X 300 metrelik bir alana sahip olup, yaklaşık 900 metrelik bir derinliğe kadar izlenmiştir. Masif cevherler hacim bakımından %90'dan fazla sülfid mineralleri içerirler. Kalkopirit içerikleri %1,5'ten %99'a kadar değişir. Disemine cevherler, az sülfid içerip çok az veya hiç kalkopirit veya demir oksit içermezler. Bakibaba madeninde masif cevherler ortalama %6 lık bir bakır tenörüne sahiptirler. Aşıköy madeninde ise bu değer %3'tür. Doku açısından yapılan çalışmalar breşlemiş, kolloform ve framboyidal piritlerin varlığını gösterirler. Fakat etkilenmemiş krom spinellerin yanında hemen hemen sülfitlerin yerini aldıkları önceden var olan silikat minerallerine ait herhangi bir delil yoktur. Hemen hemen tüm cevher kütleleri siyah şeyl-bazalt dokanağına yakın bulunurlar. Onların yerleşimleri ana faylar tarafından kontrol edilmiştir. Bu faylar bazaltik dizilim içindeki zayıf zonlar boyunca cevher taşıyan eriyiklerin yukarı doğru göçlerini sağlarlar. Cevherlerin buralara gelmeleri, belki de dalgalı itmeler yoluyla olmuştur. Yükselen cevher eriyikleri bazalt kompleksi içinde yaygın hidrotermal alterasyona neden olur. Ancak tortul kayaçları etkilemez. Hidrotermal alterasyon, yerleşen breş formasyonlarında, klorit, kuvars ve uralitçe zengin diğer bazı kayaç tiplerinde oluşur. Metasomatizma esnasında alkalilerin, silisyum, magnezyum ve demirin büyük miktarları cevherleşmiş sahalardan alınmış ve tahminen altere olmuş olan kayaç kolonlarının yüksek kısımlarında yeniden depolanmışlardır. Bazı kloritik kayaçlar büyük FeO,

MgO ve Al₂O₃ ilâvesi ve gene büyük miktarlarda Na₂O, CaO ve biraz SiO₂ sürekli azalmasını gösterirler. Cevher Kütlesi Küre Ofiyolitlerinin bir parçası olan, bozuşmuş bazalt serisi içinde meydana gelmiş ve siyah şeyl ile örtülmüştür. Cevher kütlesi faylarla kırılmış ve atıma uğramış, iri masif merceklerden oluşur. Pirit ve Kalkopiritten oluşan cevher, tavan kayacı siyah şeylin altında yüksek tenörlü masif mercek, iri taneli çakıllar veya bozuşmuş tabantaşı içinde daha düşük tenörlü saçınmış ve ağsal pirit ve kalkopirit damarları şeklindedir. Pirit ve kalkopiritler yer yer kolloform doku gösterirler. Bazı yerlerde yüksek yerlerden kaymış olan demir şapkalar genelde masif veya disemine cevherlerin hemen yüzeylerinde bulunurlar. Bunlar kesinlikle sülfidlerin oksidasyonu sonucu oluşmuşlardır (Şahin, ve İmamoğlu, 2017).

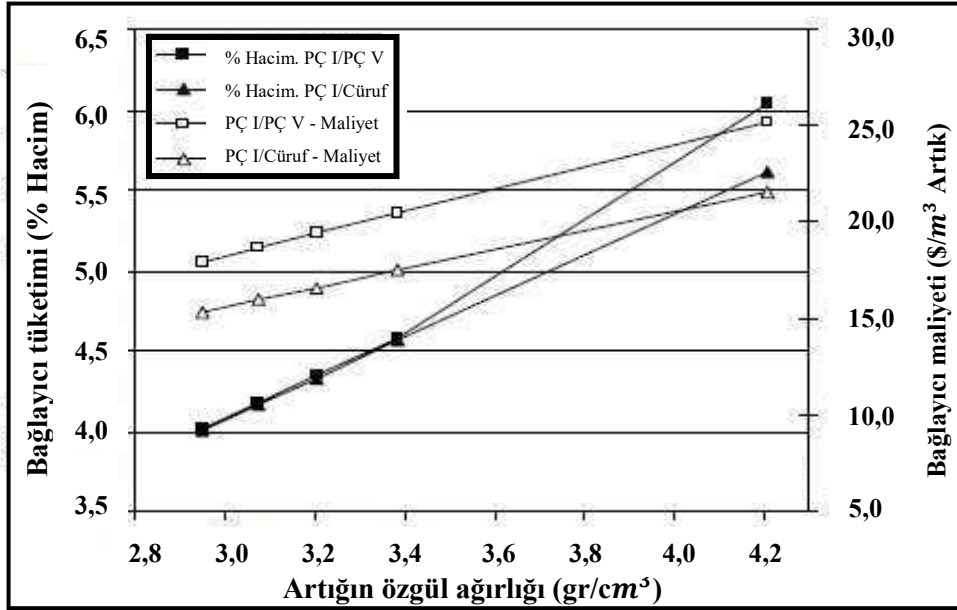
Tezde kullanılan artık malzemenin de alınmış olduğu Bâkibaba Bakır Ocağı Küre bakır yataklarının en eskisidir. MTA'nın 1935 yılında yaptığı araştırmalarda yatağın durumu ortaya çıkarılmıştır. Kayaçlarda olan ilişki yüzünden kuzeydeki cevher kütlesiyle güneydeki benzerlik gösterir. İki kısmında siyah şeyl sarmış durumdadır. Cevher kütlelerini doğrudan sınırlayan, aşırı alternasyon ve az yada çok sülfid saçınım ve damarcıklar içeren bazaltların cevher kütleleri üzerine devrilmiş olmaları nedeniyle burada yaklaşık K-G yönlü devrik bir antiklinalin varlığından söz edilmiştir. MTA'nın 1963'te yaptığı çalışmalarda Bakîbaba yatağında 1.805.752 ton %3,59 Cu , %43,51 S tenörlü cevher saptanmıştır. 1990 yılına kadar %43,61 S tenörlü 200.281 ton pirit cevheri üretilmiştir. 2002 yılında ise Etibank tarafından yapılan 118.926 ton cevher üretilmiş, yeraltında oluşan göçük nedeniyle işletme terk edilmiştir. 2004 yılında Küre yataklarının özelleştirilmesinden sonra firma baş gösteren cevher sıkıntısı nedeniyle arayışlarına hız vermiştir. Toykondu ve Bâkibaba bulduğu %1,79 Cu tenörlü yaklaşık 3.200.000 ton cevher açık işletme yöntemiyle Mayıs 2009 yılına kadar üretilmiştir. Daha sonradan da yeraltı işletmesine geçilmiştir. Son yıllarda yapılan sondaj çalışmalarına göre de 30 yıllık daha işletilecek rezerv tespit edilmiş olup çalışmalar devam etmektedir (Şahin, ve İmamoğlu, 2017).

3.2. ARTIK MALZEMENİN FİZİKSEL VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

3.2.1. Özgül Ağırlık

Karışım oranları ve jeoteknik parametrelerinin hesaplanması için artıkların özgül ağırlığı (G_s) önemlidir (Yılmaz 2010). Artık malzemenin özgül ağırlığı ile dolgu dayanımı arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Artığın özgül ağırlığının artırılmasının, aynı bağlayıcı oranı

için daha yüksek bir mukavemet kazandıracaktır. Artığın özgül ağırlığı ile bu dayanım artışı, gösterildiği gibi, hacimsel daha yüksek bağlayıcı tüketimden kaynaklanmaktadır (Şekil 3.3). Artık özgül ağırlığının artırılması hacimsel olarak daha yüksek bağlayıcı tüketimine ve daha maliyetli macun dolgu hazırlanmasına neden olacaktır. Dolayısıyla yüksek bağlayıcı tüketimi, macun dolguya daha yüksek mukavemet kazandırır (Fall ve diğ. 2005).



Şekil 3.3: Artık malzemesinin özgül ağırlığının bağlayıcı tüketimine ve maliyetine etkisi (Fall ve diğ., 2005).

Fall ve diğ., (2005) göre proses artıklarının özgül ağırlığı $2,8 \text{ gr/cm}^3 < G_s < 4,2 \text{ gr/cm}^3$ aralığındadır. Ayrıca artığın özgül ağırlığı arttıkça slump değeri azalmaktadır (Fall ve diğ., 2008).

Artık malzemelerin özgül ağırlıkları (G_s) 250 ve 500 ml'lik piknometreler kullanılarak ASTM D854-02 standartına göre elde edilmiştir. %80 pülpte katı oranı (PKO) karışımı yapılmadan önce alınan 100 g ve 200 g kuru toz numune piknometre deneyine tabii tutulmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Piknometre deneyi.

Piknometre deneyi katı parçacıkların yoğunluklarının suyun yoğunluğuna oranıdır. Tanelerin özgül ağırlığını bulmak için yapılır.

Etüvde kurutulmuş malzemeden 500 ml'lik piknometre için 200 gr, 250 ml'lik piknometre için 100 gr kullanılmış ve tartım 0,1 gr duyarlılıkta yapılmıştır. Malzeme piknometrenin içine konulduktan sonra piknometre içindeki havanın çıkması için yavaş yavaş sallanır. Bu işlemin ardından piknometreye ince boyun kısmındaki kalibrasyon çizgisinin yaklaşık 1-1,5 cm altına kadar havası alınmış saf su eklenir. Tamamen havası alınmaya kadar piknometre sallanır veya vakum pompası ile hava emilir. Sonra içerisinde hava kalmadığına emin olunduktan sonra boyun çizgisine kadar saf su eklenir. Piknometre içerisindeki süspansiyon ile birlikte tartılır. Piknometre+numune+su ağırlığı (M_{bw}) bulunur. Piknometre doygunluğu kontrol edilir ve hava çıkışı oldukça kalibrasyon çizgisine kadar su eklenir. Son olarak piknometre+su+numune (son tartım - M_{bws}) bulunur ve gerekli formüller uygulanarak malzemenin yoğunluğu hesaplanır.

$$G_s = \frac{M_s \times G_{wt}}{(M_s + M_{bw}) - M_{bws}} \quad (3.1)$$

G_s : Malzeme özgül ağırlığı (gr/cm^3)

M_s : Numune miktarı (gr)

G_{wt} : T sıcaklığındaki saf suyun özgül ağırlığı (1 gr/cm³)

M_{bw} : Piknometre ağırlığı + saf su ağırlığı + malzeme ağırlığı (ilk tartım)

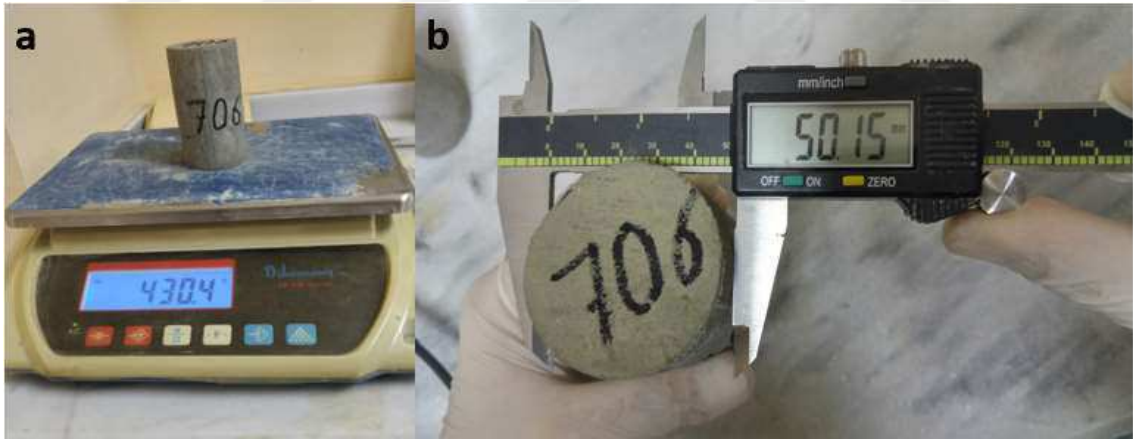
M_{bws} : Piknometre ağırlığı + saf su ağırlığı + malzeme ağırlığı (son tartım).

Özgül ağırlığı hesaplaması istenen çimentolu macun dolgu numunelerinden kür süresi tamamlandıktan sonra kalıplardan çıkarılarak ilk önce boy ve çapı 0,01 mm hassasiyetli kumpas yardımıyla ölçülür. Daha sonra 0,1 gr hassasiyetli elektronik tartıyla ağırlığı belirlenir ve aşağıdaki formülle özgül ağırlığı hesaplanır (Şekil 3.5).

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{M}{V} \quad (3.2)$$

M : Numune ağırlığı (gr);

V : Numune hacmi (cm³).



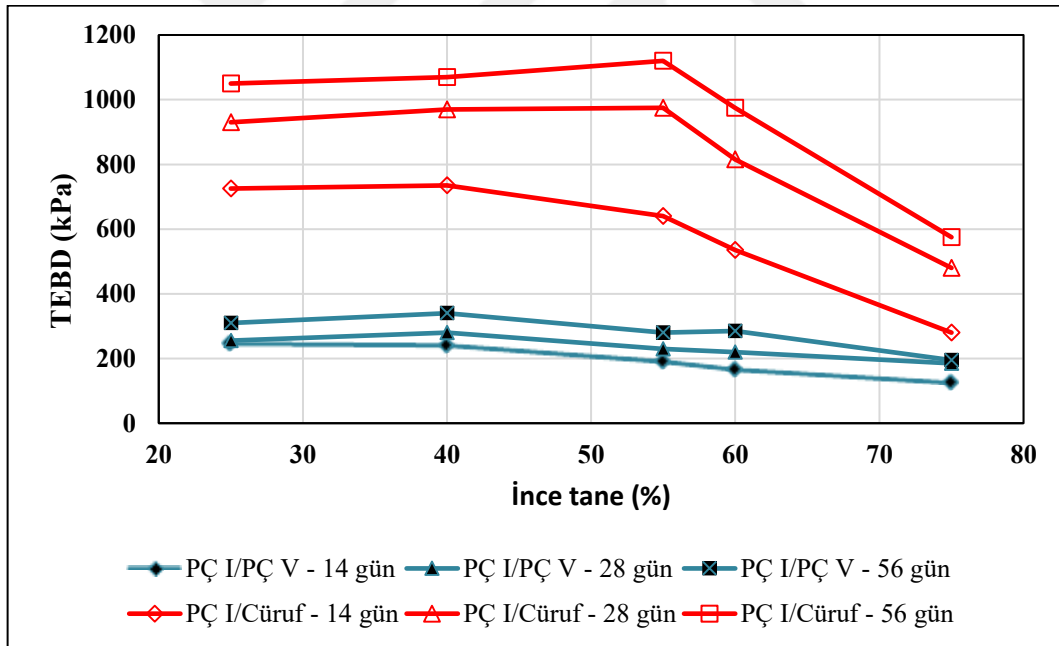
Şekil 3.5: Deney numunelerinin özgül ağırlık için tartımı ve boyutlarının ölçümü

3.2.2. Tane Boyut Dağılımı

Artıkların tane boyut dağılımı, macun malzeme tanelerin ayrışması, kimyasal reaktiviteyi ve genel hidromekanik özellikleri etkileyebileceğinden önemli bir özelliktir. Dünya genelindeki maden artıklarının kullanıldığı ÇMD karışımlarının tasarımlarında iri, orta ve ince artıklar olmak üzere üç adet tane boyut dağılımı kategorisi bulunmaktadır (Yılmaz, 2010). İri taneli

artıklar ağırlıkça %15 ile %35 arasında 20 µm'den daha ince taneler içermektedir. Orta taneli artıklar, ağırlıkça %35 ile %60 arasında 20 µm'den daha ince parçacıklar içerir. İnce taneli artıklar, ağırlıkça %60 ile %90 arasında 20 µm'den daha ince parçacıklar içerir. Mineralojilerine bağlı olarak, bu ince artıklar yüksek su tutma özelliğine sahiptir, bu da iyi akış özelliklerine sahip olmasına neden olur. Fakat nispeten daha düşük mukavemetli bir ÇMD yaratmaktadır. Şekil 3.6'de, artık maddelerdeki ince tane oranının (<20 µm) ÇMD'nin dayanım artışı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. İri ve orta taneli artıklar, ÇMD mukavemet kazanımı için daha uygundur. Deneysel olarak bir macun dolgu karışımında yeterli suyu bünyelerinde tutabilmeleri için artıkların 20 µm'den daha ince tanelerin ağırlıkça en az %15 olması gerekmektedir (Yılmaz, 2010).

Şekil 3.6'da görüldüğü üzere 18 cm slamp değerinde, %4,5 bağlayıcı oranında, PÇ I/PÇ V (50/50) ve PÇ I/Cüruf (20/80) karışımlarda tane boyutu küçüldükçe ve ince tane oranı yaklaşık %25-55 aralığına kadar TEBD artmaya devam eder.

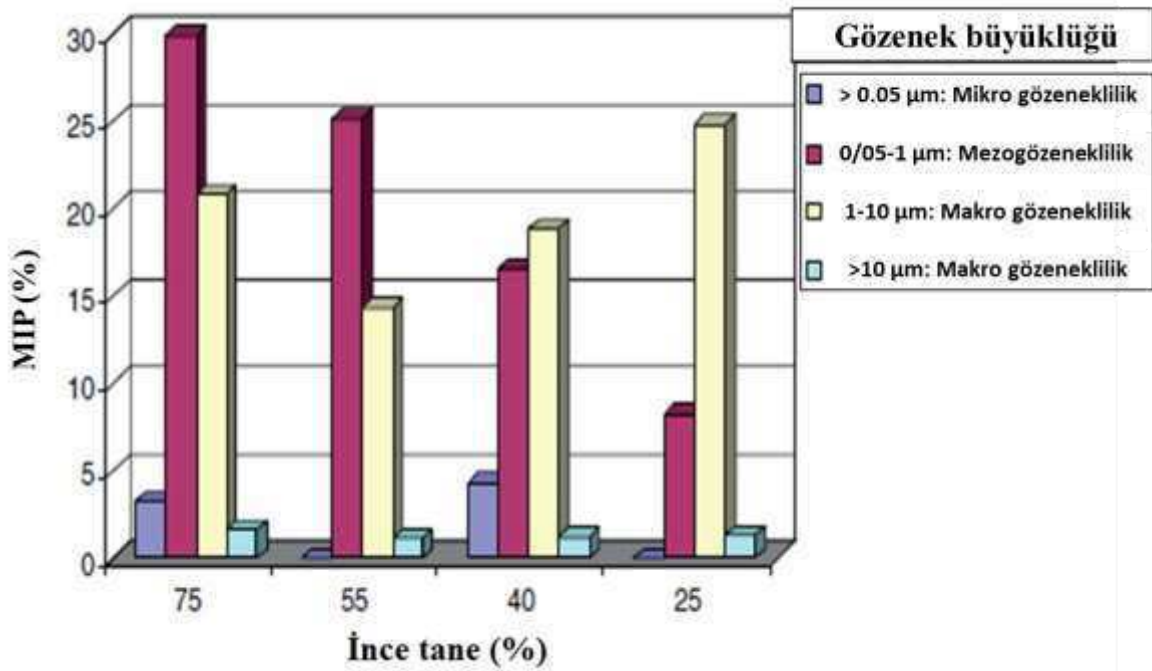


Şekil 3.6: Artık malzemenin içeriğindeki ince tane oranlarının ÇMD'nin dayanımına etkisi, (Fall ve diğ., 2005).

Artık malzeme içerisinde ince tane oranı karışımın su tutma kapasitesi artar ve dolgunun dayanımı olumsuz etkilenir. Şekil 3.6'da TEBD, PÇ I/PÇ V ve PÇ I/Cüruf karışımlarda sırayla

İnce tane oranı %40 ve %55 geldiğinde sabit kalır ve daha sonra azalmaya başlar. (Fall ve diğ., 2005).

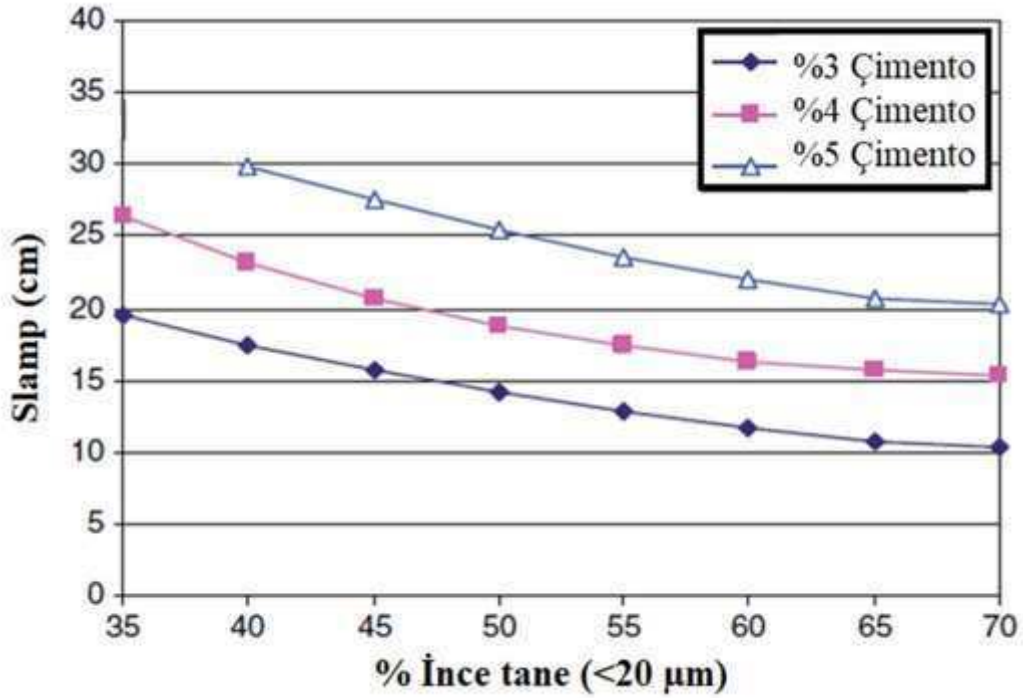
Şekil 3.7'de ise 28 günlük kürden sonra bir %4,5 PÇ I/Cüruf (20/80) oranında kullanılan ÇMD karışımı için, iri tane oranı arttıkça makroporozite (büyük gözeneklilik) 0,1-1 µm oranları artmaktadır ve bu durum aralarındaki ilişkileri göstermektedir.



Şekil 3.7: Artık malzemenin içeriğindeki ince tane oranlarının ÇMD'nin gözenek büyüklüğü dağılımına etkisi (Fall ve diğ., 2008).

Şekil 3.7'de %25'lik ince tane oranında, ÇMD içindeki makro gözeneklerin (1-10 µm) oranı önemli ölçüde arttığı görülmektedir (Fall ve diğ. 2008).

Şekil 3.8'de görüldüğü üzere ÇMD slampını, artıkların ince tane oranı etkilemekte ve tane boyut dağılımındaki ince parçacık oranı arttıkça slampın düşmesine neden olur.



Şekil 3.8: Artık malzemenin içeriğindeki ince tane oranlarının, farklı bağlayıcı oranlarındaki ÇMD malzemesinin slampına etkisi (Fall ve diğ. 2008).

Sabit bir su/çimento = 7 ve artık yoğunluğu = 3,459 gr/cm³ (Şekil 3.8) ile yapılmış ÇMD 'deki slamp azalmasının en temel nedeni ince artık tanelerinin yüzey alanındaki artışla beraber tanelerdeki su ihtiyacının artmasıdır (Fall ve diğ. 2008).

Tane boyut dağılımındaki üniformluk katsayısı (C_u) 4 - 6 arasındaki değerler ile eğrilik katsayısı (C_c) 1 - 3 arasındaki değerler Terzaghi ve Peck (1996) tarafından iyi dereceli malzeme olarak gösterilmiştir. (Kesimal ve diğ. 2003).

Üniformluk ve eğrilik katsayı değerleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmaktadır;

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.3)$$

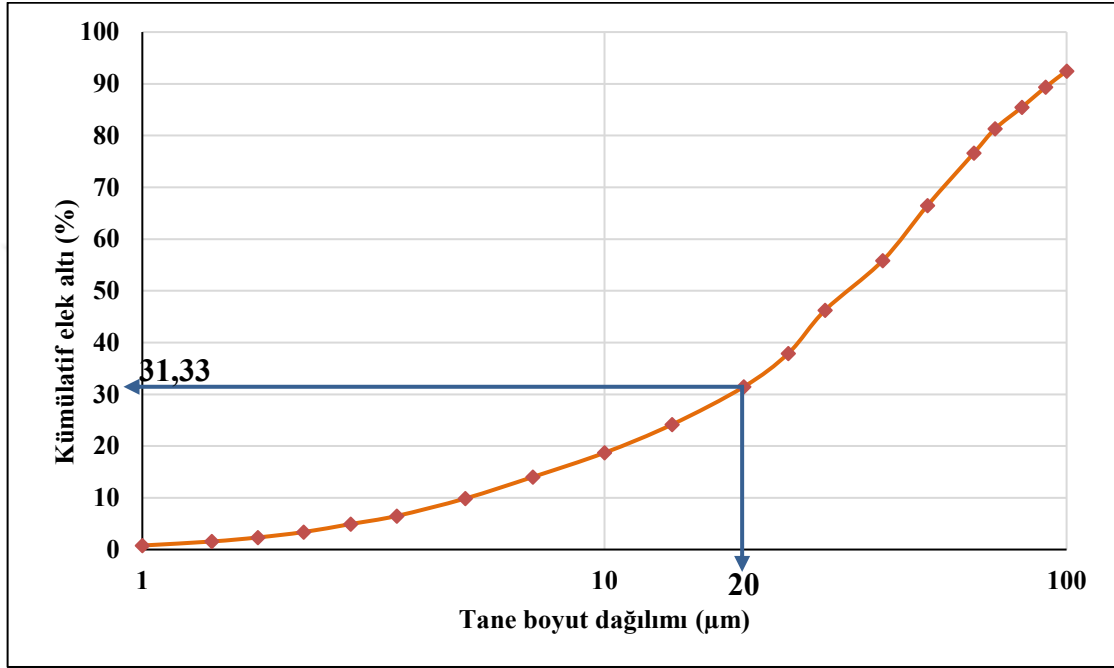
$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10}) \times (D_{60})} \quad (3.4)$$

D_{10} : toplam malzemenin %10'nun elek altına geçtiği boyut;

D_{30} : toplam malzemenin %30'nun elek altına geçtiği boyut;

D₆₀: toplam malzemenin %60'nın elek altına geçtiği boyut miktarlarını göstermektedir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan küre bakır artıklarının tane boyut dağılımı verileri daha önce bu malzemeyle çalışmış olan İzki (2013), Ocak (2015) ve Akyol (2016) tez çalışmalarından yararlanılarak bu tez çalışmasında veriler değerlendirilmiş ve Şekil 3.9'de grafiğe yansıtılmıştır.



Şekil 3.9: Çalışmada kullanılan artık malzemesinin genel tane boyut dağılımı (İzki, 2013; Ocak, 2015; Akyol, 2016).

Artık malzemeler için 20 µm altı malzeme miktarlarının ağırlıkça %31,33 olduğu Şekil 3.8 görülmektedir. Macun dolguda su tutmayı sağlayacak kolloidal yapı için artık malzemedeki 20 µm altı malzeme miktarının ağırlıkça en az %15 olması gerekmektedir. Bu durum göz önüne alındığında artığın macun dolguda kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Tablo 3.1'de C_u ve C_c değerleri hesaplanarak verilmiştir.

Tablo 3.1: Artık malzemenin tane boyut dağılım özellikleri.

D ₁₀	D ₃₀	D ₅₀	D ₆₀	D ₉₀	C _u	C _c
5,038	18,929	34,95	43,892	91,839	8,71	1.62

3.2.3. Mineralojik Bileşimi ve Elementel Analizi

Her bileşenin doğal özellikleri, ÇMD'nin kısa ve uzun vadeli mekanik performansında önemli rol oynamaktadır (Cihangir ve diğ. 2012). Bazı mineraller, sülfat artışına bağlı olarak uzun süreli mukavemet kaybına neden olabilir (Yılmaz 2010). Bu tip artıklardan yapılmış ÇMD, yer altı ÇMD için kullanılmadan önce kısa ve uzun süreli dayanıklılık açısından laboratuvar testlerine tabi tutulmalıdır. Ayrıca, madenler için ÇMD tasarlarken maden işçilerinin sağlığı ve güvenliği göz önüne alınmalıdır. Örneğin ÇMD'yi hazırlamak için pirit artıkları kullanıldığında, kendi kendine ısınmayı önlemek için eksotermik (ısıveren) özellikleri araştırılmalıdır. Örneğin, piritin ve pirit, uygun yer altı suyu ve oksijen koşullarında kimyasal olarak tepki verebilir. Bu gibi reaksiyonlar içten ısıtmaya neden olabilir bu da malzemenin kükürt içeriğini ateşleyebilecek sıcaklıklara getirebilir. Bu da kendinden toksik sülfid gazı üreten bir yeraltı yangınına neden olur. Maden artıklarının sülfür içeriği, artıkların özgül ağırlığını ve dolayısıyla birim hacim başına eklenecek ağırlık cinsinden bağlayıcı içeriğini ve ÇMD malzemelerinin kısa ve uzun süreli mukavemet dayanıklılığını kontrol ettiğinden, ÇMD işleminde birinci derecede önemlidir.

Bu çalışmada malzemenin mineralojik bileşimi verileri daha önce bu konuda araştırma yapan İzki (2013), Ocak (2015) ve Akyol (2016) tez çalışmalarından alınarak Tablo 3.2 verilmiştir.

Tablo 3.2: Artık malzemesinin kimyasal özellikleri (İzki., 2013; Ocak., 2015; Akyol., 2016).

Kimyasal bileşim	Miktarı
SiO ₂	7,02
Al ₂ O ₃	1,75
Fe ₂ O ₃	57,03
CaO	1,24
MgO	0,63
TiO ₂	0,13
Cr ₂ O ₃	0,005
Na ₂ O	0,14
K ₂ O	0,12
MnO	0,03
P ₂ O ₅	<0,01
S ⁻² (Sülfid Kükürdü)	41,22
Toplam Kükürt	45,18

Kimyasal analizlere göre artık malzemelerin S^{-2} (Sülfid Kükürdü) miktarı 42,22'dir ve oldukça yüksek olduğu görülebilmektedir. Artık malzemelerin bazı kimyasal özellikleri yukarıda Tablo 3.2'de verilmiştir. İzki (2013), Ocak (2015) ve Akyol (2016) yapmış oldukları çalışmalarına göre mineralojik olarak kalsit, kuvars, albit, pirit, ankerit, klorit ve kalkopirit gibi minerallerden oluşmaktadır. Bilindiği üzere pirit minerali su ve oksijen varlığında oksidasyona uğrayarak asit ve sülfat oluşturmaktadır.

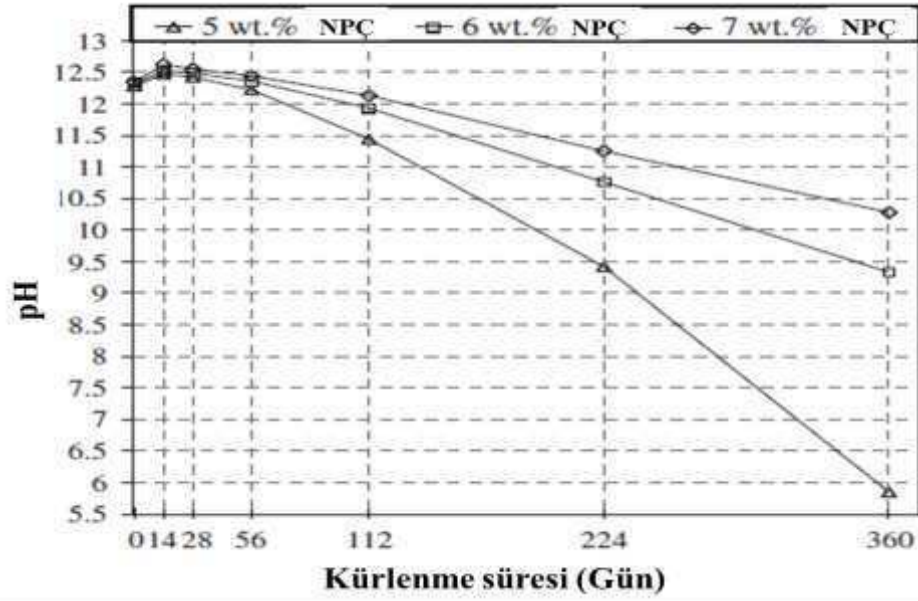
3.2.4. Karışım Suyu

Su, macun dolgu taşımacılığı için gerekli olan en önemli malzemelerden biridir. Karışım suyu olarak proses suyu veya temiz su kullanılır (Fall ve diğ., 2009; Hefni, 2014). Suyun kalitesi çimentolu dolguda dayanımı etkileyebilir. Örneğin, yüksek tuz konsantrasyonları, çimento parçacıklarını kaplayan ve dolgu karışımında dağılmalarını engelleyen tuz kristalleşmesine yardım eder. Karışım suyu, su/çimento oranı ve çimento hidrasyon mekanizmaları bakımından ÇMD'nin mekanik mukavemetini de etkilemektedir (Yılmaz 2010). Dolgu karışımında proses suyunu kullanmak çevresel yönden daha güvenilir ve uygun olmaktadır. Ancak karışım suyunun kimyasal bileşimi (pH, Ca^{+2} , özellikle SO_4^{-2} içeriği) dolgu performansı açısından önemlidir (Erçikdi 2009). Karışım suyu kimyası (çoğunlukla sülfat konsantrasyonu) ile birleştirilen bağlayıcı kimyası, kürlenme süresi boyunca bağlayıcı türüne bağlı olarak hidrasyon işlemlerini son derece etkiler.

pH ölçümleri için İstanbul Üniversitesi Maden İşletme Anabilim Dalı laboratuvarındaki pH metre kullanılmıştır.

3.2.5. Sızıntı Suyu Analizleri

pH'nin 9'un altına düşmesi hidrasyon ürünlerinin bağlayıcılık özelliklerini yitirmesine ve dolgunun duraylılığını kaybetmesine yol açmaktadır (Baki, 2013). Bağlayıcı oranı arttırıldığında, serbest asitlik oluşumu üzerinde hafifletici bir etkiye sahip olduğunu Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10: NPC ile hazırlanan ÇMD numuneleri için zamana bağlı pH değişimi (Cihangir ve diğ., 2012).

% 5 NPC (Normal Portland Çimentosu) oranında yapılmış olan ÇMD numunelerinin pH'ı 360 günde 6'nın altına düşerken % 6-7 NPC oranlarında yapılmış olan ÇMD numunelerinin pH'ı 9'un üzerindedir. Bunun nedeni bağlayıcı oranının artmasına bağlı olarak hidrasyon ürünlerinin (portlandit ve C-S-H) miktarındaki artışa bağlanabilir. Aynı zamanda bağlayıcı oranındaki artış ÇMD numunelerinin aside karşı direncini de arttırmaktadır. (Cihangir ve diğ., 2012).

Ouellet ve diğ. (2006) çalışmasına göre sızıntı suyun pH değerleri 13,05 ile 9,87 arasında değişmekte ve zamanla azalma eğilimi göstermektedir. Kür koşulları altında, ÇMD karışımında bulunan piritin oksidasyonu, hidrasyon ürünleri ile etkileşerek ÇMD'nin stabilitesini etkileyen asit (pH) ve sülfat SO_2 'nin oluşumuna neden olmaktadır (Cihangir ve diğ., 2012). Macun dolgu malzemesi olarak kullanılan piritin su ve oksijen varlığında oksidasyonu sonucu açığa çıkan asit, hidrasyon ürünlerinin (C-S-H, portlandit) bağlayıcılık özelliklerini kaybetmelerine ($pH \leq 9$) yol açarak dolgu dayanım ve durabilitesini azaltmaktadır (Tariq ve Nehdi, 2007; Belem ve Benzaazoua, 2008; Erçikdi, 2009).

Bu çalışmada , farklı karışımların sızıntı suyu silindir kalıplardan toplanarak pH değerleri kıyaslanmıştır.

3.3. KIVAM ÖZELLİKLERİ

Reolojik testlerine göre daha kolay olan standart slamp, macun dolgu kıvamını belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Slamp malzemenin pompalanabilirliği hakkında bilgi vermektedir. Yeraltında pompalamayı kolaylaştırmak için en uygun macun dolgu slamp değerleri 150 mm (6 inç) ile 250 mm (10 inç) arasındadır (Belem ve Benzaazoua, 2007; Yılmaz, 2010; Ercikdi ve diğ., 2017; Ouattara ve diğ., 2017). ÇMD teknolojisinde ideal ve en sık kullanılan slamp değeri 18 cm'dir (Tariq ve Nehdi, 2007; Fall ve Pokharel, 2010; Ghirian ve Fall, 2016). Slamp yüksekliği, kıvamın deneysel bir ölçüsü olmakla birlikte malzemenin akma gerilmesine ve yoğunluğuna bağlıdır. Dolayısıyla malzemenin kimyasal bileşimi, tane özgül ağırlığına ve tane boyutu doğrudan etkilemektedir. Pompalama sistemlerinde kıvam parametresi olarak sadece slamp değerinin kullanılması potansiyel olarak sorunlara yol açabilir. Akma gerilmesi kıvam için daha iyi sonuç vermektedir. Slamp değeri ile akma gerilmesi ilişkilendirilebiliyorsa, slamp testi akma gerilmesi ölçümü yerine daha basit ve ideal bir yöntem olarak kullanılabilir (Clayton ve diğ., 2003). Genellikle macun dolgu karışımında su miktarı arttıkça karışımın slamp değeri artmaktadır. Ancak fazla su ihtiva eden karışımın kür süresi uzamakta ve dolgu dayanım ve durabilitesi azalmaktadır (Erçikdi, 2009). Bu tez çalışmasında slamp deneyi TS EN 12350-2 standardına göre yapılmıştır.



Şekil 3.11: Slamp metodolojisi (a), deney ekipmanları ve artık malzemesinin slamp ölçümü (b ve c).

Slamp testinde, ölçüleri belirli ($h=300$ mm, taban çapı= 200 mm, üst çapı= 100 mm), tepesi kesik koni şeklindeki metal bir kalıp içine üç eşit tabaka halinde ve her bir tabakası 25 kez özel bir çubukla (60 cm uzunlukta 16 mm çapında) şişlenerek standart olarak doldurulan numunenin, ilk yüksekliği ile kap kaldırıldıktan sonraki yüksekliği arasındaki farkın ölçülmesi esas alınmıştır (Şekil 3.11).

3.4. MACUN DOLGU NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Artık, bağlayıcı malzeme ve karışım suyu kullanılarak %3-11 çimento oranı ve 6-10 inch (15-25 cm) slump aralığında macun dolgu numuneleri hazırlanmış ve daha sonra %80 nemli ve 25°C sıcaklık ortamında 3, 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde beklemeye tabi tutulmuştur. Bağlayıcı malzeme olarak Akçansa CEM I 42,5 R çimento kullanılmıştır. Bağlayıcı malzeme miktarı %80 PKO'ya göre hesaplanarak ilave edilmiştir. Macun dolgu karışımının istenen akışkanlığa gelmesi için çeşme suyu kullanılmıştır. Karışımın (artık malzeme, bağlayıcı ve su) homojen bir şekilde hazırlanması için beton mikseri kullanılmıştır (Şekil 3.12). Karıştırma işlemi 7 dakika (Ghirian ve Fall, 2015) süreyle yapılmıştır. Karışım suyunun (artığın kendi bünyesinde bulunan su ve katı oranını %80'e getirmek için ilave edilen çeşme suyu) ortalama pH'ı 9,33'tür.



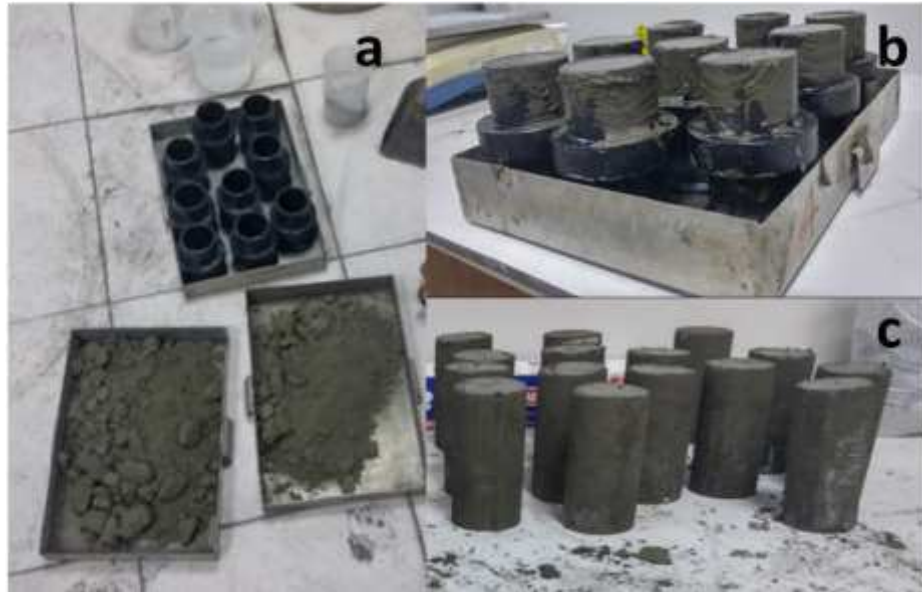
Şekil 3.12: Çimentolu macun dolgu karışımı hazırlanan mikser.

Hazırlanan macun dolgu karışımı 5 cm çapında ve 10 cm yüksekliğindeki silindir numune kalıplarına dökülmüştür (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: 5 cm çapında ve 10 cm yüksekliğindeki silindir numune kalıpları.

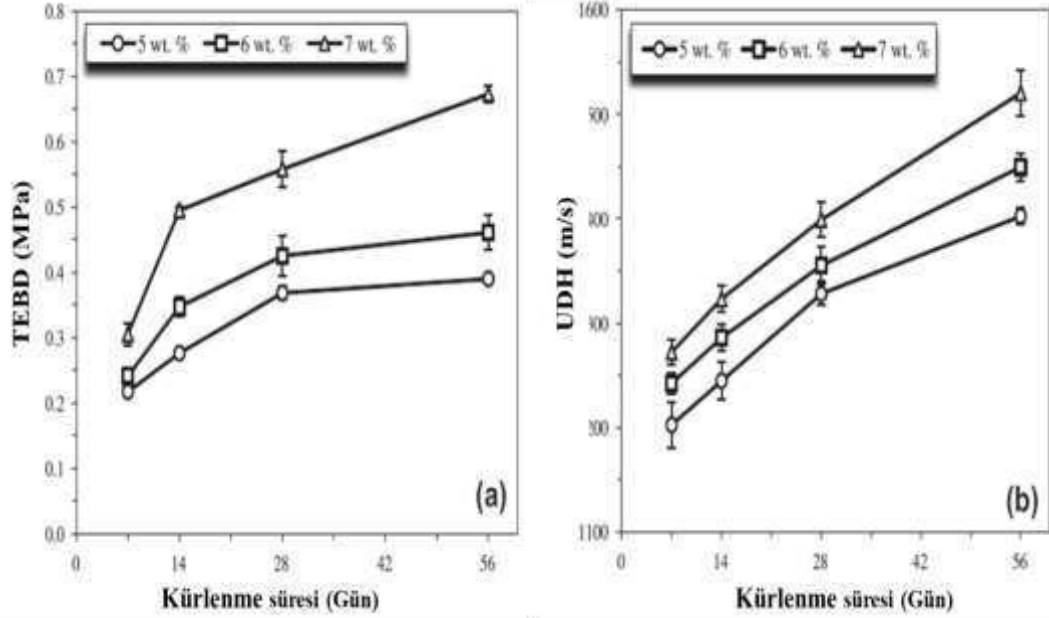
Her bir bağlayıcı oranı (%3, %5, %7, %9 ve %11) ve kür süresi (3, 7, 14 ve 28 günlük) için %80 PKO'da 5 adet numune hazırlanmıştır. Çimento oranı ve su/çimento oranının macun dolgu performansına etkisini belirlemek amacıyla toplam 100 adet numune hazırlanmıştır.



Şekil 3.14: Macun dolgu numunelerinin kalıplara dökülmesi (a ve b) ve numunelerin kalıplardan çıkarılmış görünümü (c).

3.5. ULTRASONİK DALGA HIZI (PUNDİT DENEYİ)

Pundit cihazı adını “Portable Ultrasonig Non-destructive Indicatel Tester (Taşınabilir Ultrasonik Hasarsız Dijital Göstergeli Test)” kelimelerinin ilk harflerinden alır. Ultrasonik Dalga Hızı (UDH) testi, beton veya kaya malzemelerinin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan en popüler tahribatsız tekniklerden biridir (Yılmaz ve diğ., 2014). Ultrasonik dalga hızı testi hem arazi hem de laboratuvar koşullarında uygulanabilen tahribatsız ve kolay bir yöntemdir. Madencilik, inşaat ve jeoteknik mühendisliğinde kaya veya beton malzemelerinin jeoteknik özelliklerini belirlemek için UDH giderek daha fazla kullanılmaktadır. Düşük maliyetli, daha az zaman alıcı ve pratik bir yöntem olan UDH testinin, kaya ve beton TEBD'ini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Trtnik ve diğ., 2009). Bu çalışmada, ultrasonik dalga hızı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için ampirik (deneysel) eşitliklerin korelasyon katsayıları (r) Microsoft Excel yardımıyla hesaplanmıştır. Şekil 3.15'te kür süreleri dikkate alındığında bağlayıcı oranının artması ile TEBD ve UDH değerlerinin arttığı görülmektedir (Yılmaz ve diğ., 2014).



Şekil 3.15: Farklı artık malzemesi ile farklı bağlayıcı oranlarında hazırlanan ÇMD numunelerinin kür sürelerine göre TEBD (a) ve UDH (b) değerlerindeki değişim (Yılmaz ve diğ., 2014).

Karışımın hazırlanmasından sonraki ilk saatlerde, ÇMD'nin çok yumuşak olması nedeniyle ultrasonik dalga ölçümleri almak zordur. Galaa ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada

kısa süre sonra yapılan ölçümlerin hatalı olması nedeniyle ultrasonik özelliklerinin belirlenmesi için ölçümlerin kürden birkaç gün sonra yapılmasını önermişlerdir.

Bu çalışmada ÇMD'nin ultrasonik özellikleri 3-28 günlük kür periyodları boyunca araştırılmıştır. Bu kapsamda, bağlayıcı oranın, çimentolu macun dolgusu (ÇMD) numunelerinin Ultrasonik Dalga Hızı (UDH) üzerindeki etkileri araştırılmış ve buna karşılık gelen Tek Eksenli Basınç Dayanım (TEKB) verileri ile ilişkilendirilmiştir.

ÇMD numuneleri 3, 7, 14 ve 28 günlük kür periyotlarında ASTM C 597 (2009) standartlarına uygun olarak Uzunluk Ölçümü 0,1 mm'lik ve zaman 0,1 μ s hassaslıkta sinyal süresine ve 54 kHz sinyal frekansına sahip Pundit-Plus model test cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.16) .



Şekil 3.16: Pundit deney cihazı (a) ve ölçümü (b).

Geçiş süresi ölçümünün doğruluğunu en üst düzeye çıkarmak için, transdüser yüzey ile numune yüzeyi arasında iyi bir bağ oluşturacak şekilde ÇMD numunelerinin yüzeylerindeki kireç ve benzeri maddeler temizlenerek deneye hazır hale getirilmiştir. Tam teması sağlamak ve transdüserler ile numune ortamı arasındaki hava boşluğu ortadan kaldırmak için transdüserler yüzeyine (verici ve alıcı) jel ince bir kat şeklinde uygulanmıştır (Şekil 3.17). Numunelerin düzgün yüzeylerinden okumalar yapıp ortalama değerler kaydedilmiştir.



Şekil 3.17: Transdüserlerin (verici ve alıcı) ölçüm için hazırlanması.

Macun dolgu silindirin bir yüzeyinden içeriye gönderilen ses üstü dalganın, silindirdeki diğer bir yüzeye ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$UDH(x, t) = \frac{x}{t} \quad (3.5)$$

UDH (x, t): ÇMD 'de P dalga hızı,

x: verici ve alıcı arasındaki mesafe (numune uzunluğu),

t: P dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zamandır.

3.6. TEK EKSENLİ BASMA DAYANIMI (TEBD)

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi ultrasonik testte olduğu gibi 100×50 mm boyutlarındaki silindirik numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi ASTM C 39 standardına göre yapılmıştır. Belirlenen kür sürelerine ulaşan numuneler 20 ton yükleme kapasitesine sahip 1 mm/dk sabit yükleme hızında otomatik kontrollü preste kırılarak dayanım değerleri her bir çimento oranı için 3, 7, 14 ve 28 günlük kür süresinde bulunmuştur.

4. BULGULAR

4.1. Artık Malzemenin Karakterizasyonu

Tez çalışmasında kullanılan artık malzeme Kastamonu-Küre Bakır madeninden alınan cevher hazırlama tesisi filtrasyon artıklarıdır. Tez kapsamında malzemenin kıvamının (slamp) belirlenmesi adına testler yapılmış ve artık malzemenin özgül ağırlığı belirlenmeye çalışılmıştır.

4.1.1. Özgül Ağırlık

Artıkların özgül ağırlığı (G_s) piknometre kullanılarak ASTM D854-02 standardına göre belirlenmiştir. Artık malzemenin yapılan iki ayrı piknometre deneyinde özgül ağırlıkları 3,48 ve 3,51 olarak bulunmuş olup malzemenin ortalama özgül ağırlığı $3,495 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ÇMD'nin farklı çimento oranlarındaki özgül ağırlığı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

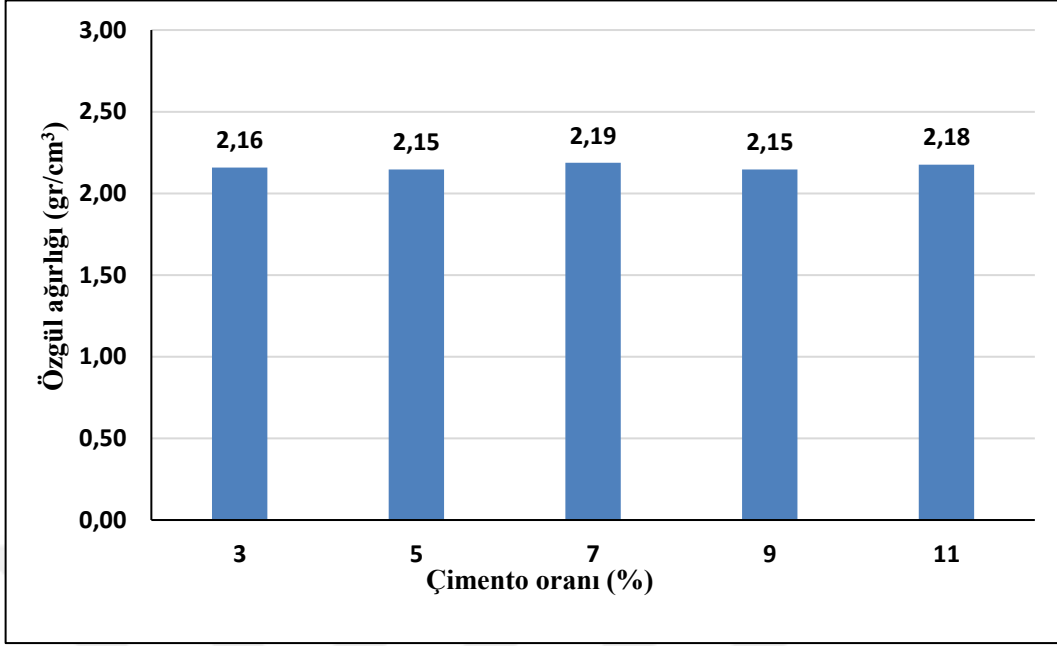
Tablo 4.1: Artık malzemenin özgül ağırlık sonuçları.

Piknometre Kap No	Piknometre Darası	M_{bw}	M_{bws}	Özgül Ağırlık (G_s)
9 (500 ml)	116,3 g	648,9 g	791,5 g	3,48
12 (250 ml)	61,9 g	313,7 g	385,2 g	3,51
Ortalama				3,495

$$G_s = \frac{M_s \times G_{wt}}{(M_s + M_{bw}) - M_{bws}} = \frac{200 \times 1}{(200 + 648,9) - 791,5} = 3,48 \text{ g/cm}^3$$

$$G_s = \frac{M_s \times G_{wt}}{(M_s + M_{bw}) - M_{bws}} = \frac{100 \times 1}{(100 + 313,7) - 385,2} = 3,51 \text{ g/cm}^3$$

$$G_s (\text{ortalama}) = \frac{3,48 + 3,51}{2} = 3,495 \text{ g/cm}^3$$

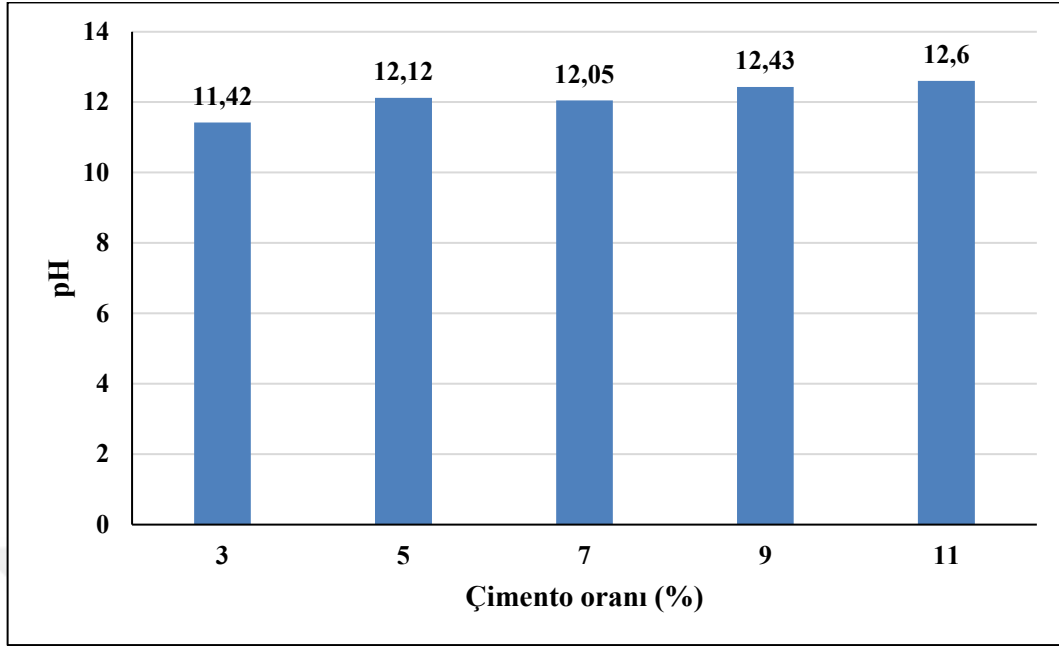


Şekil 4.1: ÇMD'nin farklı çimento oranlarındaki özgül ağırlığı.

Kütlece %5 çimento kullanıldığında macun dolgunun özgül ağırlığı $2,15 \text{ gr/cm}^3$, %7 çimento kullanıldığında $2,19 \text{ gr/cm}^3$ ve %11 çimento kullanıldığında $2,18 \text{ gr/cm}^3$ olduğu görülmektedir (Şekil 4.1). Farklı oranlarda çimento kullanılmasına rağmen özgül ağırlıkların birbirine yakın çıkmasının nedeni olarak çimento ve artık malzemenin özgül ağırlıklarının hemen hemen aynı olmasıdır.

4.1.2. Sızıntı Suyun pH Analizi

Farklı çimento oranlarındaki macun dolgu numuneleri kalıba döküldükten sonra toplanan sızıntı sularının pH değerleri ölçülmüştür. Macun dolgu karışımında kullanılan suyun pH'ı 7,5'dir. Şekil 4.2'de görüldüğü üzere %3 çimento oranında hazırlanan ÇMD'nin pH'ı 11,42, %7 çimento oranında hazırlanan ÇMD'nin pH'ı 12,27 ve %11 çimento oranında hazırlanan ÇMD'nin pH'ı 12,6 olarak ölçülmüştür. Buradan çimento oranının arttıkça pH'ın yükseldiği söylenebilmektedir.

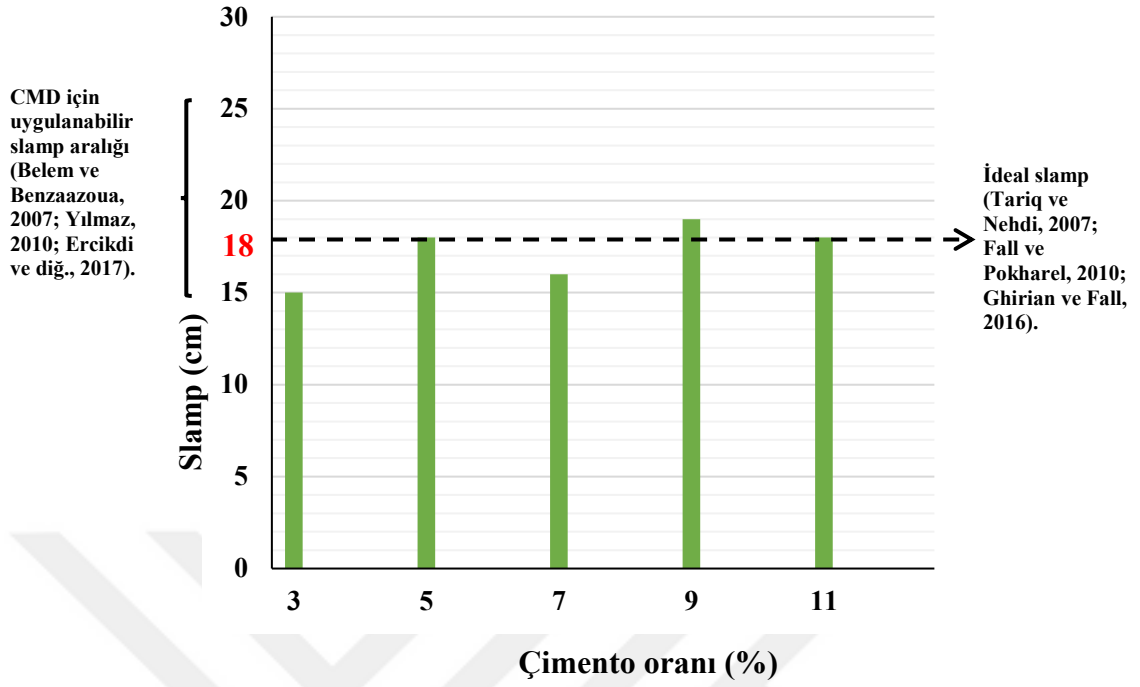


Şekil 4.2: Farklı çimento oranlarındaki sızıntı suyunun pH değerleri.

%5-7 çimento oranlarındaki sızıntı suyun pH değerleri 12 ile 12,5 arasındadır (Şekil 3.10). Küre bakır macun karışımının %3-11 çimento oranlarındaki sızıntı suyunun pH değerleri 11,42 ile 12,6 arasındadır. Bu karşılaştırmada sularının pH değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.2 incelendiğinde genellikle çimento oranı arttığında pH'ın yükseldiği anlaşılmaktadır.

4.1.3. Kıvam (Slamp) Deneyi

Bu kapsamda Sabit PKO değerinde (%80) çimentolu macun dolgu karışımları hazırlanmıştır. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi farklı çimento oranlarında slamp değerlerinin 15 – 25 cm arasında olduğu tespit edilmiştir. Belem ve Benzaazoua (2007), Yılmaz (2010) Ercikdi ve diğ. (2017) ve Ouattara ve diğ. (2017) çalışmalarına göre macun dolguda bu slamp değerlerin kullanılabilirliği uygundur.



Şekil 4.3: Farklı çimento oranlarında slamp değerleri.

Tariq ve Nehdi (2007), Fall ve Pokharel (2010) ve Ghirian ve Fall (2016) söylediklerine göre ÇMD teknolojisinde ideal ve en sık kullanılan slamp değeri 18 cm'dir. Küre bakır macun karışımında %5 ve %11 çimento oranlarında slamp değeri 18 cm bulunmuştur (Şekil 4.3).

4.2. MEKANİK TESTLER

Bu tez kapsamında mekanik testlerin yapılabilmesi amacıyla toplam 100 adet numune hazırlanmış ve test edilmiştir. Çimentolu macun dolgu numuneleri üzerinde dayanım testleri 3, 7, 14 ve 28 günlük kür sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Artık malzeme numunelerine ağırlıkça %3, %5, %7, %9 ve %11 çimento oranlarında ve akışkanlığı 6" ve 10" (15-25 cm) slamp olan numuneler hazırlanmıştır.

4.2.1. Tek Eksenli Basma Dayanımı (TEBD)

Yeraltı macun dolgu uygulamalarında genellikle arakathlı dolgu için 28 günde en az 1 Mpa, tavanı tutma özelliği için ise en az 4 Mpa dayanım olacak şekilde dizayn edildiği Bölüm 2'de belirtilmiştir. Malzemenin mekanik testlerinin yapılabilmesi amacıyla hazırlanan numuneler, çeşme suyu ile karıştırılarak elde edilmiştir. Dolgu malzemesi hazırlanırken bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. %3, %5, %7, %9 ve %11 çimento oranlarında

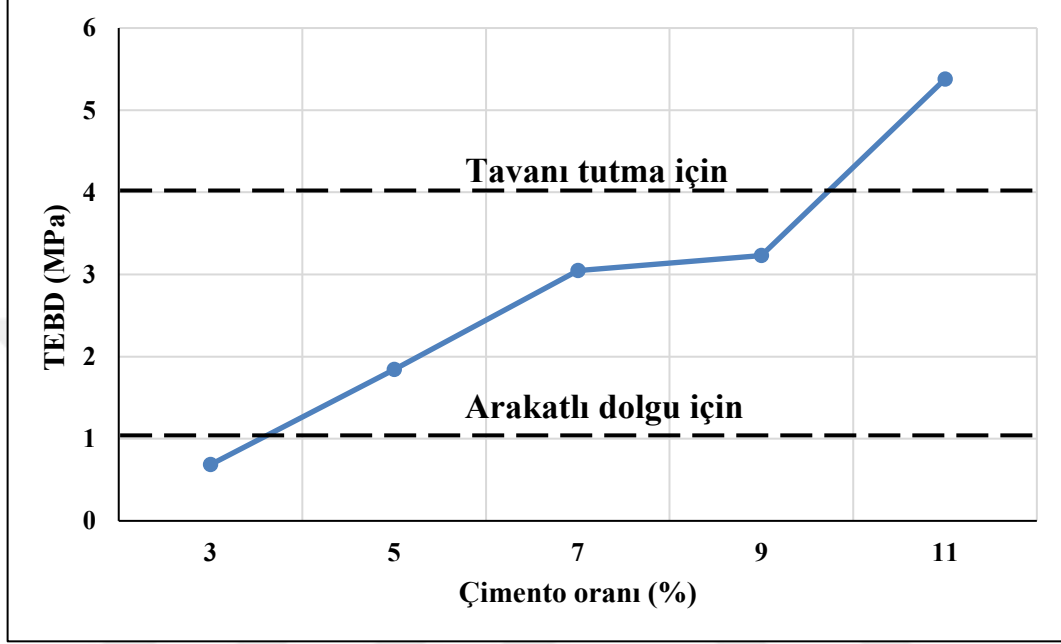
CEM I 42,5 R kullanılarak hazırlanan karışım numunelerinin bağlayıcı oranları ve kür süresine göre tek eksenli basma dayanımı sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Farklı kür sürelerindeki %80 PKO'lu ÇMD numunelerinin TEBD sonuçları.

Çimento oranı (%)	Kür süresi (Gün)	TEBD ortalama* (MPa)	TEBD yüzdesel artışı (%)	3 günlük ve 28 günlük TEBD yüzdesel artışı(%)
3	3	0,427	-	60,422
	7	0,658	54,098	
	14	0,66	0,304	
	28	0,685	3,788	
5	3	1,232	-	49,432
	7	1,452	17,857	
	14	1,734	19,421	
	28	1,841	6,171	
7	3	2,023	-	50,618
	7	2,628	29,906	
	14	2,889	9,932	
	28	3,047	5,469	
9	3	2,214	-	45,890
	7	2,819	27,326	
	14	2,903	2,980	
	28	3,23	11,264	
11	3	4,132	-	30,155
	7	4,365	5,639	
	14	4,62	5,842	
	28	5,378	16,407	

Not: * TEBD değerleri 5 adet macun dolgu numunenin ortalama değeridir.

Tablo 4.2’de görüldüğü üzere, artan çimento bağlayıcı oranı ile beraber kür süresine bağlı olarak da TEBD artış göstermiştir. Ayrıca bu sonuçlar grafiksel olarak Şekil 4.4 ve 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.4: 28 günlük kür süresi sonundaki TEBD değerleri.

28 günlük kür süresi sonundaki dayanımları Şekil 4.4’te görülmektedir. Buna göre kür süresi sonunda en düşük dayanım %3 çimentolu macun dolgu karışımında ölçülürken (0,685 MPa) en yüksek dayanım ise %11 çimentolu macun dolgu karışımında ölçülmüştür (5,378 MPa).

28 günlük kür süresi sonunda yeraltı macun dolgu uygulamalarında yalnızca arakatlı kazı ve dolgu yapılacak işletmeler için %5, %7, %9 ve %11 çimentolu karışımlar uygun olabilirken (en az 1 MPa dayanım), tavanı tutma özelliği istenen yeraltı işletmeleri için ise yalnızca %11 çimentolu karışımlar istenen dayanımı (> 4 MPa) sağlamaktadır. %3 çimentolu karışım ise istenilen değerlerin altında kalmıştır.

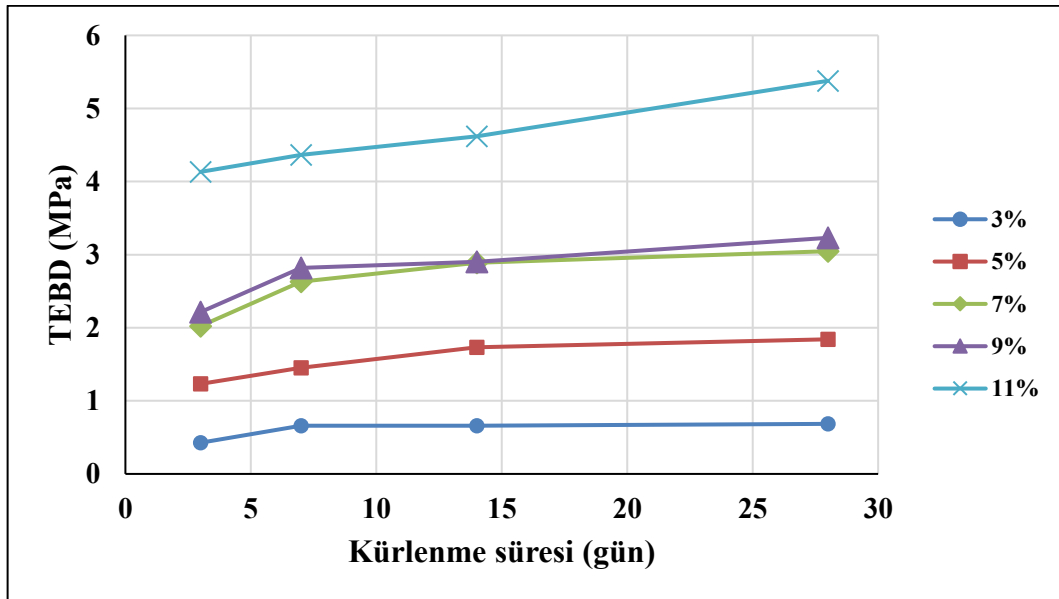
Fall ve diğ. (2005) çalışmasına göre bir altın madeni proses atığı ile hazırlanan %76 PKO, %4,5 PÇ 1/PÇ V bağlayıcı, %25 ince tane (>20 μm) ve slump değeri 18 cm macun dolguda 14 günlük dayanımı 0,24 MPa iken 28 günlük dayanımı 0,275 MPa olduğu Tablo 4.3 görülmektedir. Ayrıca küre bakır macun dolgu karışımının 14 günlük dayanımı 1,73 MPa iken 28 günlük dayanımı 1,84 MPa olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3: 14 ve 28 günlük kür sürelerindeki TEBD'nin literatür ile karşılaştırılması.

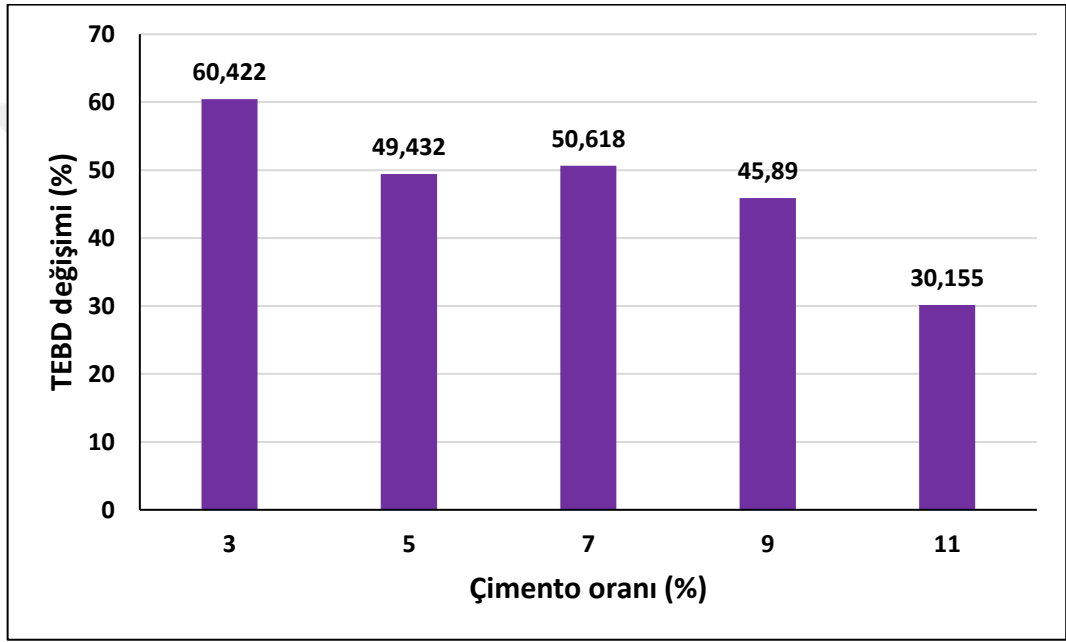
	Fall ve diğ. ,2005 (Çimento oranı %4,5, slamp 18cm)	Küre bakır macun dolgu karışımı (Çimento oranı %5, slamp 18cm)
14 günlük TEBD	0,245 MPa	1,73 MPa
28 günlük TEBD	0,270 MPa	1,84 MPa
Yüzesel TEBD değişimi	10,2	6,2

Yüzesel TEBD değişimleri Fall ve diğ. (2005) göre %10,2 iken Küre bakır macun dolgu karışımının %6,2 olduğu tespit edilmiştir. Aradaki yüzesel TEBD değişimlerinin nedeni PKO, bağlayıcının cinsi ve oranından kaynaklandığı düşünülmektedir (Tablo 4.3).

Farklı bağlayıcı oranlarında tek eksenli basma dayanımları (TEBD) ölçülen numunelerin 3,7,14 ve 28 günlük kür süreleri sonundaki dayanımları Şekil 4.5'te görülmektedir. Bütün karışımlarda 3-28 günlük TEBD incelendiğinde lineer bir artış vardır.

**Şekil 4.5:** Kür sürelerine göre elde edilen TEBD.

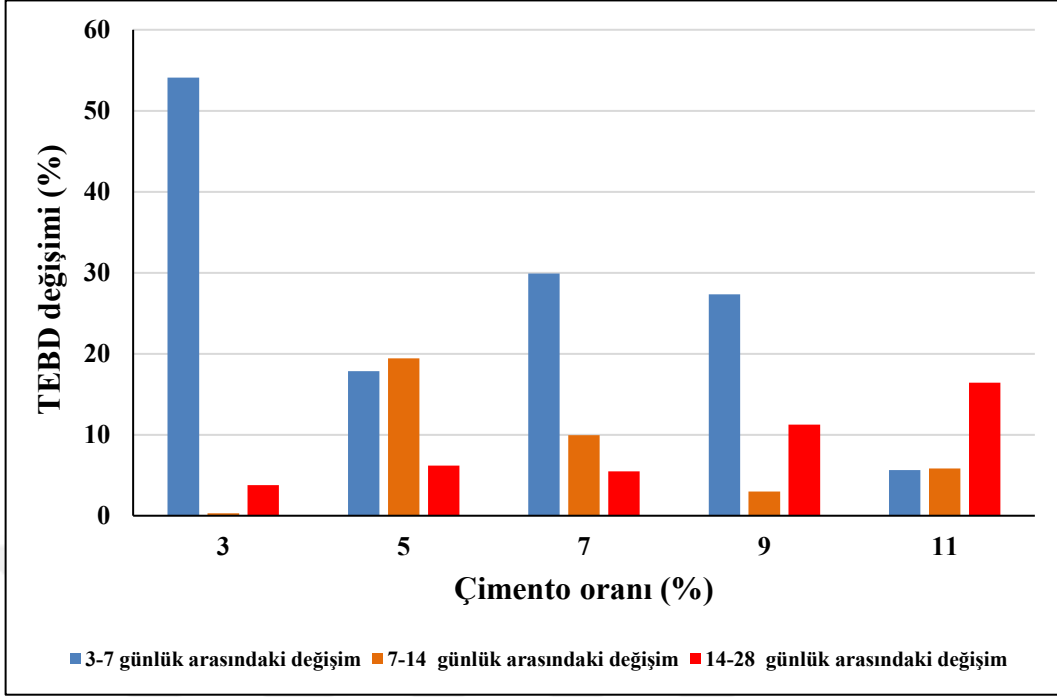
%3 çimento karışımının 28 günlük TEBD dayanım bakıldığında 0,685 MPa görülürken, %2 çimento eklendiğinde %169 artış belirlenmiştir. %7 ve %9 çimentolu karışımları bakıldığında çimento oranı artmasına rağmen TEBD değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Karışımlara %2 çimento eklendiğinde TEBD'daki en fazla değişim (MPa) %9 ile %11'lik karışımlarda gözlenmekte olup 2,148 MPa artmıştır (Şekil 4.5). Ayrıca farklı çimento oranlarına göre 3 ile 28 günlük kür sürelerindeki TEBD değerlerinin yüzdesel değişimleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6: Farklı çimento oranlarına göre 3 ile 28 günlük kür sürelerindeki TEBD değerlerinin yüzdesel değişimleri.

Tablo 4.2 ve Şekil 4.6 incelendiğinde farklı çimento oranlarındaki macun dolgu karışımlarının 3 günlük ve 28 günlük TEBD değişimlerine bakıldığında en fazla artış %3 çimentolu karışımında %60,422 olarak tespit edilmiştir.

Farklı çimento oranlarındaki ÇMD numunelerinin 3-7, 7-14 ve 14-28 günlük kür süreleri arasındaki TEBD yüzdesel değişimleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7: Farklı çimento oranlarındaki ÇMD numunelerinin 3-7, 7-14 ve 14-28 günlük kür süreleri arasındaki TEBD yüzdesel değişimi.

Şekil 4.7'de görüldüğü üzere 3-7 günlük kür süreleri arasında en fazla %3 çimentolu karışımda %54,098 ile artış, 7-14 günlük kür süreleri arasında en fazla %5 çimentolu karışımda %19,421 ile artış ve 14-28 günlük kür süreleri arasında en fazla %11 çimentolu karışımda %16,407 ile artış sağlamaktadır.

Sonuç olarak bağlayıcı miktarı macun dolguda en önemli parametredir. Tezde bağlayıcı olarak kullanılan CEM I 42,5 R Portland çimentosu miktarındaki artış dolgunun 28 günlük kür sonunda performansını iyileştirmiş ve dayanım kaybını engellemiştir.

4.3. Ultrasonik Dalga Hızı (Pundit Deneyi)

Hazırlanan çimentolu macun dolgu numunelerinin bağlayıcı oranları ve kür süresine göre UDH değerlerin sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

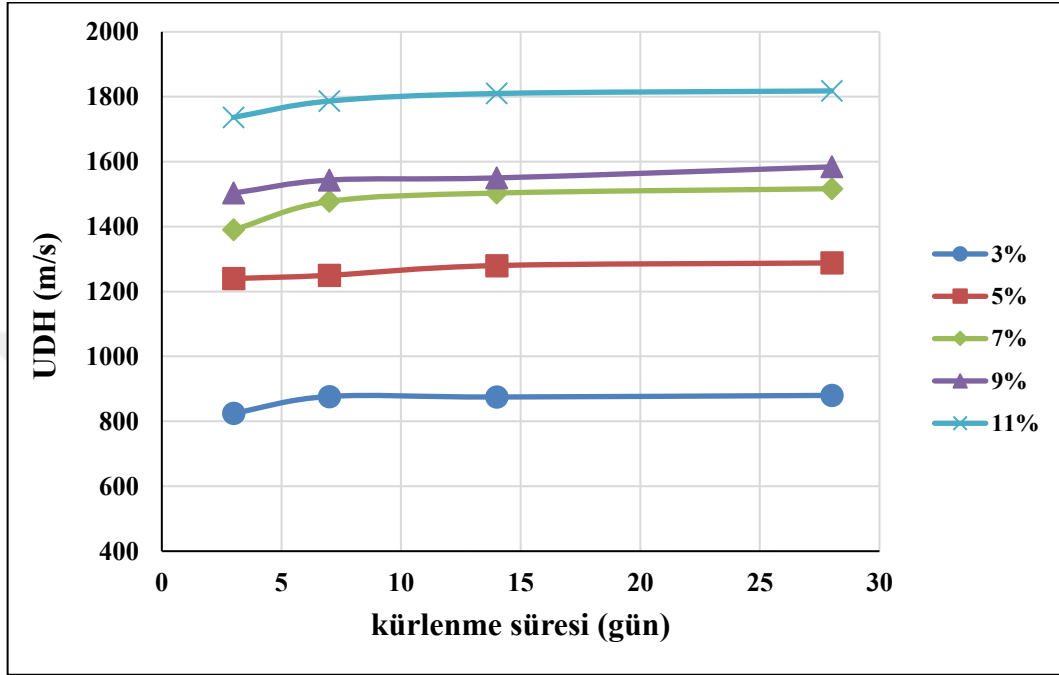
Tablo 4.4: Farklı kür sürelerindeki %80 PKO'lu ÇMD numunelerinin UDH sonuçları.

Çimento oranı (%)	Kür süresi (Gün)	UDH ortalama* (m/s)	UDH yüzdesel değişimi (%)	3 günlük ve 28 günlük UDH yüzdesel artışı (%)
3	3	825	-	6,667
	7	876	6,182	
	14	875	-0,114	
	28	880	0,571	
5	3	1240	-	3,871
	7	1250	0,806	
	14	1280	2,4	
	28	1288	0,625	
7	3	1390	-	9,065
	7	1477	6,259	
	14	1503	1,76	
	28	1516	0,865	
9	3	1503	-	5,389
	7	1543	2,661	
	14	1550	0,454	
	28	1584	2,194	
11	3	1736	-	4,724
	7	1786	2,88	
	14	1810	1,344	
	28	1818	0,442	

Not: * UDH değerleri 5 adet macun dolgu numunenin ortalama değeridir.

Tablo 4.4'teki Pundit deneylerinin sonuçları karşılaştırıldığında, karışım numunelerindeki çimento oranı arttıkça UDH değerlerinin de artması numuneler içerisindeki süreksizliklerin ve mikroçatlakların azaldığı ve bu numunelerin daha kararlı hale geldiği TEBD testlerinin sonuçlarından anlaşılmaktadır.

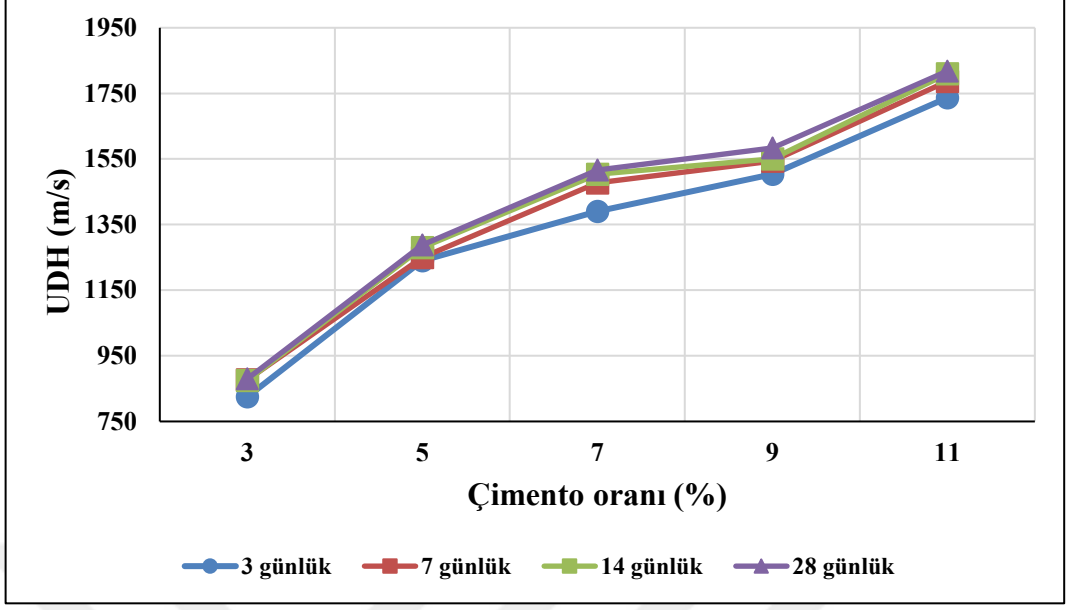
Şekil 4.8’de farklı bağlayıcı oranlarının (%3-%5-%7-%9 ve %11 çimentolu macun dolgu numuneleri) belirlenen kür sürelerinde (3-7-14 ve 28 gün) ölçülen UDH değerleri sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.8: Farklı bağlayıcı oranlarındaki ÇMD’nin kür sürelerine göre UDH değerleri.

UDH değer ölçümlerinin 7. gün kür süresinden sonra ortalama değerde kaldığı gözlemlenmiştir. %3 çimento karışımının 28 günlük UDH değerine bakıldığında 880 m/s görülürken, %8 çimento eklendiğinde 1818 m/s olduğu ve %344 artış olduğu belirlenmiştir. %7 ve %9 çimentolu karışımları bakıldığında çimento oranı artmasına rağmen UDH değerlerinin birbirine yakın olduğu, sadece %4,5’lik bir artış olduğu görülmüştür (Şekil 4.8).

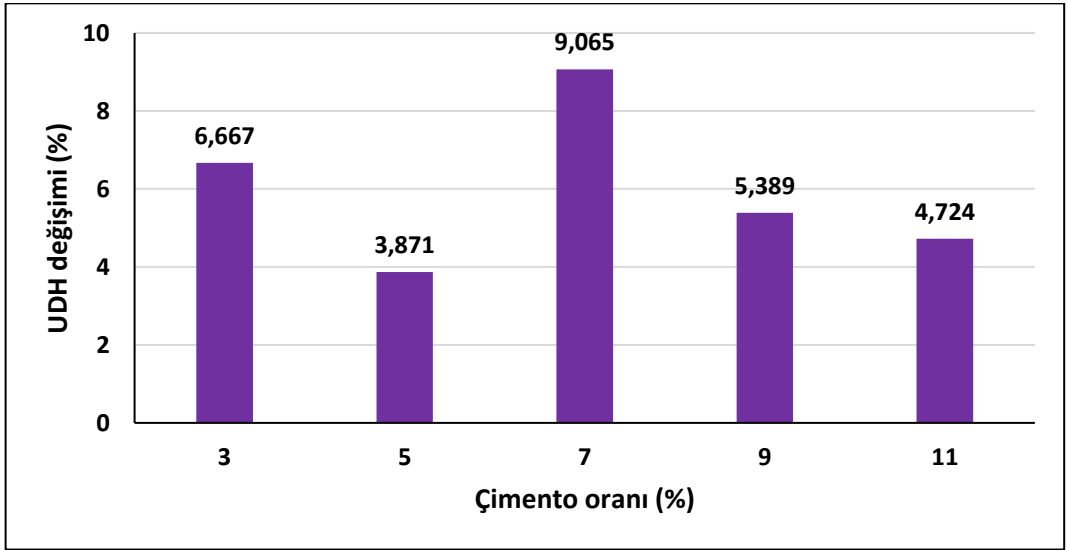
Farklı bağlayıcı oranlarında UDH ölçülen numunelerin 3,7,14 ve 28 günlük kür sürelerine göre Şekil 4.9’te görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere çimento oranı arttıkça UDH değerlerin arttığı belirlenmiştir.



Şekil 4.9: Farklı bağlayıcı oranlarındaki ÇMD'nin UDH değerleri.

Şekil 4.9'de görüldüğü üzere çimento oranı arttıkça dolgunun daha kompozit hale geldiğini, numune içerisindeki süreksizliklerin azaldığını ve numunelerin daha kararlı bir yapı sergilediklerini ortaya koymaktadır ve dolayısıyla UDH değerlerinde bir artış gösterir.

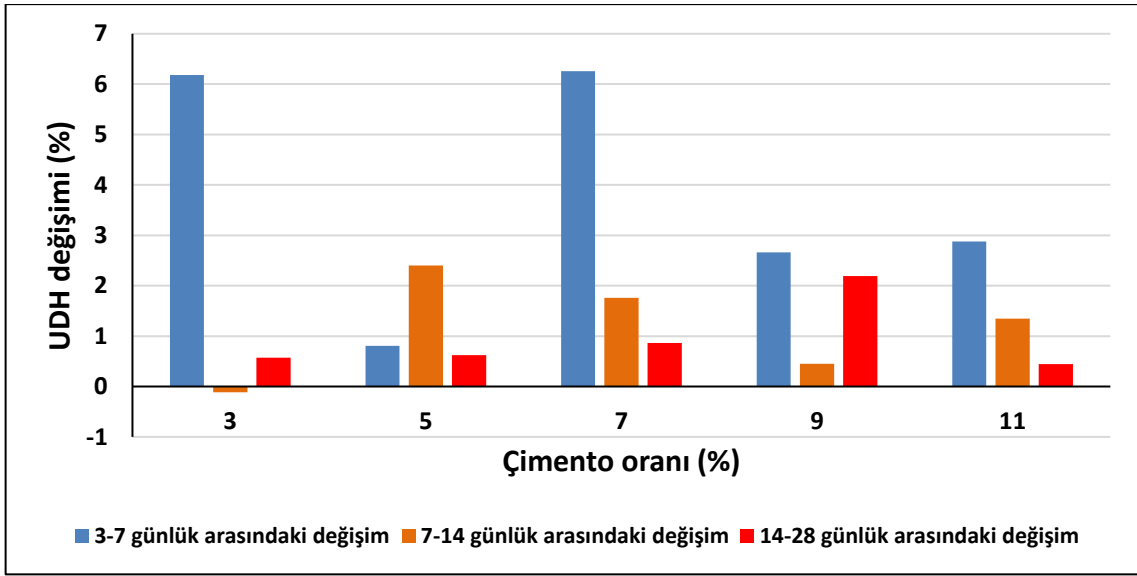
Farklı çimento oranlarına göre 3 ile 28 günlük kür sürelerindeki UDH değerlerinin yüzdesel değişimleri Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10: Farklı çimento oranlarına göre 3 ile 28 günlük kür sürelerindeki UDH değerlerinin yüzdesel değişimleri.

Şekil 4.10 incelendiğinde farklı çimento oranlarındaki macun dolgu karışımlarının 3 günlük ve 28 günlük UDH değişimlerine bakıldığında en fazla artış %7 çimentolu karışımda %9,065 ve en düşük artış %5 çimentolu karışımda %3,871 olarak tespit edilmiştir.

Farklı çimento oranlarındaki ÇMD numunelerinin 3-7, 7-14 ve 14-28 günlük kür süreleri arasındaki UDH yüzdesel değişimleri Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11: Farklı çimento oranların 3-7, 7-14 ve 14-28 günlük kür sürelerinin arasındaki UDH yüzdesel değişimi.

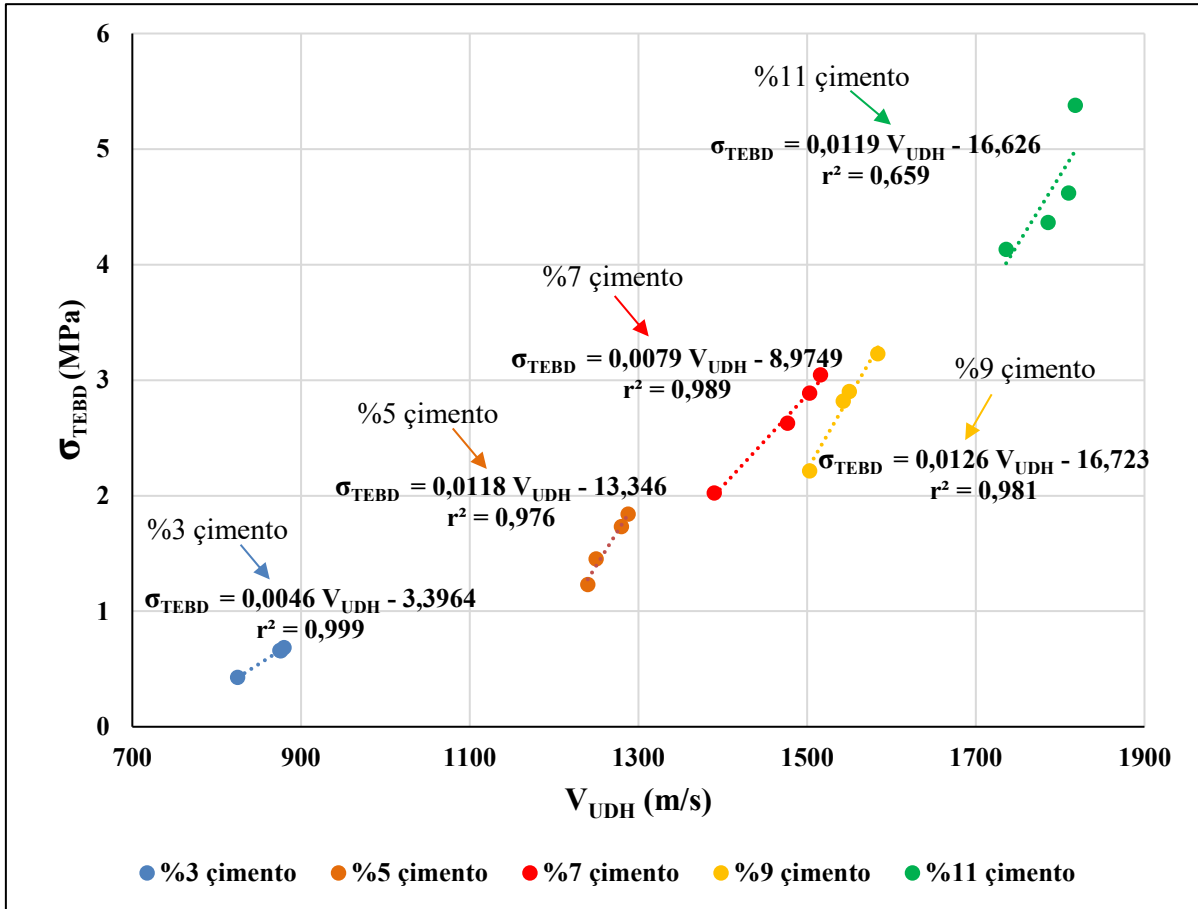
Şekil 4.11’de görüldüğü üzere farklı çimento oranlarında en fazla UDH değişim 3-7 günlük arasında görülmektedir. 3-7 günlük kür süreleri arasında en fazla %7 çimentolu karışımda %6,259 artış, 7-14 günlük kür süreleri arasında en fazla %5 çimentolu karışımda %2,4 artış ve 14-28 günlük kür süreleri arasında en fazla %9 çimentolu karışımda %2,194 artış olduğu anlaşılmaktadır.

4.4. UDH-TEBD İLİŞKİSİ

UDH-TEBD ilişkisinin incelendiği grafiklerin (Şekil 4.12) korelasyon katsayıları (r^2) ve eşitlikler Tablo 4.5’te özetlenmiştir. En uygun ilişki, doğrusal (lineer) ilişki metoduyla sağlanmıştır.

Tablo 4.5: UDH-TEBD ilişkisine ait eşitlikler ve korelasyon katsayıları.

Çimento Oranı	Basınç Dayanım Eşitliği ($y = ax \pm b$)	korelasyon katsayıları (r^2)
%3	$\sigma_{TEBD} = 0,0046 V_{UDH} - 3,3964$	0,999
%5	$\sigma_{TEBD} = 0,0118 V_{UDH} - 13,346$	0,976
%7	$\sigma_{TEBD} = 0,0079 V_{UDH} - 8,975$	0,989
%9	$\sigma_{TEBD} = 0,0126 V_{UDH} - 16,723$	0,981
%11	$\sigma_{TEBD} = 0,0119 V_{UDH} - 16,626$	0,659

**Şekil 4.12:** Farklı çimento oranlarında TEBD ve UDH ilişkisi.

Şekil 4.12 ve Tablo 4.5'te görüldüğü üzere %3 çimento oranı ($r^2= 0,999$), %5 çimento oranı ($r^2= 0,976$) %7 çimento oranı ($r^2= 0,989$) %9 çimento oranı ($r^2=0,981$) ve %11 çimento oranı ($r^2=0,659$) etkisinin incelendiği UDH-TEBD ilişki grafiklerinden korelasyon katsayılarının oldukça yüksek çıktığı belirlenmiştir. %11 çimentolu karışım dışındaki bütün karışımlarda TEBD ile UDH arasında en düşük $r^2= 0,976$ korelasyon katsayısına sahip güçlü bir ilişki ortaya

koyulmuştur. Ayrıca tek eksenli basma dayanımı ile ultrasonik dalga hızı arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu söylenebilir.

4.5. MACUN DOLGUNUN EKONOMİK ANALİZİ

Macun dolgu maliyetleri tek başına toplam maden işletme maliyetinin % 10 ila% 20'sini ve bağlayıcı maddeler dolgu maliyetlerinin ise %75'ini oluşturmaktadır (Belem ve Benzaazoua, 2007). Bu bakımdan macun dolguda istenen dayanım ve duraylılığı sağlayacak en ekonomik bağlayıcı oranının belirlenmesi önemlidir.

Sabit %80 PKO'da hazırlanan her bir karışımın içerdiği çimento miktarı Eşitlik 3.2 ve Şekil 4.1'den yararlanarak hesaplanmıştır. Çimento miktarı aşağıdaki formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Çimento miktarı (Kg/m}^3\text{)} = \rho \times \text{PKO} \times \text{çimento oranı} \quad (4.1)$$

ρ : Çimentolu macun dolgu numunenin özgül ağırlığı (Kg/m³),
PKO: Pülpte katı oranı (%).

Bu tez çalışmasında en düşük bağlayıcı oranında istenen dayanım ve duraylılığı (28 günde ≥ 1 MPa dayanım kazanımı ve Tavanı tutma özelliği ≥ 4 MPa dayanım kazanımı) sağlayan bağlayıcılara yönelik ekonomik değerlendirme yapılmıştır (Tablo 4.6). Bu koşulları %3'lük çimento karışımı sağlayamazken, %5-11'lik karışımlar sağlamaktadır.

Tablo 4.6: Bağlayıcı oranına göre 1 m³ macun dolguda kullanılacak çimento maliyetleri.

Çimento oranı (%)	28 günlük dayanım (MPa)	Çimento miktarı (Kg/m ³)	Maliyet (TL/m ³)	Maliyet yüzdesel artışı (%)
3	0,68	51,84	9,59	-
5	1,84	86	15,91	66
7	3,04	122,64	22,69	42
9	3,23	154,8	28,64	26
11	5,37	191,84	35,49	24

Not: Maliyetlerin hesaplanmasında çimento 160 TL/ton olarak baz alınmıştır.

Ayrıca 1 MPa dayanımı sağlayan en düşük çimentolu karışım %5'lik iken tavanı tutma koşulunu sağlayan tek karışım %11'lidir. Kullanılan çimentonun ekonomik değeri Türkiye'deki yerel firmalardan temin edilmiştir. Tablo 4.6 incelendiğinde, %5 ve %11 çimento oranındaki macun dolgunun maliyeti sırayla 15,91 TL/m³ ve 35,49 TL/m³ hesaplanmış ve %223 bir fiyat artışı görülmektedir. Bu nedenle yukardaki koşulları sağlayabilen en düşük çimento içerikli macun karışımı seçilmelidir. Ayrıca çimento miktarındaki artış farkları yoğunluğa bağlı değişmektedir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Macun dolgu yöntemi; zemin kontrolü, topukların kazanımında yeraltı tahkimatı ve kes-doldur sistemlerinde çalışma platformu gibi kullanımların olduğu çoğu yeraltı madencilik uygulamalarında bütünleşmiş bir rol oynamaktadır. Macun dolgu, kaya ve hidrolik dolguya kıyasla tesis zenginleştirme artıklarının yeraltında güvenli bir şekilde depolanabilmesine imkan vermektedir. Özellikle sülfürlü artıkların atmosferik koşullarda bozunması sonucu oluşabilecek zararlı bileşenleri (asidik maden suyu oluşumu gibi) önlemesi ya da minimize etmesi bakımından çevresel etki olarak diğer dolgu yöntemlerine göre daha faydalıdır.

Bu çalışmada, Küre Bakır İşletmeleri filtrasyon artıklarının yeraltında depolanabilmesi amacıyla CEM I 42,5 R çimento bağlayıcı kullanılarak, en uygun bağlayıcı oranını belirlemek için farklı bağlayıcı oranlarında (%3, %5, %7, %9 ve %11) ve 6-10"(15-22 cm) slamp değerlerinde %80 PKO'ya göre macun dolgu karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların dayanım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla karışım numuneleri TEBD testine tabii tutulmuştur. Ayrıca artıkların macun dolgu dayanım performansları ile UDH sonuçlarının arasındaki ilişki ortaya konmuştur.

Fall ve diğ., (2005) göre çimentolu macun dolguda kullanılacak olan artıkların özgül ağırlığı $2,8 \text{ gr/cm}^3 < G_s < 4,2 \text{ gr/cm}^3$ arasında olmalıdır. Küre bakır artık malzemesinin özgül ağırlığı ASTM D854-02 standartına uygun olarak $3,495 \text{ gr/cm}^3$ bulunmuş ve Belem&Benzaazoua (2007) çalışmasına göre uygun olduğu belirlenmiştir.

Brackebusch (1994), Belem ve Benzaazoua (2007), Tariq ve Nehdi (2007) Yılmaz (2010) yapmış olduğu çalışmalarına göre macun dolguda kullanılacak artıkların 20 µm ve altı ince tane oranının en az %15 olmalıdır. Buna göre Küre bakır artıklarıyla ilgili çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre 20 µm altı ince tane oranı %31,33 olduğu görülmüş ve macun dolgu karışımında kullanılabilirliği açısından bir sakınca olmadığı anlaşılmıştır.

Ouellet ve diğ. (2006), Ercıkdı (2009) ve Cihangir ve diğ. (2012) çalışmalarına göre ise sızıntı suyunun pH değerleri 9,5 ile 13 arasındadır ifadesi bu tez çalışmasındaki ÇMD numunelerinin sızıntı suyunun pH değerleri 11,42 ile 12,6 arasında ölçülerek uygunluğu belirlenmiştir.

Çimentolu macun dolgu karışımlarının yeraltı uygulamaları için dayanım sonuçlarına göre 28 günlük kür süresi sonunda yalnızca arakatlı kazı ve dolgu işlemleri yapılacak olan işletmelerde Bölüm 2 Tablo 2.2’de belirtilen $\geq 1\text{MPa}$ dayanım şartı (Belem ve Benzaazoua, 2007; Kesimal ve diğ., 2012; Li ve Fall, 2016) %5, %7, %9 ve %11 oranındaki çimentolu karışımlarda sağlanmıştır. Bu karışım oranları içerisinde maliyet düşünüldüğünde en az olan %5 çimentolu dolgu karışımı optimum karışım oranıdır. Aynı tabloda belirtilen tavanı tutma özelliği için istenen dayanım ise $\geq 4\text{MPa}$ (Kesimal ve diğ., 2012) olup bu şart yalnızca %11 oranındaki çimentolu karışım ile sağlanmaktadır. %11 çimentolu karışım uygulandığında %5 çimentolu karışımına göre TEBD’da %192 bir iyileşme sağlanmaktadır. Ayrıca bu tez çalışmasındaki 28 günlük TEBD sonuçları, Tablo 2.3’te verilen Jung ve Bisvas (2002) tarafından bir yeraltı bakır madeni proses artıkları üzerinde gerçekleştirilen %79,5 PKO’da %3-%6-%9 ve %12 CEM-I çimento katkılı ÇMD numunelerinin sırasıyla 0,8 MPa-2,23MPa-4,55 MPa ve 5,65 MPa olan 28 günlük TEBD sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Pundit deneylerinin sonucuna göre ise çimento oranı arttıkça dolgunun daha kompozit bir hale geldiği, numune içerisindeki süreksizliklerin azaldığı ve numunelerin daha kararlı bir yapı sergiledikleri UDH değerlerindeki artış ile ortaya konulmaktadır.

Bu tez çalışmasında yapılan deneyler sonucunda TEBD ve UDH değerleri arasında %11 çimento oranında hazırlanan numuneler $R^2 = 0,659$ ile en düşük ve %3 çimento oranında hazırlanan numunelerde ise $R^2 = 0,999$ bulunarak en yüksek korelasyonlu ilişki kurulmuştur. %5-%7 ve %9 çimento oranlarında korelasyon katsayısı ise $\sim 0,98$ olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla %9 çimento oranından sonra TEBD ve UDH değerleri arasındaki güvenilir bir korelasyon kurulamamaktadır.

Elde edilen veriler doğrultusunda bağlayıcı oranlarını dayanım ve duraylılığını dikkate alarak ekonomik açıdan değerlendirmek gerektiğinde ise, arakatlı dolgu için %5 tavan tutma özelliğine göre de %11 çimento oranları önerilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdul-Hussain, N. and M. Fall, 2011, Unsaturated hydraulic properties of cemented tailings backfill that contains sodium silicate, *Engineering geology*, 123(4): 288-301.
- Akyol, Y., 2016, *Macun dolguda mikroyapının dayanım ve duraylılık özelliklerine etkisinin araştırılması*, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Aldhafeeri, Z., M. Fall, M. Pokharel and Z. Pouramini, 2016, Temperature dependence of the reactivity of cemented paste backfill, *Applied geochemistry*, 72: 10-19.
- ASTM C 597, 2009, Standard test method for pulse velocity through concrete, *ASTM international*.
- ASTM C39/C39M-15a, 2015, Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, *ASTM international*.
- ASTM D854-02, 2002, Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer, *ASTM international*
- Baki, H., 2013, *Atık tane boyutunun sülfürlü atıklardan hazırlanan macun dolgu performansına etkisi*, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Başçetin, A., S. Tüylü, D. Adigüzel, O. Özdemir and U. Çınar, 2016a, Determination of optimum mixture ratios of paste backfill materials for disposal of mineral processing tailings, *SME*. Phoenix, AZ, SME: 4.
- Başçetin A., S. Tüylü, O. Özdemir and D. Adigüzel, 2016b, New technologies on mine process tailing disposal, *Journal of geological resource and engineering*, vol.4, no.2, pp.63-72
- Başçetin, A. and S. Tüylü, 2017, "Application of Pb-Zn tailings for surface paste disposal: geotechnical and geochemical observations, *International journal of mining, reclamation and environment*, 1-15.
- Başçetin A., S. Tüylü, O. Özdemir, D. Adigüzel and M. Benzaazoua, 2017, An investigation of crack formation in surface paste disposal method for pyritic Pb–Zn tailings, *International journal of environmental science and technology*, 1-8,
- Belem, T. and M. Benzaazoua, 2007, Design and application of underground mine paste backfill technology, *Geotechnical and geological engineering*, 26(2): 147-174.
- Bentel, G., 2013, Real value to mining industry of leading practice waste management, *Mining technology*, 120(3): 180-183.
- Benzaazoua, M., J. Ouellet, S. Servant, P. Newman and R. Verburg, 1999, Cementitious backfill with high sulfur content physical, chemical, and mineralogical characterization, *Cement and concrete research*, 29: 7.

- Benzaazoua, M., T. Belem and B. Bussie`re, 2002, Chemical factors that influence the performance of mine sulphidic paste backfill, *Cement and concrete research*, 32: 12.
- Benzaazoua, M. and T. Belem, 2004, An overview on the use of paste backfill technology as a ground support method in cut-and-fill mines, *Ground support in mining and underground construction*, Taylor & Francis: 631-636.
- Benzaazoua, M., M. Fall and T. Belem, 2004, A contribution to understanding the hardening process of cemented pastefill, *Minerals engineering*, 17(2): 141-152.
- Brackebusch, F. W., 1994, Basics of paste backfill systems, *International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics*, 46(1): 6.
- Chen, Q., Q. Zhang, A. Fourie and C. Xin, 2017, Utilization of phosphogypsum and phosphate tailings for cemented paste backfill, *J environ manage*, 201: 19-27.
- Chen, Q., Q. Zhang, C. Xiao and X. Chen, 2017, Backfilling behavior of a mixed aggregate based on construction waste and ultrafine tailings, *PLoS One*, 12(6): e0179872.
- Cihangir, F., B. Ercikdi, A. Kesimal, A. Turan and H. Deveci, 2012, Utilisation of alkali-activated blast furnace slag in paste backfill of high-sulphide mill tailings: effect of binder type and dosage, *Minerals engineering*, 30: 33-43.
- Cihangir, F., B. Ercikdi, A. Kesimal, H. Deveci and F. Erdemir, 2015, Paste backfill of high-sulphide mill tailings using alkali-activated blast furnace slag: effect of activator nature, concentration and slag properties, *Minerals engineering*, 83: 117-127.
- Clayton, S., T. G. Grice and D. V. Boger, 2003, Analysis of the slump test for on-site yield stress measurement of mineral suspensions, *International journal of mineral processing*, 70(1-4): 3-21.
- Çetiner, E. G., B. Ünver, M. A. Hindistan, 2006, Maden atıkları ile ilgili mevzuat: avrupa birliği ve türkiye, *Madencilik*, 45: 11.
- Erçikdi, B., 2009, *Mineral ve kimyasal katkı maddelerinin macun dolgu performansına etkisi*, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Ercikdi, B., F. Cihangir, A. Kesimal, H. Deveci and I. Alp, 2009, Utilization of industrial waste products as pozzolanic material in cemented paste backfill of high sulphide mill tailings, *J hazard mater*, 168(2-3): 848-856.
- Ercikdi, B., F. Cihangir, A. Kesimal, H. Deveci and I. Alp, 2010, Utilization of water-reducing admixtures in cemented paste backfill of sulphide-rich mill tailings, *J hazard mater*, 179(1-3): 940-946.
- Ercikdi, B., H. Baki, M. Izki, 2013, Effect of desliming of sulphide-rich mill tailings on the long-term strength of cemented paste backfill, *J environ manage*, 115: 5-13.
- Ercikdi, B., T. Yilmaz and G. Kulekci, 2014, Strength and ultrasonic properties of cemented paste backfill, *Ultrasonics*, 54(1): 195-204.

- Ercikdi, B., F. Cihangir, A. Kesimal and H. Deveci, 2017, *Practical importance of tailings for cemented paste backfill*, Paste tailings management, In: Yılmaz E., and Fall M. (ed), Chapter 2, Springer, 7-32.
- Esen, E., 2015, Cevher zenginleştirme atığı derin deniz bertarafı, *Madencilik Türkiye*, 45: 4.
- Fall, M., M. Benzaazoua and S. Ouellet, 2005, Experimental characterization of the influence of tailings fineness and density on the quality of cemented paste backfill, *Minerals engineering*, 18(1): 41-44.
- Fall, M., M. Benzaazoua and E. G. Saa, 2008, Mix proportioning of underground cemented tailings backfill, *Tunnelling and underground space technology*, 23(1): 80-90.
- Fall, M., D. Adrien, J. C. Célestin, M. Pokharel and M. Touré, 2009, Saturated hydraulic conductivity of cemented paste backfill, *Minerals engineering*, 22(15): 1307-1317.
- Fall, M. and M. Pokharel, 2010, Coupled effects of sulphate and temperature on the strength development of cemented tailings backfills: portland cement-paste backfill, *Cement and concrete composites*, 32(10): 819-828.
- Galaa, A. M., B. D. Thompson, M. W. Grabinsky and W. F. Bawden, 2011, Characterizing stiffness development in hydrating mine backfill using ultrasonic wave measurements, *Canadian geotechnical journal*, 48(8): 1174-1187.
- Ghirian, A. and M. Fall, 2015, Coupled behavior of cemented paste backfill at early ages, *Geotechnical and geological engineering*, 33(5): 1141-1166.
- Ghirian, A. and M. Fall, 2016, Long-term coupled behaviour of cemented paste backfill in load cell experiments, *Geomechanics and geoengineering*, 11(4): 237-251.
- Glasser, F. P., J. Marchand and E. Samson, 2008, Durability of concrete - degradation phenomena involving detrimental chemical reactions, *Cement and concrete research*, 38(2): 226-246.
- Hefni, M. A., 2014, *An investigation into the development and potential of foam minefill*, PhD thesis, McGill University.
- İzki, M., 2013, *Kastamonu Küre bakır madenindeki cevher zenginleştirme atıklarının macun dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi*, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Jack A Caldwell, Franco Oboni and C. Oboni, 2015, Tailings facility failures in 2014 and an update on failure statistics, *Proceedings tailings and mine waste*, 2015, Vancouver, Canada.
- Jiang, H., M. Fall and L. Cui, 2017, Freezing behaviour of cemented paste backfill material in column experiments, *Construction and building materials*, 147: 837-846.
- Jung, S. J. and K. Bıswas, 2002, Review of current high density paste fill and its technology, *Mineral resources engineering*, 11(2): 18.

- Kesimal, A., E. Yılmaz, B. Erçikdi, İ. Alp, M. Yumlu ve B. Özdemir, 2002, Çimentolu macun dolgunun laboratuvar testi, *Madencilik*, 41(4): 10.
- Kesimal, A., B. Erçikdi and E. Yılmaz, 2003, "the effect of desliming by sedimentation on paste backfill performance, *Minerals engineering*, 16(10): 1009-1011.
- Kesimal, A., H. Deveci, B. Erçikdi, F. Cihangir, M. Izki and H. Baki, 2012, "Evaluation of paste backfill performance of different mill tailings in küre copper mine, *Trabzon, Turkey, Karadeniz Technical University (KTU) Engineering Faculty Department of Mining Engineering*, 42.
- Kitula, A. G. N., 2006, "The environmental and socio-economic impacts of mining on local livelihoods in tanzania: a case study of geita district, *Journal of cleaner production*, 14(3-4): 405-414.
- Koohestani, B., B. Bussière, T. Belem and A. Koubaa, 2017, Influence of polymer powder on properties of cemented paste backfill, *International journal of mineral processing*, 167: 1-8.
- Kossoff, D., W. E. Dubbin, M. Alfredsson, S. J. Edwards, M. G. Macklin and K. A. Hudson-Edwards, 2014, Mine tailings dams: characteristics, failure, environmental impacts, and remediation, *Applied geochemistry*, 51: 229-245.
- Kumari, S., Udayabhanu, G., Prasad, B., 2010, Studies on environmental impact of acid mine drainage generation and its treatment: an appraisal. Indian, *J. environ. prot.*, 30 (11), 953e967.
- Landriault, D., 1995, Paste backfill mix design for canadian underground hard rock mining, *Proceedings of the 97th annual general meeting of the CIM rock mechanics and strata control session*, Nova Scotia, Canada, 652-663.
- Li, W. and M. Fall, 2016, Sulphate effect on the early age strength and self-desiccation of cemented paste backfill, *Construction and building materials*, 106: 296-304.
- Ocak, S., 2015, *Atıklardan şlam uzaklaştırmanın macun dolgu dayanım ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi*, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Öhlander, B., T. Chatwin and L. Alakangas, 2012, Management of sulfide-bearing waste, a challenge for the mining industry, *Minerals*, 2(4): 1-10.
- Oruç, M. M., 2012, *Kastamonu Küre derin maden kuyusunun yerleşim yeri ve dolayının mühendislik jeolojisi ve jeomekanik değerlendirilmesi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Ouattara, D., A. Yahia, M. Mbonimpa and T. Belem, 2017, Effects of superplasticizer on rheological properties of cemented paste backfills, *International journal of mineral processing*, 161: 28-40.

- Ouellet, S., B. Bussière, M. Mbonimpa, M. Benzaazoua and M. Aubertin, 2006, Reactivity and mineralogical evolution of an underground mine sulphidic cemented paste backfill, *Minerals engineering*, 19(5): 407-419.
- Sheshpari, M., 2015, A review of underground mine backfilling methods with emphasis on cemented paste backfill, *Electronic journal of geotechnical engineering*, 20(13): 5183-5208.
- Şahin, K. G. ve İmamoğlu, A., 2017, *Küre bakır işletmeleri proses artıklarının macun dolgu teknolojisinde kullanılabilirliğinin araştırılması*, Lisans bitirme projesi, İstanbul Üniversitesi
- Tariq, A. and M. Nehdi, 2007, Developing durable paste backfill from sulphidic tailings, *Proceedings of the institution of civil engineers - waste and resource management*, 160(4): 155-166.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G., 1996, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd Ed., John Wiley and Sons, New York, 27-29.
- Trtnik, G., F. Kavcic and G. Turk, 2009, Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks, *Ultrasonics*, 49(1): 53-60.
- TS EN 12350-2, 2010, Beton-taze beton deneyleri- bölüm 2: çökme (slamp) deneyi, *Türk Standartlar Enstitüsü*.
- Tüylü, S., 2016, *Maden tesis atıkların yerüstünde depolanmasında en uygun tasarım koşullarının belirlenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- USCOLD, Environmental and safety incidents concerning tailings dams at mines, tailings dams, 2017, *Chronology of major tailings dam failures*, <http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>, [Ziyaret tarihi: 29 Kasım 2017].
- Walske, M. L., 2014, *An experimental study of cementing paste backfill*, PhD Thesis, The University of Western Australia
- Wang, Y., A. Wu, S. Wang, H. Wang, L. Yang, Y. Wang and Z. e. Ruan, 2017, Correlative mechanism of hydraulic-mechanical property in cemented paste backfill, *Journal of Wuhan university of technology-mater. sci. ed.*, 32(3): 579-585.
- Wang, Y. M., M. Q. Huang, A. X. Wu, G. H. Yao and K. J. Hu, 2013, Rock backfill and hazard control of abandoned stopes: a case study, *Applied mechanics and materials*, 368-370: 1726-1731.
- Wu, A., Y. Wang, H. Wang, S. Yin and X. Miao, 2015, Coupled effects of cement type and water quality on the properties of cemented paste backfill, *International journal of mineral processing*, 143: 65-71.
- Yao, Y., Z. Cui and R. Wu, 2012, Development and challenges on mining backfill technology, *Journal of materials science research*, 1(4).

- YI, X., 2016, *Experimental studies on the stability of reinforced cemented paste backfill*, PhD Thesis, The University of Western Australia.
- Yilmaz, E., M. Benzaazoua, T. Belem and B. Bussière, 2009, Effect of curing under pressure on compressive strength development of cemented paste backfill, *Minerals engineering*, 22(9-10): 772-785.
- Yilmaz, E., 2010, *Investigating the hydrogeotechnical and microstructural properties of cemented paste backfill using the cuaps apparatus*, PhD Thesis, Universite Du Quebec En Abitibi-Temiscamingue.
- Yilmaz, E., T. Belem, B. Bussière and M. Benzaazoua, 2011, Relationships between microstructural properties and compressive strength of consolidated and unconsolidated cemented paste backfills, *Cement and concrete composites*, 33(6): 702-715.
- Yilmaz, E., T. Belem and M. Benzaazoua, 2014, Effects of curing and stress conditions on hydromechanical, geotechnical and geochemical properties of cemented paste backfill, *Engineering geology*, 168: 23-37.
- Yilmaz, T., B. Ercikdi, K. Karaman and G. Kulekci, 2014, Assessment of strength properties of cemented paste backfill by ultrasonic pulse velocity test, *Ultrasonics*, 54(5): 1386-1394.
- Zheng, J., Y. Zhu and Z. Zhao, 2016, Utilization of limestone powder and water-reducing admixture in cemented paste backfill of coarse copper mine tailings, *Construction and building materials*, 124: 31-36.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Behzad AGHATABAY
Doğum Yeri	Gonbadekavoos/İRAN
Doğum Tarihi	22.04.1991
Uyruğu	<input type="checkbox"/> T.C. <input checked="" type="checkbox"/> Diğer: İRAN
Telefon	00905061570715 - 00989112765729
E-Posta Adresi	behzad_aghatabay@yahoo.com, behzad.aghatabay@ogr.iu.edu.tr
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Shahrood University of Technology
Fakülte	Maden Mühendisliği, Petrol Mühendisliği ve Jeofizik Fakültesi
Bölümü	Maden Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	21.07.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Maden Mühendisliği
Mezuniyet Tarihi	19.04.2018