

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ATIKLARDAN ŞLAM UZAKLAŞTIRMANIN MACUN DOLGU DAYANIM VE
İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisi Sinan OCAK

**MART 2015
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ATIKLARDAN ŞLAM UZAKLAŞTIRMANIN MACUN DOLGU DAYANIM VE
İŞLENEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ**

Maden Mühendisi Sinan OCAK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"MADEN YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.03.2015
Tezin Savunma Tarihi : 19.03.2015

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR

Trabzon 2015

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Sinan OCAK Tarafından Hazırlanan

**ATIKLARDAN ŞLAM UZAKLAŞTIRMANIN MACUN DOLGU DAYANIM VE
İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 03 / 03 / 2015 tarih ve 1592 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ayhan KESİMAL

Üye : Doç. Dr. İrfan TEMİZEL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Atıklardan Şlam Uzaklaştırmanın Macun Dolgu Dayanım ve İşlenebilirlik Özelliklerine Etkisi” başlıklı çalışma, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar, KTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) Ar-Ge Laboratuvarları ve ACME Laboratuvarları’nda (KANADA) gerçekleştirilmiştir. Tez konusunun belirlenmesi, çalışmaların yürütülmesi ve sonuçlandırılmasına kadar her aşamada bilgi, destek ve değerli görüşlerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR’e teşekkürlerimi sunarım. Öneri ve desteklerinden yararlandığım Prof. Dr. Ayhan KESİMAL’a, Doç. Dr. Bayram ERCİKDI’ya, Prof. Dr. Hacı DEVECİ’ye ayrıca teşekkür ederim. Deneysel çalışmalardaki büyük özverileri nedeniyle Maden Mühendisi Yunus AKYOL’a ve Maden Mühendisi Meryem KURTULUŞ’a sonsuz teşekkür ederim. Bu çalışmayı yapmam için atık desteği sağlayan Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. ve Küre ETİ Bakır A.Ş.’ye, cüruf desteği sağlayan Karçimsa ile çimento desteği sağlayan Aşkale Holding’e teşekkür ederim.

Bu çalışma, 112M378 no’lu Tubitak Projesi’nce desteklenmiştir. Tez çalışmamı; çalışmalarım boyunca yeterince vakit ayıramadığım, varlıkları ve sevgileri ile bana güç veren aileme ithaf ediyorum.

Sinan OCAK

Trabzon, 2015

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Atıklardan Şlam Uzaklaştırmanın Macun Dolgu Dayanım ve İşlenebilirlik Özelliklerine Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 03/03/2015.

Sinan OCAK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER	IX
TABLolar	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Tezin Gerekçesi ve Amacı.....	3
1.3. Macun Dolgunun Dayanım ve Durabilitesini Etkileyen Faktörler.....	3
1.3.1. Tane Boyut Dağılımının Etkisi.....	4
1.3.2. Bağlayıcı Tipi ve Oranının Etkisi	6
1.4. Alkali Aktive Bağlayıcılar	7
1.4.1. Aktifleştiriciler	8
1.4.1.1. Sodyum Hidroksit (Kostik Soda)	8
1.4.1.2. Sodyum Silikat	9
1.4.2. Yüksek Fırın Cürufu.....	10
1.5. Macun Dolgunun Yeraltına Nakliyesi.....	10
1.6. Bağlayıcı İçeren Malzemelerde İşlenebilirlik Testleri	12
1.6.1. Reoloji	12
1.6.2. Alkali Aktive Yüksek Fırın Cürufu ile Üretilen Malzemelerde İşlenebilirlik.....	14
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	18
2.1. Giriş	18
2.2. Atık Malzeme	18
2.3. Bağlayıcı Malzeme	21
2.4. Atık Malzemenin İşlenebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi	23

2.5. Macun Dolgu Numunelerinin Hazırlanması	24
2.6. Dayanım Testleri	28
3. BULGULAR VE İRDELEME	29
3.1. Bağlayıcı Tipi ve Oranının Macun Dolguya Etkisi	29
3.1.1. Dayanım Özelliklerine Etkisi	29
3.1.2. İşlenebilirlik Özelliklerine Etkisi	31
3.2. Aktivatör Kimyası ve Dozajının Macun Dolguya Etkisi.....	33
3.2.1. Dayanım Özelliklerine Etkisi	33
3.2.2. İşlenebilirlik Özelliklerine Etkisi	35
3.3. LSS Modül Oranının Macun Dolguya Etkisi	37
3.3.1. Dayanım Özelliklerine Etkisi	37
3.3.2. İşlenebilirlik Özelliklerine Etkisi	38
4. SONUÇLAR.....	40
5. ÖNERİLER	42
6. KAYNAKLAR.....	43

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ATIKLARDAN ŞLAM UZAKLAŞTIRMANIN MACUN DOLGU DAYANIM VE
İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Sinan OCAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR
2015, 48 Sayfa

Bu tez çalışmasında, macun dolguda normal Portland çimentosu (NPC) yerine alkali kimyasallar ile aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu (AAS) kullanımının ve atık inceliğindeki değişimin (normal atık-NA ve deslimed atık-DA) dayanım, duraylılık ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Atıklardan şlam uzaklaştırma işleminin katı oranını ve aynı bağlayıcı oranında bağlayıcı miktarlarını artırdığı görülmüştür. NPC-DA kullanımı, NA örneklerinden yaklaşık %22-90 daha yüksek dayanım üretimini sağlamıştır. AAS kullanılması durumunda erken kür sürelerinde dayanım kazanımı yavaş iken, 28 günlük kür süresinden sonra etkin sertleşme prosesinden dolayı hızlı bir artış göstermiştir. 28 günlük kür süresinde eşik dayanım değerleri NA için %7 NPC, %6 LSS-S ve %6 NaOH-S; DA için ise %6 NPC, %6 LSS-S ve %5 NaOH-S bağlayıcı oranlarında sağlanmıştır. LSS-DA ve %10 aktivatör dozajındaki numunelerin tavan tahkimatı özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Modül oranının (Ms) artması ile dayanım kazanımı özellikle DA durumunda (2.0 Ms haricinde) artmıştır. Macun dolguda düşük katı oranı, yüksek bağlayıcı oranı ve artan LSS ilavesi durumunda işlenebilirlik derecesi artmıştır. AAS kullanımı macun dolgunun işlenebilirlik derecesini NPC'ye kıyasla genel olarak iyileştirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Macun dolgu, Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu, Dayanım, İşlenebilirlik, Slamp

Master Thesis

SUMMARY

THE EFFECT OF DESLIMING ON THE STRENGTH AND WORKABILITY
PROPERTIES OF PASTE BACKFILL

Sinan OCAK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mining Engineering Graduate Program
Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Ferdi CİHANGİR
2015, 48 Pages

The coupled effect of the use of alkali-activated slag (AAS) with full (FT) and deslimed tailings (DT) on the strength, durability and workability properties of paste backfill (PB) was investigated in this study. Desliming was seen to increase the solid content and the amount of binder for a given binder proportion. The use of ordinary Portland cement (OPC) with DT produced higher strengths by 22-90% than FT samples. Lower strength gain rate was obtained at early curing period in case of AAS. However, this rate was observed to be faster after 28-days. OPC samples at 7 wt.%, liquid sodium silicate + slag (LSS-S) and sodium hydroxide + slag (NaOH-S) samples at 6 wt.% binder content for NA, and; OPC samples at 6 wt.%, liquid sodium silicate+slag (LSS-S) samples at 6 wt.% and sodium hydroxide + slag (NaOH-S) samples at 5 wt.% binder content for DA were seen to provide the threshold strength value of 1.0 MPa at 28-days. LSS with 10 wt.% activator concentration (Na_2O) and DA use displayed as a mine support material behaviour. Lower solid content, higher binder content and increased LSS addition based on PB design improved the workability properties. AAS samples also increased the workability levels of fresh PB mixture compared to those of OPC materials.

Key Words: Paste backfill, Alkali-activated blast furnace slag, Strength, Workability, Slump

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Macun dolgunun yeraltı boşluğuna nakliyesi (Yılmaz, 2003)	11
Şekil 2. Slamp ölçümünün şematik gösterimi	13
Şekil 3. Slamp değeri düşük (a), normal (b) ve yüksek (c) dolgu	14
Şekil 4. Sodyum silikat ile aktifleştirilmiş cüruf çimentosu pastasında 0.4 su/cüruf oranı için mini slamp (Jolicoeur vd., 1992).....	15
Şekil 5. AAC çimentosu ve CEM I 42,5R beton numunelerinde zamana bağlı slamp değişimi a) mineral katkısız AAC örnekleri b) mineral katkılı AAC örnekleri	16
Şekil 6. Macun dolgu kıvamının slamp testi ile ölçülmesi	17
Şekil 7. Atık malzemelerin tane boyut dağılımları.....	19
Şekil 8. LSS-cüruf ile hazırlanan macun dolgu malzemesinin 0-2 saatlik kıvamları.....	23
Şekil 9. Macun dolgu numunelerinin kür dolabında kür işlemine tabi tutulması.....	28
Şekil 10. Macun dolgu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı testi	28
Şekil 11. Sodyum silikat içeren (LSS) numunelerin dayanım test sonuçları	30
Şekil 12. Bağlayıcı oranının sodyum hidroksit içeren (SH-NaOH) numunelerin dayanım test sonuçları	31
Şekil 13. %5 ve %7 bağlayıcı oranlarında macun dolgu numunelerinin işlenebilirlik özellikleri	32
Şekil 14. LSS içeren farklı aktivatör dozajındaki numunelerin dayanım ve deformasyon özellikleri.....	34
Şekil 15. NaOH içeren farklı aktivatör dozajındaki numunelerin dayanım ve deformasyon özellikleri.....	35
Şekil 16. Aktivatör dozajları için macun dolgu karışımlarının işlenebilirlik özellikleri.....	36
Şekil 17. LSS içeren farklı modül oranlarındaki numunelerin dayanım özellikleri.....	37
Şekil 18. LSS-S modül oranları için macun dolgu karışımlarının işlenebilirlik özellikleri ..	38

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Macun dolgunun dayanım ve durabilitesini etkileyen faktörler	4
Tablo 2. Macun dolgu karışımının boyuta göre sınıflandırılması (Landriault, 1995)	5
Tablo 3. Dolguda kullanılan 20 µm altı malzeme miktarları	6
Tablo 4. NaOH genel özellikleri (URL-1, 2014)	9
Tablo 5. Yüksek fırın curufu ve çimentonun çevresel etkiler açısından karşılaştırılması (Higgins, 2006)	10
Tablo 6. Atık malzemelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri	20
Tablo 7. Atık malzemelerin bazı fiziksel özellikleri	21
Tablo 8. Bağlayıcı maddelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri	22
Tablo 9. Bağlayıcı maddelerin fiziksel özellikleri	22
Tablo 10. Aktivatör kimyasının ve dozajına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) için deneysel çalışma koşulları	25
Tablo 11. Aktivatör kimyasının ve dozajına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) ile hazırlanan 1 m ³ macun dolgu karışımı için gerekli malzeme miktarları	25
Tablo 12. Bağlayıcı oranına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) için deneysel çalışma koşulları	26
Tablo 13. Bağlayıcı oranına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) ile hazırlanan 1 m ³ macun dolgu karışımı için gerekli malzeme miktarları	26
Tablo 14. Modül oranına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) için deneysel çalışma koşulları	27
Tablo 15. Modül oranına oranına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) ile hazırlanan 1 m ³ macun dolgu karışımı için gerekli malzeme miktarları	27

SEMBOLLER DİZİNİ

AAC	: Alkali-aktive cüruf
CEM I 42.5R	: Erken yüksek dayanımlı normal Portland çimentosu (CEM I 42.5)
LSS	: Sıvı (likit) sodyum silikat
Ms	: Modül oranını (ağırlıkça SiO ₂ /Na ₂ O oranı; M _S =SiO ₂ /Na ₂ O)
Na ₂ O	: Sodyum oksit
Na ₂ O·2SiO ₂	: Sodyum silikat (2 modül)
Na ₂ SiO ₃	: Sodyum silikat
NaOH	: Sodyum hidroksit
SiO ₂	: Silisyum dioksit
SO ₄ ⁻²	: Sülfat iyonu
TÇMB	: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
XRD	: Mineralojik analiz (X ray diffractometer)
C _u	: Üniformluk katsayısı
C _c	: Eğrilik katsayısı
D ₁₀	: Efektif tane çapı
D ₆₀	: Malzemenin %60'ının elek altına geçtiği tane çapı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Macun dolgu; cevher zenginleştirme işlemleri sonrası ortaya çıkan maden tesis atıkları, amaca bağlı olarak % 3-9 oranında bağlayıcı madde ve su karışımından oluşan, %70-85 oranında nihai katı oranında ve uygun kıvamda (7.0-8.5 slamp) bir malzemedir. Dolgu bileşenlerinden her biri, macun dolgunun kısa ve uzun dönemdeki dayanımını, durabilitesini, nakliyesini ve boşluklara yerleştirilmesi gibi işlenebilirlik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Macun dolguda genellikle normal Portland çimentosu ve mineral katkıları içeren Portland kompoze çimentolar kullanılmaktadır. Son yıllarda, puzolanik mineral katkı maddelerinin alkali aktivasyon teknikleri ile aktifleştirilerek çimento yerine kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Macun dolguda normal Portland çimentosuna (CEM I 42.5R) alternatif olarak alkali aktive yüksek fırın cüruflarının (aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu) kullanılması durumunda, asit, sülfat, vb. etkiler ile kimyasal korozyonlara karşı daha dayanıklı ve daha yüksek dayanıma sahip dolgu üretilmektedir (Cihangir, 2011).

Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentolarının kullanımı eski Mısırlılar'dan günümüze kadar ulaşmasına rağmen hala yeni bir teknoloji olarak düşünülmektedir. Özellikleri az bilindiğinden ve yaygın olarak kullanılmadığından ticari olarak sınırlı kullanıma sahiptir. Davidovits (1979), eski Romalıların ve Mısırlıların günümüze dek ulaşan yapıtlarını doğal taşlardan değil, aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentoları kullanarak inşa ettiklerini belirtmiştir. Mısır piramitlerinin; kireçtaşı kumu, NaOH, Na₂CO₃ ve su kullanılarak yerinde inşa edildiklerini yaptığı mineralojik, kimyasal, yapısal ve dokusal araştırmalarına bağlı olarak kanıtlamış ve rapor etmiştir (Torgal vd., 2008).

Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentoları; yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi alüminyum ve silikatça zengin puzolanik malzemelerin alkali kimyasallarla muamele edilmesiyle elde edilirler. Atık veya yan sanayi ürünlerinden üretildiklerinden ve bağlayıcı olarak ekstra bir kullanıma sahip olduğundan oldukça avantajlıdırlar. Ayrıca, çimento ile kıyaslandığında sıfır sera gazı emisyonu, doğal mineral kaynaklarının kullanımını ve ekstra

pişirme enerjisini gerektirmemesi gibi yönlerinden dolayı oldukça çevrecidirler (Ehrenberg, 2005). Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu; madencilikte, inşaat sektöründe, atık yönetimi ve özel beton uygulamalarında kullanılabilir. Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentoları, madencilikte yeraltı dolgu uygulamalarında aşırı tuzlu su ortamlarında dahi çimentolu ürünlerle kıyaslandığında daha düşük maliyetlerde 5 kata kadar daha yüksek dayanım sonuçları ürettiği belirtilmektedir (Drechsler, 2006). Macun dolguya yönelik yüksek sülfat içeren maden tesis atıklarının kullanıldığı agresif ortamlarda dahi (DIN 4030), aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu kullanılması durumunda, çimento içeren dolgu örneklerine kıyasla daha duraylı ve 5 kata kadar yüksek dayanım sonuçlarının elde edildiği görülmüştür (Cihangir vd., 2012).

Macun dolguda dayanım ve durabilitenin yanında önemli diğer bir husus ise dolgu malzemesinin pompa-boru sistemi ile yeraltına taşınması ve yeraltındaki cevheri alınmış boşluklara yerleştirilmesidir. Dolgu malzemesi 6 ila 15 dakika arasında, macun dolgu tesisine olan uzaklığa bağlı olarak yeraltında doldurulacağı nihai boşluğa ulaşmaktadır. Taşınma esnasında macun dolgu malzemesinin kıvamında herhangi bir değişiklik olmaması ve başlangıç kıvamını koruması; pompa basıncı ve enerji maliyetlerinin yanında, borularda tıkanma ve aşırı sürtünmeden dolayı aşınma problemlerinin engellenmesi ve tamir-bakım maliyetleri açısından büyük önem arz etmektedir (Hewitt vd., 2009).

Macun dolgunun yeraltına taşınma esnasındaki reolojik özelliklerine yönelik literatürde çok az çalışmaya rastlanmıştır. Ayrıca şlamı uzaklaştırılmış tesis atıklarından hazırlanan macun dolgu özelliklerine yönelik de literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Kesimal vd., 2003; Erçikdi vd., 2003).

İnşaat sektöründe aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentoları kullanıldığında taze numunelerde işlenebilirlik kayıpları meydana gelmektedir. Bu yüzden özel kimyasal ve ultra ince mineral katkı maddelerine başvurulmaktadır (Collins ve Sanjayan, 1998; Torgal vd., 2011). Macun dolguda aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu bağlayıcılarının beton malzemelerine benzer şekilde işlenebilirlik kayıplarına neden olup olmayacağının ortaya konulması, bu bağlayıcıların macun dolguda teknik olarak kullanılıp kullanılmayacağının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

1.2. Tezin Gerekçesi ve Amacı

Bu tez çalışmasında, macun dolguda normal Portland çimentosu yerine alkali kimyasallar ile aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu kullanımının ve atık inceliğindeki değişimin (normal atık-NA ve deslimered atık-DA) dayanım ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmada normal Portland çimento ve yüksek fırın cürufu ile sülfür içeriği yüksek normal atıklardan ve bu atıkların siklonlanması ile ince miktarının uzaklaştırılmasından elde edilen biraz daha iri boyuta sahip cevher zenginleştirme tesis atıklarından hazırlanan macun dolgu malzemelerinin dayanım özelliklerinin yanında kıvam özellikleri de gözlenmiştir. Böylece, macun dolgu performansında etkili parametrelerin (bağlayıcı oranı, modül oranı, alkali kimyasal tipi vb.) araştırılması ve dayanım ve durabilite açısından en uygun dolgu bileşiminin belirlenmesinin yanında işlenebilirlik üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda normal Portland çimentosu ve bağlayıcı olarak yüksek fırın cürufu kullanılarak hazırlanan taze macun dolgu malzemelerinin ilk iki saatteki kıvam davranışları incelenmiştir. Kontrol olarak normal atık ve normal Portland çimentosu numuneleri kullanılmıştır. Macun dolgu malzemesinin işlenebilirlik özelliklerine yönelik literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmanın, hem normal Portland çimento ile hem de aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentoları kullanılarak hazırlanan macun dolgu malzemesinin pompa-boru sistemi ile taşınması ve yerleşmesi esnasında geçen süredeki reolojik özelliklerinin belirlenmesinin uygulamada bir probleme yol açıp açmayacağına ortaya konulması ve böylece endüstriyel uygulamalara ve literatüre katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

1.3. Macun Dolgunun Dayanım ve Durabilitesini Etkileyen Faktörler

Macun dolgunun kısa ve uzun dönem dayanım ve durabilitesini birçok faktör etkilemekte ve bu faktörler iç ve dış etkenler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Tablo 1). İç etkenler, dolgunun karışım özellikleri ve dolguyu oluşturan her bir bileşenin (atık, bağlayıcı ve karışım suyu) fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri ile ilişkilidir (Brackebusch, 1994; Landriault, 1995; Amaratunga ve Yaschyshyn, 1997; Belem vd., 2000; Benzaazoua vd., 2002-2004; Cihangir, 2011). Dış etkenler ise macun dolgu ile doldurulan yeraltı üretim boşluğunun yan kayaç ile etkileşimi (yanal basınçlar vb.),

konsolidasyon etkisi, drenaj koşulları, patlatma kaynaklı titreşimler, kür koşulları (sıcaklık, nem vb.) ile ilgilidir (Benzaazoua vd., 1999, Yılmaz vd., 2009; Erçıkıdı vd., 2008, 2009a).

Tablo 1. Macun dolgunun dayanım ve durabilitesini etkileyen faktörler (Erçıkıdı, 2009)

İÇ ETKENLER	DIŞ ETKENLER
<p><u>Atık malzeme özellikleri</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tane boyut dağılımı ▪ Tane şekli ▪ Özgöl ağırlık ▪ Mineraloji ▪ Asit ve sülfat etkisi <p><u>Bağlayıcı özellikleri</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bağlayıcı tipi ve oranı ▪ Mineral katkı maddesi (puzolan) kullanımı ▪ Kimyasal katkı maddesi kullanımı <p><u>Karışım suyu özellikleri</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ SO₄²⁻ konsantrasyonu (mg/l) ▪ pH <p><u>Karışım özellikleri</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Su/çimento oranı ▪ Yoğunluk (%katı oranı) 	<p><u>Yerinde koşullar</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kür koşulları (sıcaklık, nem) ▪ Konsolidasyon ▪ Drenaj koşulları ▪ Sıvılaşma riski ▪ Yeraltısuyu koşulları ▪ Yan kayaçla etkileşim (yanal basınçlar, çatlak vb.) ▪ Patlatma kaynaklı titreşimler ▪ Dolgu yerleştirme şekli (kademeli vb.) ▪ Dolgu barikatının sağlamlığı

1.3.1 Tane Boyut Dağılımının Etkisi

Macun dolgu hazırlanmasında kullanılan atık malzemenin tane boyut dağılımı, dolgu performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Bu yüzden atık, optimum tane boyut dağılımına sahip olmalı ve her fraksiyon boyutunda gerektiğı kadar malzeme içermelidir. Optimum tane boyut dağılımından kasıt, iri tanelerin arasını ince tanelerin doldurması ve çimento ile daha iyi bir etkileşim sağlayacak karışım oluşturulmasıdır (Erçıkıdı, 2009). Tane boyut dağılımı, macun dolgunun dayanımını, dolgu içerisindeki boşluk oranını, drenaj koşullarını ve dolgunun yeraltına naklini etkilemektedir. Macun dolgu üretiminde kullanılan atık malzemenin macun oluşturabilmesi ve yeraltına taşınabilmesi için 20 µm altı malzeme (şlam) miktarının ağırlıkça en az %15 olması

istenmektedir. 20 μm altı malzeme miktarına bağılı olarak macun dolgu karışımı için üç tip boyut dağılım kategorisi bulunmaktadır (Landriault, 1995) (Tablo 2). Atık malzeme içersindeki ince taneli ($<20 \mu\text{m}$) malzeme miktarı azaldığında macun dolgu örneklerinin toplam gözenekliliği azalmaktadır (Fall vd., 2005). Atık içerisinde bulunan $-20 \mu\text{m}$ malzeme miktarı arttıkça karışımın su tutma kapasitesi artar ve dolgunun dayanımı olumsuz etkilenir.

Tablo 2. Macun dolgu karışımının boyuta göre sınıflandırılması (Landriault, 1995)

Atık grubu	20 μm altı malzeme miktarı, (ağırlıkça %)	7"Slamp'da katı oranı (ağırlıkça %)
İri taneli	15-35	78-85
Orta taneli	35-60	70-78
İnce taneli	60-90	55-70

20 μm altı malzeme miktarının artması, çimento ile kaplanması gereken yüzey alanını arttırmaktadır. Bu da macun dolgunun dayanımının düşmesine neden olmakta veya istenen dayanımı elde etmek için daha fazla çimento kullanılmasını gerektirmektedir. Aynı su-çimento oranında iri taneli malzeme içeren atıklardan hazırlanan macun dolgu karışımının ince taneli atıklardan hazırlanan karışıma kıyasla daha hızlı dayanım kazanacağı ifade edilmiştir (Erçikdi vd., 2008). Yapılmış olan deneysel çalışmalar incelendiği zaman, kullanılan atık malzemelerin boyut sınıfının genellikle orta taneli atıklar sınıfına girdiği görülmektedir (Tablo 3) Fall vd. (2005). 20 μm altı malzeme miktarının %20'den %50'ye çıkartıldığında macun dolgu örneklerinin 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarının en yüksek seviyeye ulaştığını belirtmiştir. Fakat, %50'den daha fazla ince taneli malzeme içeren macun dolgu örneklerinin dayanımlarında sürekli düşüş gözlenmiştir. Kesimal vd. (2003), referans (sınıflandırılmamış) atıkta yapılan ince boyutlu tanelerin ($-20 \mu\text{m}$) uzaklaştırılması işleminin macun dolgu örneklerinin basınç dayanımları üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada 20 μm altı malzeme içeriği %25 olduğunda en yüksek dayanımın elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca sınıflandırılmış atık malzeme ile referans atık malzemeye kıyasla %12-52 arasında daha yüksek basınç dayanımı üretildiğini belirtmişlerdir (Kesimal vd., 2003; Erçikdi vd., 2013).

Tablo 3. Dolguda kullanılan 20 µm altı malzeme miktarları (Baki, 2013)

20 µm altı malzeme miktarı (% ağırlıkça)	Landriault (1995)'e göre atık sınıflandırılması	Referanslar
48-67	Orta ve ince taneli atık	Benzaazoua vd., 2002
52-54	Orta taneli atık	Kesimal vd., 2004
37-45	Orta taneli atık	Fall ve Benzaazoua, 2005
42-47	Orta taneli atık	Moghaddam ve Hassani, 2007
40	Orta taneli atık	Erçikdi, 2009
45	Orta taneli atık	Fall ve Samb, 2009
41	Orta taneli atık	Fall vd., 2010
53	Orta taneli atık	Coussy vd., 2011
76.73	İnce taneli atık	Yin vd., 2012
45	Orta taneli atık	Abdul-Hussain ve Fall, 2012
44	Orta taneli atık	Yılmaz vd., 2012
56	Orta taneli atık	Cihangir vd., 2012
14	İri taneli atık	Kesimal vd., 2012
16	İri taneli atık	Erçikdi vd., 2013

1.3.2. Bağlayıcı Tipi ve Oranın Etkisi

Bağlayıcı tipi yeraltı maden işletmelerinde kullanılan çimentolu macun dolgu uygulamasının dayanım ve duraylılık gibi özelliklerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, çimento maliyeti macun dolgu tesisinin işletme maliyetleri açısından önemli bir faktördür. Tipik bir macun dolgu tesisinde, çimento maliyeti işletme maliyetlerinin %50-70'ini oluşturmaktadır. Bundan dolayı, uygun ve macun dolgunun kısa ve uzun dönemdeki dayanım ve duraylılığını olumsuz yönde etkileyebilecek faktörlere (asit ve sülfat etkisi vb.) karşı dirençli bir çimento tipinin seçilmesi önemlidir. Sülfürlü cevher zenginleştirme atıklarından oluşan macun dolguda, uzun dönemde bazı duraylılık problemlerinin (dayanım kaybı vb.) meydana geldiği bildirilmektedir (Hassani vd., 2001; Erçikdi vd., 2009).

Portland çimentosu gibi C_3A içeriği yüksek bağlayıcılar özellikle asit ve sülfat etkilerine karşı dirençsizdirler. Aktif mineral katkı maddesi (uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu veya doğal puzolan) içeren Portland kompoze çimentosu sülfürce zengin atıklardan hazırlanan macun dolguda kullanılabilir (Benzaazoua vd., 2002; Erçikdi vd., 2009b). Ayrıca uzun dönem duraylılık kaybını engellemek için C_3A içeriği düşük bağlayıcı (sülfata dayanıklı çimento) kullanımı önerilmiştir (Tariq ve Nehdi, 2007). Ancak sülfata dayanıklı çimento diğer çimentolara kıyasla daha pahalıdır. Bu nedenle Portland çimentosu ile sülfata dayanıklı çimentonun belli oranlarda (örneğin %50 - 50 oranında) karıştırılarak kullanımı önerilmiştir (Erçikdi vd., 2009a). Dolguda uzun dönemde oluşan duraylılık kaybını engellemek için genellikle bağlayıcı miktarı arttırılmaktadır. Bağlayıcı oranındaki artış macun dolgu tesisinin işletme maliyetlerini negatif yönde etkilemektedir.

1.4. Alkali Aktive Bağlayıcılar

Madencilik ve İnşaat sektörlerinde yaygın olarak Portland çimentosu kullanılmaktadır. Ancak Portland çimentosu, yüksek CaO (\approx %65) içeriği nedeniyle asit ve sülfat gibi kimyasal etkilere karşı dayanıksız bir bağlayıcıdır (Cao vd., 1997; Irassar vd., 2000; Hossain ve Lachemi, 2006). Gjorv (1994), Norveç'te 1970'lerden sonra normal Portland çimento kullanılarak inşa edilen köprülerin %25'inin korozyon sorunlarına maruz kaldığını; Miguel (2000) ise Birleşik Devletler'de 600.000 köprünün %40'ının korozyon problemlerinden etkilendiğini, toplam onarım bedelinin 50 milyar \$ olduğu belirtilmiştir. Normal Portland çimentosu ile üretilmiş beton, yüksek permeabiliteye sahip olması nedeniyle bünyesine su ve agresif elementlerin girişine izin vererek korozyon problemlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca bünyesinde bulunan $Ca(OH)_2$, çözülmüş asit ve sülfat bileşenleri ile reaksiyona girerek beton yapısına zarar veren bileşiklerin oluşmasına neden olmaktadır (Pacheco-Torgal vd., 2008).

Çimento ile üretilen malzemelerin dayanıklılığını artırmak için ise, günümüzde yaygın olarak puzolanik özelliğe sahip mineral katkı maddeleri kullanılmaktadır. Ancak mineral katkı maddelerinin kullanılması durumunda pirizlenme süresi uzamakta ve erken kür sürelerinde dayanım değerleri düşmektedir. Puzolanik özelliğe sahip mineral maddelerin aktivasyon özelliklerini artırmak için son yıllarda alkali aktivasyon teknikleri önem kazanmıştır. Alkali aktivatörlerin kullanılması ile asit, sülfat, yangın vb. etkilere daha dayanıklı alkali aktive (aktifleştirilmiş) yüksek fırın cürufu çimentosu (Glukhovsky,

1959; Krivenko, 1986; Wu vd., 1990; Wang ve Scrivener, 1995; Fernández-Jimenez vd., 1999; Shi vd., 2006) ve uçucu kül, metakaolin gibi malzemelerin aktifleştirilmesiyle de alkali aktive çimentolar (Davitovids,1979; Fernandez-Jimenez vd., 2005; Yip, vd., 2008; Bondar vd., 2011) geliştirilmiştir (Cihangir, 2011).

Aktifleştirilmiş bağlayıcılara yönelik yapılan bilimsel çalışmaların büyük kısmında yüksek fırın cürufu yer almaktadır. Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu, literatürde “alkali cüruf çimentosu” veya “alkali-aktive cüruf çimentosu” olarak da adlandırılmaktadır (Pacheco-Torgal vd., 2008). Yüksek fırın cürufu, kimyasal bileşim olarak çimentoya en yakın puzolanik malzeme olup, içerdiği CaO (\approx %40) nedeni ile az da olsa kendiliğinden bağlayıcılık özelliği bulunmaktadır. Aktifleştirilmiş bağlayıcılar arasında yüksek fırın cürufu çimentosunun daha yüksek basınç dayanımlarına sahip olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Puertas vd., 2000; Ravikumar vd., 2010; Oh vd., 2010). Shi ve Day’e (1995) göre, yüksek fırın cürufunun sodyumsilikat ile aktifleştirilmesi sonucunda, oda sıcaklığında 90 günlük kür süresinde 160 MPa’lık bir dayanımın üretilebileceği belirtilmiştir.

1.4.1. Aktifleştiriciler

Puzolanik özelliğe sahip mineral maddeler alkali kimyasallar kullanılarak aktifleştirilebilir ve çimento gibi kullanılabilir. Glukhovsky (1981), kimyasal bileşimlerine bağlı olarak alkali kimyasalları; kostik alkaliler, silikat içermeyen zayıf asit tuzları, silikatlar, alüminatlar, alüminosilikatlar ve silikat içermeyen kuvvetli asit tuzları olarak altı gruba ayırmıştır:

Bu tez çalışmasında aktifleştirici olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve sıvı sodyum silikat ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$) kullanıldığı için bu iki alkali kimyasal kısa bir şekilde irdelenmiştir.

1.4.1.1. Sodyum Hidroksit (Kostik Soda)

Kimya endüstrisinde sodyum karbonat (soda külü) ve sülfürik asit ile birlikte en yaygın olan kimyasal Sodyum hidroksittir (Shi vd., 2006). Piyasada hidrat ve anhidrit formlar olmak üzere beyaz renkli, ince taneli vb. katı veya değişik konsantrasyonlarda çözelti formlarında bulunabilir.

NaOH ile çalışılırken gerek katı NaOH taneciklerini çözerken gerekse de konsantre NaOH çözeltisini seyreltirken çok dikkatli olmak gerekmektedir. Çözeltide kullanılacak olan su çok soğuk veya çok sıcak olmamalıdır. Tablo 4'te NaOH'ın genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 4. NaOH genel özellikleri (URL-1, 2014)

Tanım	Değer/Birim
Moleküler formül	NaOH
Kütle	39.9925 g/mol
Görünüş	Beyaz opak kristal
Yoğunluk	2.13 g/cm ³
Ergime Noktası	318 ^o C
Kaynama Noktası	1388 ^o C
Suda Çözünübilirlik (20 ^o C'de)	1110 g/dm ³
Methanolde Çözünübilirlik	238 g/dm ³
Ethanolde Çözünübilirlik	<139 g/dm ³
Buhar Basıncı (20 ^o C'de)	<18 mm Hg

1.4.1.2. Sodyum Silikat

Sodyum silikat genel formülü $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ile gösterilen değişik oranlardaki bileşiklerin genel adıdır. Burada “n” bir sayıdır. “n”in farklı değerleri için $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ endüstriyel uygulamalar açısından farklı özellikler arz eder. “n” harfi $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ oranının sayısal değeridir ve modül oranını (Ms) ifade etmektedir. $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ilk olarak Van Helmont tarafından 1640 yılında keşfedilmiştir. Van Helmont, silika minerallerini alkali kimyasallar ile karıştırarak sıvı formda $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ elde etmiştir. Bu ürünle ilgili farklı araştırmalardan sonra doğal ve yapay taşlara yönelik çimento, yapıştırıcı, deterjan, boya vb. uygulamaların yapılabileceğini ortaya koymuştur. Çözünabilir silikatlar düşük maliyetli olmasına rağmen, kimyasal yapısından ötürü hassas aktifleştiricidir. Bu nedenle depolanmasında sıkıntılar yaşanabilmektedir. Çözünabilir alkali silikatlar en etkili alkali aktivatörlerdir (Shi vd., 2006).

1.4.2. Yüksek Fırın Cürufu

Puzolanik malzemeler (yüksek fırın cürufu, uçucu kül, metakaolin vb.) uygun bir alkali kimyasal aktivatör ile aktive edilerek alkali aktive çimento üretiminde kullanılabilir. Alkali aktive çimentoların eldesinde kullanılan mineral malzemeler genel olarak demir cürufu (yüksek fırın cürufu), çelik cürufu, fosfor cürufu, uçucu kül, volkanik tuf, zeolit, metakaolin ve silis dumanı şeklinde sıralanabilir. Bu mineral malzemeler arasında en yaygın kullanılanlar ise uçucu kül ve yüksek fırın cürufudur (Shi ve Li, 1989; Adam, 2009).

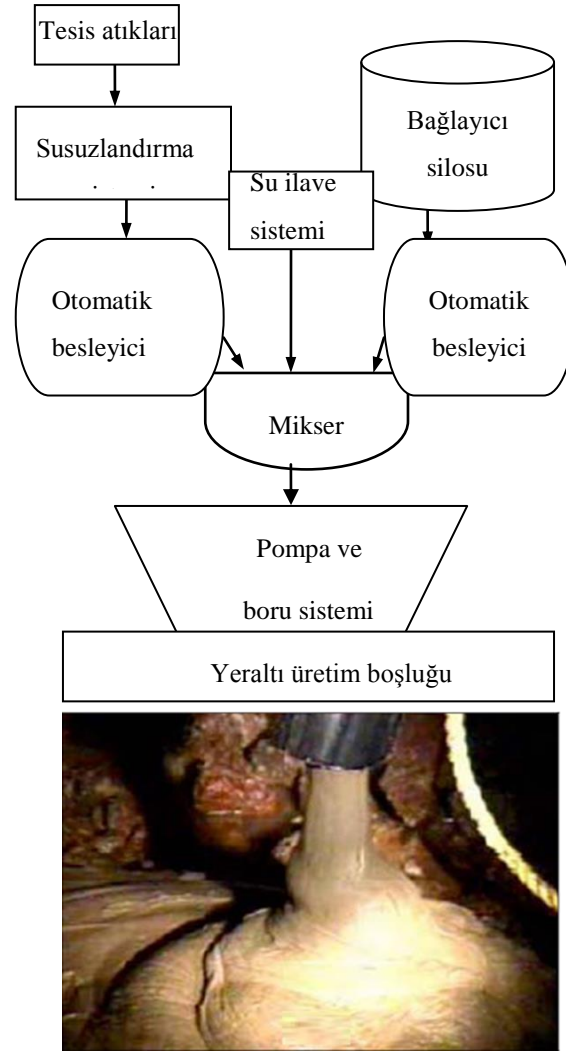
Yüksek fırın cürufu demir üretimi sırasında meydana gelen bir yan üründür. Soğutma ve kurutma işlemlerinden sonra öğütülerek çimentoya katkı maddesi olarak kullanılabilir. Bu işlemlere rağmen çimento üretiminden daha az enerjiye ihtiyaç duyulur. Higgins (2006), çimento ve yüksek fırın cürufunu çevresel etkileri bakımından aşağıdaki gibi kıyaslamıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Yüksek fırın cürufu ve çimentonun çevresel etkiler açısından karşılaştırılması (Higgins, 2006)

Çevresel Etki	Değerlendirme kriteri	Etki	
		Bir ton yüksek fırın cürufu	Bir ton Portland çimentosu
İklim değişikliği	CO ₂	0.07 ton	0.95 ton
Enerji ihtiyacı	Gerekli enerji	1.300 MJ	5.000 MJ
Mineral kazısı	Miktar olarak gereksinim	-	1,5 ton
Atık uzaklaştırma	Uzaklaşan miktar	1 ton ekstra kazanım.	0.02 ton

1.5. Macun Dolgunun Yeraltına Nakliyesi

Macun dolgu; atık malzemeye su, bağlayıcı ve aktifleştirici ilave edilip karıştırılarak hazırlanmaktadır. Bunun için bir macun dolgu tesisi gerekmektedir. Macun dolgu tesisleri, yaklaşık olarak ağırlıkça ortalama %75-85 katı oranında, 12-200 m³/sa kapasitede ve 5-13 MPa pompa basıncında macun dolgu malzemesi üretme ve nakliye kapasitelerinde tasarlanabilir (Paterson, 2011; Erçikdi vd., 2012). Macun dolgunun hazırlanması ve yeraltı boşluğuna nakliyesindeki aşamalar aşağıdaki gibidir (Şekil 1).



Şekil 1. Macun dolgunun yeraltı boşluğuna nakliyesi (Yılmaz, 2003)

Tesis atıkları öncelikle macun dolgu tesisine gönderilmektedir. Atıklar ilk olarak değişik çaplardaki tiknerlerde koyulaştırılmakta ve buradan depolama tankına nakledilmektedir. Depolama tankında homojenleştirilen atıklar vakumlu disk filtreler kullanılarak susuzlaştırılmaktadır. Burada susuzlandırmanın temel amaçları; tesise su geri beslemesini sağlamak, dolgu için gerekli uygun, işlenebilir karışım malzemesini sağlamak ve dolgu bünyesinde yer alabilecek suyun kimyasal açıdan maksimum kontrolünü ($\text{SO}_4^{=}$ içeriği vs.) sağlamaktır. Daha sonra besleyici tankında su ve bağlayıcı ilave edilerek mikserde homojen bir şekilde karıştırılmakta, hazırlanan karışım borular ve pompalar vasıtasıyla yeraltı üretim boşluklarına nakledilmektedir (Şekil 1). Macun dolgu malzemesi pratikte 7.0-8.5 inç slampta yer altına basılmaktadır. Ancak dolgu malzemesinin yer altı boşluklarına 6-10 inç slamlarda basılabileceği belirtilmektedir. Macun dolgu

malzemesinin kıvamı, yeraltında yerleştirileceği boşluğa nakliyatı açısından büyük öneme sahiptir (Erçikdi vd., 2012).

Macun dolguda 20 µm altı malzeme miktarı, dolgu malzemesinin su tutma yeteneği açısından önemlidir. Macun dolgu malzemesi, kuru ağırlıkça en az %15 oranında 20 µm altı ince tane içerdiğinden kolloidal bir yapıya sahiptir (Brackebusch, 1994). Böylelikle; dolgu malzemesinin kıvamını bir müddet koruması ve boru sistemi ile yer altına kolay bir şekilde taşınması mümkün olmaktadır.

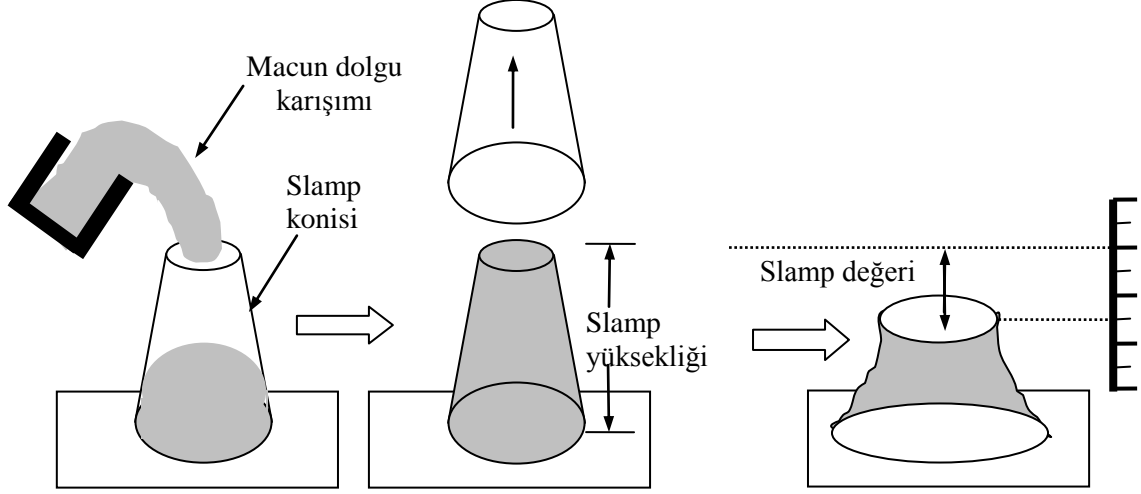
1.6. Bağlayıcı İçeren Malzemelerde İşlenebilirlik Testleri

1.6.1 Reoloji

Reoloji, bir malzemenin akışkanlık özellikleri ifade etmekte olup taşınabilirliği açısından oldukça önemlidir. Yerüstü macun dolgu tesisinde hazırlanan karışımın boru hattı ile yeraltı üretim boşluklarına taşınabilmesi için belirli bir akışkanlığa sahip olması gerekmektedir. Verimli ve ekonomik bir dolgu nakli, minimum enerji ile maksimum oranda katı malzeme içeren karışımın yeraltı üretim boşluklarına yerleştirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Ancak katı oranının artması, karışımın akışkanlığını azaltmakta, boru hattında sürtünme kayıplarına ve tıkanmalara neden olarak dolgu nakliye verimini düşürmektedir (Huynh vd., 2006). Bu nedenle macun dolgu tasarımında göz önüne alınması gereken en önemli faktörlerden birisi, hazırlanacak karışımın reolojik özellikleridir.

Macun dolguyu oluşturan atık, bağlayıcı ve karışım suyunun fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri karışımın akışkanlığını önemli derecede etkilemektedir. Macun dolgu akışkanlığını etkileyen başlıca faktörler; katı oranı, su/çimento oranı, bağlayıcı tipi ve oranı, mineral ve kimyasal katkı maddeleri, atık ve bağlayıcı malzemenin tane boyut dağılımı, tane şekli, özgül ağırlığı ve yüzey alanı, tanelerin yüzey özellikleri (zeta potansiyeli, su tutma vb.), atıkların mineralojik bileşimi ve karışım suyunun kimyasal (iyon konsantrasyonu ve pH) özellikleridir (Kesimal vd., 2003; Clayton vd., 2003; Huynh vd., 2006). Kesimal vd. (2004), atık içerisindeki kil minerallerinin su tutma özelliklerinden dolayı, karışımın akışkanlığını arttırdığını belirtmiştir. Macun dolgunun reolojik özellikleri, uygulamasının pratikte kolay olması nedeniyle maden işletmelerinde genelde slamp testi ile değerlendirilmektedir. Slamp, bir karışım malzemesinin koni şeklindeki

kaygan bir kalıptan serbest bırakıldığında boydaki düşmenin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Slamp ölçümünün şematik gösterimi

Macun dolgu uygulamalarında slamp değeri, malzemenin özelliğine bağlı olarak 6-10 inch arasında değişmekte olup, 12 inch yüksekliğindeki standart beton koni test aletiyle belirlenmektedir(Landriault vd., 1995). Genellikle macun dolgu karışımında su miktarı arttıkça karışımın slamp değeri artmakta (Şekil 3) ve boru hattı ile yeraltına daha kolay nakledilmektedir. Ancak fazla su ihtiva eden karışımın kür süresi uzamakta ve dolgu dayanım ve durabilitesi azalmaktadır. Huynh vd. (2006), akışkanlaştırıcı özelliğe sahip kimyasal katkı maddelerinin macun dolgunun akışkanlığını arttırdığını ve dolgunun daha düşük su/çimento oranlarında yeraltına taşınabileceğini belirtmiştir. Su/çimento oranının azalması, dolgu mikroyapısını (boşluk ve gözeneklilik) iyileştirerek dayanım ve durabilitesini arttırmakta ve dolgunun erken kür sürelerinde sıvılaşma riskini azaltmaktadır (Kesimal vd., 2005; Erçıkı vd., 2010). Macun dolgu için uygun bir slamp değerinin belirlenmesi, boru hattı ile yeraltına nakliyesi esnasında tıkanmaları engelleyerek emniyetli ve verimli bir nakliye işleminin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (Clark vd., 1995).

Bazı araştırmacılar macun dolgunun reolojik özelliklerinin tam olarak anlaşılabilmesi ve yeraltına taşınmasında herhangi bir problemle karşılaşılması için, slamp ölçümünün yanında ön gerilme ve viskozite ölçümlerinin de yapılmasının faydalı olacağını belirtmiştir (Clayton vd., 2003). Macun dolgu, plastik davranış gösterdiğinden belirli bir ön gerilmeye

ulaşınca kadar akışkan özellik göstermez. Dolayısıyla bir ön gerilmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Ön gerilme, akışkan tanelerin statik sürtünmesini yenmesi için gerekli basınçtır. Viskozite ise, herhangi bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır.

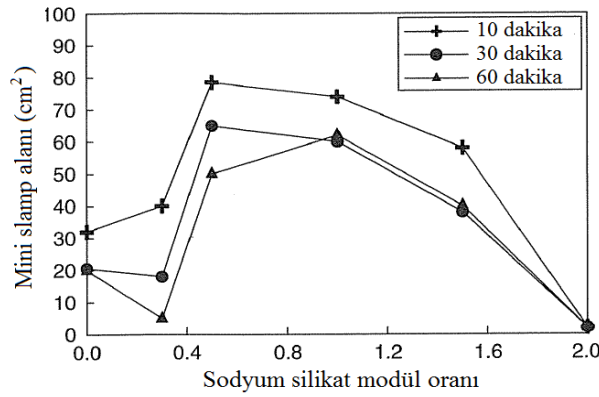


Şekil 3. Slamp değeri düşük (a), normal (b) ve yüksek (c) dolgu

1.6.2. Alkali Aktive Yüksek Fırın Cürufu ile Üretilen Malzemelerde İşlenebilirlik

Çimento içeren taze beton, harç vb. malzemelerin özellikleri karışım anından en son yerleştirileceği yere kadarki periyotta kıvam, akışkanlık, taşınabilirlik, pompalanabilirlik, sıkıştırılabilirlik, yerleştirilebilirlik gibi özelliklerle tanımlanabilir. Bu parametreler taze betonun işlenmesinde ekipman seçimi ve konsolidasyon gibi özellikleri etkilediğinden çok önemlidir. İşlenebilirlik ise taze beton gibi malzemelere yönelik yukarıda sayılan bütün özellikleri yaklaşık temsil eden bir kavramdır. İşlenebilirlik, herhangi bir katılaşmaya izin vermeden beton vb. malzemenin yerine yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasına kadar gerekli bütün işleri toplamı olarak tanımlanabilir. İşlenebilirlik ölçümlerine yönelik önerilen en yaygın test yöntemleri *i*) slump testleri *ii*) vebe testi *iii*) kompaksiyon testi ve *iv*) akış testi şeklinde sıralanabilir. Alkaliler ile aktifleştirilmiş çimento içeren malzemelerin reolojik özellikleri başlıca cüruf kimyası, aktivatör kimyası, aktivatör dozajı, modül oranı, cüruf inceliği, kireç ilavesi, kimyasal katkı maddesi ilavesi, mineral katkı ilavesi, karışım ortamına aktivatör ilave şekli ve zamanı, sıcaklık, ince ve iri agrega oranları ve miktarları, çimento/agrega oranı ile agreganın fiziksel özellikleri gibi faktörlere bağlıdır (Shi vd., 2006).

Jiang (1997), NaOH ilave etmeden ve NaOH ilave ederek cüruf pastalarının 0.75 ve 1.50 su/cüruf oranında akış özelliklerini test etmiştir. 0.75 su/cüruf oranında %5 oranında NaOH ilave edildiğinde malzemenin viskozitesinin arttığını, 1.50 su/cüruf oranında ise viskozitesinin azalarak NaOH ilavesi olmayan cüruf örneğinin kıvamına çok yaklaştığını elde etmiştir. Ayrıca Jolicoeur vd. (1992)'de mini slump testlerine göre sabit bir test zamanı için %0.5-4.0 oranlarında Na₂O dozajında NaOH'in önemli bir etkiye sahip olmadığı, fakat test süresinin uzaması ile birlikte mini slump alanının önemli derecede azaldığı belirtilmiştir (Shi vd., 2006).



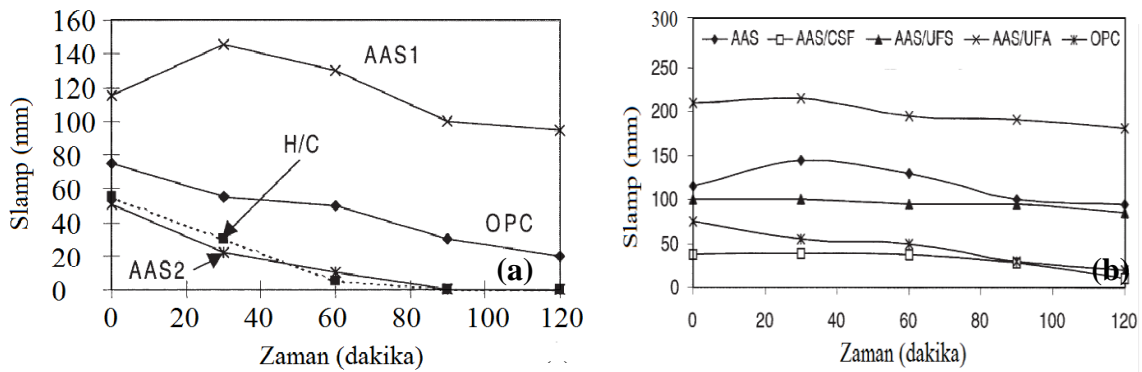
Şekil 4. Sodyum silikat ile aktifleştirilmiş cüruf çimentosu pastasında 0.4 su/cüruf oranı için mini slump (Jolicoeur vd., 1992)

Sodyum silikat modül oranının ise 0.5'ten küçük ve 1.5'ten büyük değerler için mini slump değerlerinde önemli derecede azalma olduğu ifade edilmiştir. 0.5-1.0 modül oranında işlenebilirlik seviyesi en iyi derecede iken, 1.0-1.5 arasında yavaş yavaş azalmakta ve 2.0 değerinde karışımdan hemen sonra birkaç dakika içinde sıfır seviyesine inmektedir (Şekil 4). dolayısıyla aktivatör tipi ve dozajı, çimentolu taze malzemelerin akışkanlık özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Collins ve Sanjayan (1999), değişik aktivatörler kullanarak 0.5 su/bağlayıcı oranlarında CEM I 42,5R ve AAC numunelerinin iki saatlik sürede slump testleri ile işlenebilirlik testlerini gerçekleştirmiştir. Aşağıda Şekil 5a'da AAS1: Toz sodyum metasilikat, AAS2: 1 modül oranında likit sodyum silikat, H/C: NaOH+Na₂CO₃ ve OPC: CEM I 42,5R'yi ifade etmektedir. Beton dizayn aşamasında bütün koşullar eşit olduğu için başlangıç slampları farklı elde edilmiştir. En yüksek başlangıç slump değerine sahip

bileşim AAS1 ve en düşük başlangıç slump değeri AAS2 içeren beton örneğine aittir. Şekle bakıldığında AAS1'in, OPC dahil olmak üzere diğer bağlayıcılardan daha iyi işlenebilirlik özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. Sebebinin ise AAS1 içeren karışım ortamına yavaş yavaş alkali iyonlarının salınmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. AAS2 ile H/C içeren bağlayıcılar benzer özellik göstermiş ve yaklaşık 90 dakikada işlenebilirlik seviyeleri sıfır noktasına inmiştir. Bu noktadan itibaren deney bu karışımlar için sonlandırılmıştır.

Collins ve Sanjayan (1999), toz sodyum metasilikat ile 0.5 su/bağlayıcı oranlarında AAC içeren bağlayıcılarda %10'luk ultra ince mineral katkıların (AAS: alkali aktive cüruf, UFA: uçucu kül, CSF:silis dumanı, UFS: ultra ince cüruf, OPC: CEM I 42,5R) ikamesi ile üretilen beton örneklerinin slump kayıplarının engellenebileceğini ve zamana bağlı daha az slump kayıplarının görüldüğünü ortaya koymuştur (Şekil 5b). Çalışmada kontrol numuneleri olarak CEM I 42,5R beton örnekleri kullanılmıştır. Şekil 5b'den silis dumanının çok ince yüzey alanına sahip olmasından ve yine ikame cürufun yüzey alanının normal cüruftan çok ince olmasından dolayı kontrol AAC (AAS) örneklerine göre slump değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Uçucu kül ile ikame edilen örnekte ise slump değerinin artmasının uçucu külün yuvarlak şekilli olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Şekil 5b'de dikkat çeken en önemli husus, ince mineral katkı ikamesinin olduğu örneklerde zamana bağlı slump kayıplarının kontrol numuneleri olan CEM I 42,5R (OPC) ve AAC (AAS)'ye kıyasla minimum olmasıdır.



Şekil 5. AAC çimentosu ve CEM I 42,5R beton numunelerinde zamana bağlı slump değişimi a) mineral katkısız AAC örnekleri b) mineral katkılı AAC örnekleri

Bağlayıcı içeren taze harç ve beton malzemelerinde işlenebilirlik özellikleri pratikte genel olarak slump testleri ile ölçülmektedir. Macun dolguda da taze dolgu malzemesinin başlangıç slump seviyesi ölçülmektedir. Malzemenin slumpı su ile ayarlandığından, fazla su kıvamın azalmasına neden olurken, diğer taraftan dolgunun koloidal yapısından dolayı su tutması nedeniyle boşluk miktarı artmaktadır. Dolayısıyla macun dolguda kısa ve uzun dönemde dayanım problemleri meydana gelmektedir. Bu yüzden macun dolguda kıvamın optimum seviyede olması istenmektedir.

Slamp ölçümünde standart kesik koninin (12 inç yüksekliğe sahip) içine taze dolgu malzemesi 3 kademede hava alma ve sıkılama işlemleri ile doldurulur. Daha sonra kesik koninin üst yüzeyi düzeltilir. Koni iki tarafındaki tutma kulplarından tutularak yukarı doğru sabit ve kontrollü bir şekilde çekilir. Böylece kesik koninin içindeki malzemenin serbest bırakılarak düşürülmesi sağlanır. Malzemenin başlangıç seviyesinden olan düşme seviyesi ölçülerek macun dolgu malzemesinin slumpı bulunur (Şekil 6).



Şekil 6. Macun dolgu kıvamının slump testi ile ölçülmesi

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu çalışmada; sıvı sodyum silikat ($LSS-Na_2O \cdot 2SiO_2$) ve granüle sodyum hidroksit ($NaOH$) ile aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufunun normal ve şlamı uzaklaştırılmış sülfür içeriği yüksek cevher zenginleştirme atıklarından hazırlanan çimentolu macun dolgunun kısa ve uzun dönem dayanım ve işlenebilirlik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Deneye tabi tutulan numuneler için; flotasyon işlemine tabi tutulmuş normal maden tesis atıkları (NA) ile yine flotasyon işleminden sonra şlam malzemesinin bir kısmı hidrosiklon ile uzaklaştırılmış deslimed (iri) atıklar (DA) kullanılmıştır. Her iki atık türünün de çalışmaya uygun olacak şekilde sülfür içeriği yüksek seçilmiştir. Bu atıklardan aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu ve kontrol amacı ile de normal Portland çimentosu kullanılarak hazırlanan macun dolgu numunelerinde, atık ve bağlayıcı özelliklerinin dolgu malzemesinin dayanım ve işlenebilirlik özelliklerine etkileri araştırılmaktadır.

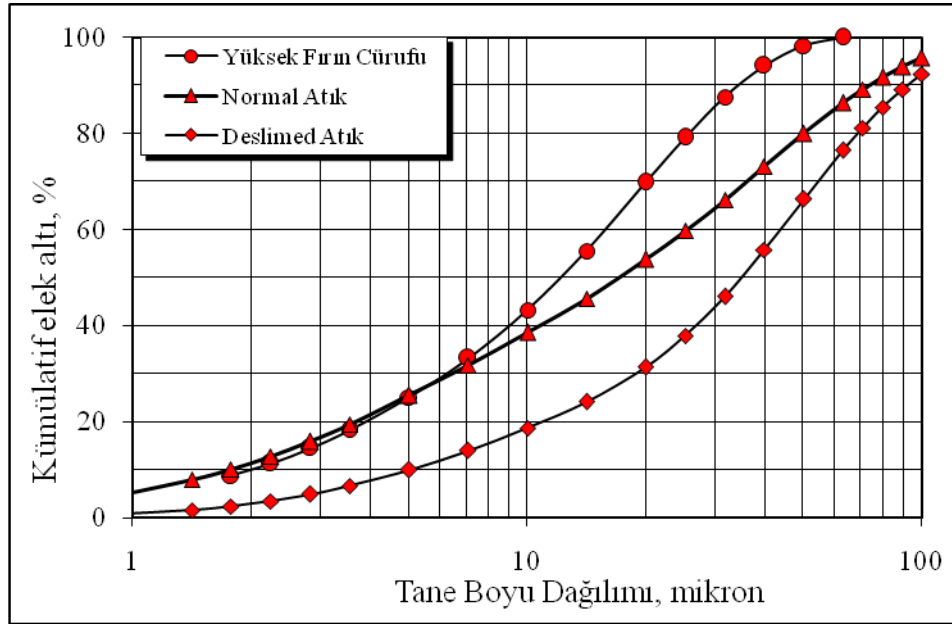
Deneysel çalışmalarda kullanılan normal atık malzeme Rize'nin Çayeli ilçesinde Madenköy'de bulunan Çayeli Bakır İşletmeleri'nden, kaba atık (deslimed atık) ise Eti Bakır A.Ş.'den (Küre/Kastamonu) temin edilmiştir. Bağlayıcı olarak bir çimento fabrikasından normal Portland çimentosu (CEM I 42.5) temin edilmiştir. Ayrıca Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentoları için bir demir çelik fabrikasından yüksek fırın cürufu temin edilmiştir. Yüksek fırın cürufunun aktifleştirilmesinde kullanılmak üzere sıvı sodyum silikat ($LSS-Na_2O \cdot 2SiO_2$) ve granüle sodyum hidroksit ($NaOH$) olmak üzere iki farklı aktivatör temin edilmiştir.

2.2. Atık Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan atık malzemeler flotasyon işlemine tutulmuş bakır cevherinin zenginleştirildiği cevher zenginleştirme tesisinde tikiyer çıkışından yaklaşık %60 katı oranında alınmıştır. Daha sonra laboratuarda homojenizasyonu sağlanmıştır. Deslimed atık ise disk filtre çıkışından alınmıştır. Laboratuarda yine homojenleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Atık malzemelerin tane boyu dağılımı analizleri, Malvern

Mastersizer Hydro 2000 MU marka tane boyu dağılımı ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Şekil 7’de normal atık ve deslimed atık ile yüksek fırın cürufunun tane boyu dağılımları verilmiştir. Atık malzemeler için 20 µm altı malzeme miktarlarının ağırlıkça normal ve deslimed atıklar için %53.70 ve %31.33 olduğu görülmektedir. Buna göre normal atıklar orta boyutlu atık sınıfına girerken, şlamı uzaklaştırılmış atıklar iri boyutlu atık sınıfına girmiştir (Landriault, 1995). Dolgu malzemesinin yeraltı üretim boşluklarına nakliyesi esnasında kıvamını koruması ve arzu edilen akışkanlığa sahip olabilmesi için belli oranda suyu bünyesinde tutması gerekmektedir. Macun dolguda su tutmayı sağlayacak koloidal yapı için atık malzemedeki 20 µm altı malzeme miktarının ağırlıkça en az %15 olması gerekmektedir. Bu durum göz önüne alındığında iki atığın da macun dolguda kullanılabilirleri görülmektedir.



Şekil 7. Atık malzemelerin tane boyut dağılımları

Şlam uzaklaştırma işlemi sonucunda elde edilen atıkların daha iyi bir granülometriye sahip olduğu söylenebilir (Landriault, 2001). Atık malzemelerin özgül ağırlıkları (G_s) 100 ml’lik piknometreler kullanılarak ASTM C 128-97 (2002) standartlarına göre elde edilmiştir.

Atık malzemelerin kimyasal analizleri Kanada’da ACME kimyasal analiz laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analizlere göre atık malzemelerin S^{-2}

(Sülfid Kükürdü) içeriklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ içerikleri bakımından şlamı uzaklaştırılan atıkların normal atıklara kıyasla daha az kil mineralleri içerdiği görülmüştür.

Atık malzemelerin bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmiştir. Atık malzemelerin özgül yüzey alanları değerlendirildiğinde şlam uzaklaştırma işlemi sonucunda 20 mikron altı malzeme miktarlarına bağlı olarak yüzey alanları azalmıştır (Tablo 7).

Tablo 6. Atık malzemelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri

Kimyasal bileşim	Çayeli Bakır (NA)	Eti Bakır Küre (DA)
SiO_2	12.78	7.02
Al_2O_3	4.33	1.75
Fe_2O_3	46.32	57.03
CaO	2.55	1.24
MgO	2.37	0.63
TiO_2	0.09	0.13
Cr_2O_3	0.016	0.005
Na_2O	0.17	0.14
K_2O	0.25	0.12
MnO	0.11	0.03
P_2O_5	0.09	<0.01
Kızdırma Kaybı	26.2	30.7
S^{-2} (Sülfid Kükürdü)	30.09	41.22
Toplam Kükürt	34.22	45.18
Başlangıç pH değeri	9.17	7.43
Başlangıç SO_4^{-2} değeri (ppm)	2500	12964
Mineralojik Bileşim	Kalsit, kuvars, barit, pirit, ankerit, Filipsit, kalkopirit	Kalsit, kuvars, albit, pirit, ankerit, klorit, kalkopirit

Tablo7. Atık malzemelerin bazı fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler	Çayeli Bakır (NA)	Eti Bakır Küre (DA)
Özgül ağırlık	3.93	4.42
Özgül yüzey (cm ² /g)	3000	1550
D ₁₀	1.757	5.038
D ₃₀	6.464	18.929
D ₅₀	17.157	34.95
D ₆₀	25.478	43.892
D ₉₀	73.836	91.839
C _u	14.5	8.71
C _c	2.88	41.13

2.3. Bağlayıcı Malzeme

Bu çalışmada, kontrol amaçlı olarak macun dolgu malzemelerinin hazırlanmasında normal Portland çimentosu kullanılmıştır. Normal çimentoya alternatif bağlayıcı olarak kullanılan yüksek fırın cürufu Kardemir demir çelik fabrikasından temin edilmiştir. Bağlayıcı maddelerin kimyasal ve mineralojik analizleri Tablo 8’de ve fiziksel özellikleri Tablo 9’da verilmiştir. Yüksek fırın cürufunun tane boyut dağılımı ise Şekil 7’de verilmiştir.

Tablo 8’den normal Portland çimentosunun CaO yüzdesinin çok yüksek olduğu (%62,72) ve dolayısıyla sülfür içeriği yüksek atıklardan hazırlanacak macun dolguda asit ve sülfat etkilerine karşı dayanıksız olabileceği söylenebilir. Yüksek fırın cürufunun ise kimyasal özellikleri esas alındığında asidik karakterli olduğu görülmüştür. Bağlayıcı malzemelerin özgül ağırlıkları (G_s) 100 ml’lik piknometreler kullanılarak ASTM C 128-97 (2002) standartlarına göre elde edilmiştir. Malzemelerin özgül yüzey alanları ise blain (incelik) testleri ile belirlenmiştir. Bağlayıcı malzemelerin kimyasal analizleri de Kanada’da bulunan ACME laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 8. Bağlayıcı maddelerin kimyasal ve mineralojik özellikleri

Kimyasal bileşim	CEM I 42,5 (%)	Yüksek Fırın Cürufu (%)
SiO ₂	19.93	39.62
Al ₂ O ₃	5.12	11.38
Fe ₂ O ₃	3.13	0.68
CaO	62.72	36.15
MgO	2.59	5.87
TiO ₂	0.26	0.98
Cr ₂ O ₃	0.04	0.01
Na ₂ O	0.28	0.29
K ₂ O	0.69	1.19
MnO	0.07	2.00
P ₂ O ₅	0.11	<0.01
Reaktif SiO ₂	-	39.17
Serbest Kireç	2.30	-
Kızdırma Kaybı	2.96	-1.38
SO ₃	2.952	2.247
Baziklik İndeksi	-	0.979
Mineralojik bileşim	(%)	
C ₃ S	47.15	
C ₂ S	21.63	
C ₃ A	8.27	
C ₄ AF	9.53	

Tablo 9. Bağlayıcı maddelerin fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	CEM I 42,5	Yüksek Fırın Cürufu
Özgül ağırlık	3.16	2.92
Özgül yüzey (cm ² /g)	4170	4270
90 µm elek bakiyesi (%)	-	-
45 µm elek bakiyesi (%)	2.33	3.78
32 µm elek bakiyesi (%)	7.65	9.17

Yüksek fırın cürufularının aktifleştirilmesinde modül oranı 2.0 (ağırlıkça SiO₂/Na₂O oranı; M_S=SiO₂/Na₂O) olan sıvı sodyum silikat (LSS: Na₂O.2SiO₂) ve %99.5 saflıkta granüle sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. LSS, Ege Kimyasalları Ltd. Şti.'den ve NaOH, Merck Kimyasalları'ndan temin edilmiştir. Aktifleştirme çalışmalarında modül

oranı NaOH kullanılarak yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda NaOH granülleri önce suda çözülmüş, daha sonra atık malzeme, yüksek fırın cürufu ve sudan oluşan karışım ortamına ilave edilmiştir.

2.4. Atık Malzemenin İşlenebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi

İşlenebilirlik testlerine yönelik bütün karışım malzemelerinin reolojik özelliklerini temsil edecek şekilde her bir bileşim için macun dolgu malzemelerinin 0-30-60-90 ve 120 dakikalarda ayrı ayrı slampları alınmıştır. Her malzeme, slamp ölçümü alındıktan hemen sonra tekrar ilgili slamp alma sürelerine kadar mikserde karıştırma işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 8). slamp deneyleri ASTM C143-12 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. LSS-cüruf ile hazırlanan macun dolgu malzemesinin 0-2 saatlik kıvamları

2.5. Macun Dolgu Numunelerinin Hazırlanması

Macun dolgu malzemeleri, tesis atıkları, karışım suyu, aktivatörler ve bağlayıcı malzemelerin, 20,8 litre kapasiteli bir mikserde (Univex SRMF20 Stand Model) karıştırılarak homojenleştirilmesiyle hazırlanmıştır. Karıştırma işlemi 105 devir/dk'lık dönme hızında 7 dakika süreyle yapılmıştır. Macun dolgu malzemelerinin başlangıç slampları yaklaşık 7.5 inç (190 mm) slamp olarak hazırlanmıştır.

Macun dolgu numuneleri %5-6-7 bağlayıcı oranlarında, %6-8-10 Na₂O aktivatör dozajlarında ve 0.75-1.0-1.25-1.5-2.0 modül oranlarında hazırlanmıştır. Bağlayıcı oranı, dolgu dizaynında toplam katı miktarının (bağlayıcı+atık) ağırlıkça yüzdesine karşılık gelmektedir. Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentolarında bağlayıcı faz (her bir farklı dizayn için kullanılan malzemeleri kapsayacak şekilde); cüruf, sodyum silikatın bileşenleri olan sodyum oksit (Na₂O) ve silisyum dioksit (SiO₂) ile sodyum hidroksit kombinasyonlarından oluşmaktadır. Normal Portland çimento ve Portland kompoze çimento için bağlayıcı faz ise, belirli bir dizayn için dolgu bünyesindeki toplam katının ağırlıkça %'sidir. Dolgu dizaynlarında Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentosu ve Normal Portland çimentosu için bağlayıcı fazları ağırlıkça eşittir (Cihangir vd., 2012).

İki farklı atık için macun dolgu malzemeleri 6 farklı kür süresi için (14-28-56-112-224-360 gün) her bir kür süresinde 3 adet olmak üzere tek eksenli dayanım testleri için 6x3=18 adet olarak 100x200 mm boyutlarında hazırlanmıştır.

Normal atık ve deslimed (ince malzemesinin bir kısmı uzaklaştırılmış atık) atık kullanılarak sıvı sodyum silikat ile 324, NaOH ile 180 ve kontrol amaçlı olarak kullanılan normal Portland çimento ile de 108 olmak üzere toplamda 612 adet macun dolgu numunesi hazırlanmıştır.

Aktivatör kimyasının ve dozajının etkisinin macun dolgu dayanım ve duraylılığı ile işlenebilirlik özelliklerine etkisinin araştırılmasına yönelik tez çalışması kapsamında normal atık (NA) ve deslimed atık (DA) kullanılarak hazırlanan 252 numunenin deneysel çalışma koşulları Tablo 10'da ve m³ başına gerekli malzeme miktarları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10. Aktivatör kimyasının ve dozajına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) için deneysel çalışma koşulları

Atık tipi	Bağlayıcı tipi	Bağlayıcı oranı	Aktivatör Dozajı	Katı oranı (%)	Su içeriği (%)	Atık içeriği (%)	Bağlayıcı içeriği (%)	Su /Bağlayıcı Oranı	Slamp değeri (inç)
NA	LSS-S	%7	%6	78.37	21.63	72.88	5.49	3.94	7.5
NA	SH-S	%7	%6	77.59	22.41	72.16	5.43	4.13	7.5
NA	LSS-S	%7	%8	79.59	20.41	74.02	5.57	3.66	7.4
NA	SH-S	%7	%8	77.64	22.36	72.21	5.43	4.11	7.4
NA	LSS-S	%7	%10	80.23	19.77	74.61	5.62	3.52	7.7
NA	SH-S	%7	%10	77.86	22.14	72.41	5.45	4.06	7.6
NA	OPC	%7		76.47	23.53	71.12	5.35	4.40	7.5
DA	LSS-S	%7	%6	81.85	18.15	76.12	5.73	3.17	7.4
DA	SH-S	%7	%6	81.12	18.88	75.44	5.68	3.32	7.5
DA	LSS-S	%7	%8	82.79	17.21	76.99	5.80	2.97	7.5
DA	SH-S	%7	%8	82.26	17.74	76.50	5.76	3.08	7.4
DA	LSS-S	%7	%10	82.93	17.07	77.12	5.81	2.94	7.6
DA	SH-S	%7	%10	82.52	17.48	76.74	5.78	3.03	7.6
DA	OPC	%7		82.02	17.98	76.28	5.74	3.13	7.6

Tablo 11. Aktivatör kimyasının ve dozajına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) ile hazırlanan 1 m³ macun dolgu karışımı için gerekli malzeme miktarları

Atık tipi	Bağlayıcı tipi	Bağlayıcı oranı	Aktivatör Dozajı	pulp yoğunluğu	Bağlayıcı miktarı (kg/m ³)	LSS miktarı (kg/m ³)	NaOH miktarı (kg/m ³)	cüruf miktarı (kg/m ³)
NA	LSS-S	%7	%6	2.37	130.39	31.36	4.48	115.52
NA	SH-S	%7	%6	2.36	128.77		9.25	119.52
NA	LSS-S	%7	%8	2.44	135.16	41.76	5.97	115.36
NA	SH-S	%7	%8	2.37	128.36		12.01	116.35
NA	LSS-S	%7	%10	2.45	138.02	51.42	7.35	113.64
NA	SH-S	%7	%10	2.41	133.24		15.23	118.01
NA	OPC	%7		2.34	127.46			
DA	LSS-S	%7	%6	2.67	153.28	36.87	5.27	135.79
DA	SH-S	%7	%6	2.62	149.05		10.71	138.34
DA	LSS-S	%7	%8	2.72	158.00	48.82	6.98	134.85
DA	SH-S	%7	%8	2.67	154.47		14.45	140.02
DA	LSS-S	%7	%10	2.73	158.80	59.16	8.46	127.58
DA	SH-S	%7	%10	2.68	155.61		17.78	137.82
DA	OPC	%7		2.68	154.79			

Bağlayıcı oranı etkisinin macun dolgu dayanım ve duraylılığı ile işlenebilirlik özelliklerine etkisinin araştırılmasına yönelik tez çalışması kapsamında normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) kullanılarak hazırlanan 324 numunenin deneysel çalışma koşulları Tablo 12’de ve m³ başına gerekli malzeme miktarları Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 12. Bağlayıcı oranına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) için deneysel çalışma koşulları

Atık tipi	Bağlayıcı tipi	Bağlayıcı oranı	Aktivatör Dozajı	Katı oranı (%)	Su içeriği (%)	Atık içeriği (%)	Bağlayıcı içeriği (%)	Su /Bağlayıcı Oranı	Slamp değeri (inç)
NA	LSS-S	%5	%8	79.41	20.59	75.44	3.97	5.19	7.5
NA	SH-S	%5	%8	77.68	22.32	73.80	3.88	5.75	7.4
NA	SH-S	%6	%8	77.66	22.34	73.00	4.66	4.79	7.5
NA	OPC	%5		76.75	23.25	72.91	3.84	6.06	7.3
NA	LSS-S	%6	%8	79.51	20.49	74.74	4.77	4.30	7.5
NA	LSS-S	%7	%8	79.59	20.41	74.02	5.57	3.66	7.4
NA	SH-S	%7	%8	77.64	22.36	72.21	5.43	4.11	7.4
NA	OPC	%7		76.47	23.53	71.12	5.35	4.40	7.5
DA	LSS-S	%5	%8	82.26	17.74	78.15	4.11	4.31	7.6
DA	SH-S	%5	%8	80.99	19.01	76.94	4.05	4.69	7.4
DA	OPC	%5		80.95	19.05	76.90	4.05	4.71	7.5
DA	LSS-S	%6	%8	82.42	17.58	77.47	4.95	3.55	7.5
DA	LSS-S	%7	%8	82.79	17.21	76.99	5.80	2.97	7.5
DA	SH-S	%7	%8	82.26	17.74	76.50	5.76	3.08	7.4
DA	OPC	%6		82.15	17.85	77.22	4.93	3.62	7.5
DA	OPC	%7		82.02	17.98	76.28	5.74	3.13	7.6

Tablo 13. Bağlayıcı oranına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) ile hazırlanan 1 m³ macun dolgu karışımı için gerekli malzeme miktarları

Atık tipi	Bağlayıcı tipi	Bağlayıcı oranı	Aktivatör Dozajı	Katı oranı (%)	Bağlayıcı miktarı (kg/m ³)	LSS miktarı kg/m ³	NaOH miktarı kg/m ³	cüruf miktarı (kg/m ³)
NA	LSS-S	%5	%8	79.41	96.43	29.79	4.26	82.31
NA	SH-S	%5	%8	77.68	91.89		8.60	83.29
NA	SH-S	%6	%8	77.66	109.89		10.28	99.60
NA	OPC	%5		76.75	89.22			
NA	LSS-S	%6	%8	79.51	117.81	36.40	5.20	100.55
NA	LSS-S	%7	%8	79.59	135.16	41.76	5.97	115.36
NA	SH-S	%7	%8	77.64	128.36		12.01	116.35
NA	OPC	%7		76.47	127.46			
DA	LSS-S	%5	%8	82.26	111.55	34.46	4.93	95.21
DA	SH-S	%5	%8	80.99	106.57		9.97	96.60
DA	OPC	%5		80.95	107.17			
DA	LSS-S	%6	%8	82.42	132.40	40.91	5.85	113.00
DA	LSS-S	%7	%8	82.79	158.00	48.82	6.98	134.85
DA	SH-S	%7	%8	82.26	154.47		14.45	140.02
DA	OPC	%6		82.15	133.50			
DA	OPC	%7		82.02	154.79			

Modül oranı etkisinin macun dolgu dayanım ve duraylılığı ile işlenebilirlik özelliklerine etkisinin araştırılmasına yönelik tez çalışması kapsamında normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) kullanılarak hazırlanan 216 numunenin deneysel çalışma koşulları Tablo 14’de ve m³ başına gerekli malzeme miktarları Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 14. Modül oranına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) için deneysel çalışma koşulları

Atık tipi	Bağlayıcı tipi	Bağlayıcı oranı	Modül Oranı, Ms	Katı oranı (%)	Su içeriği (%)	Atık içeriği (%)	Bağlayıcı içeriği (%)	Su /Bağlayıcı Oranı	Slamp değeri (inç)
NA	LSS-S	%7	0.75	79.41	20.59	73.85	5.56	3.70	7.5
NA	LSS-S	%7	1.00	79.59	20.41	74.02	5.57	3.66	7.4
NA	LSS-S	%7	1.25	79.68	20.32	74.10	5.58	3.64	7.5
NA	LSS-S	%7	1.50	79.9	20.10	74.31	5.59	3.59	7.6
NA	LSS-S	%7	2.00	80.13	19.87	74.52	5.61	3.54	7.7
NA	OPC	%7		76.47	23.53	71.12	5.35	4.40	7.5
DA	LSS-S	%7	0.75	81.63	18.37	75.92	5.71	3.21	7.7
DA	LSS-S	%7	1.00	82.79	17.21	76.99	5.80	2.97	7.5
DA	LSS-S	%7	1.25	82.9	17.10	77.10	5.80	2.95	7.6
DA	LSS-S	%7	1.50	83.06	16.94	77.25	5.81	2.91	7.7
DA	LSS-S	%7	2.00	82.83	17.17	77.03	5.80	2.96	7.6
DA	OPC	%7		82.02	17.98	76.28	5.74	3.13	7.6

Tablo 15. Modül oranına oranına yönelik normal atık (NA) ve deslimered atık (DA) ile hazırlanan 1 m³ macun dolgu karışımı için gerekli malzeme miktarları

Atık tipi	Bağlayıcı tipi	Bağlayıcı oranı	Modül Oranı, Ms	Katı oranı (%)	Bağlayıcı miktarı (kg/m ³)	LSS miktarı kg/m ³	NaOH miktarı kg/m ³	cüruf miktarı (kg/m ³)
NA	LSS-S	%7	0.75	79.41	134.43	31.61	7.52	116.43
NA	LSS-S	%7	1.00	79.59	135.16	41.76	5.97	115.36
NA	LSS-S	%7	1.25	79.68	135.51	51.58	4.43	114.00
NA	LSS-S	%7	1.50	79.9	136.96	61.67	2.95	113.58
NA	LSS-S	%7	2.00	80.13	139.52	81.46	0.03	112.51
NA	OPC	%7		76.47	127.46			
DA	LSS-S	%7	0.75	81.63	152.07	35.76	8.51	131.72
DA	LSS-S	%7	1.00	82.79	158.00	48.82	6.98	134.85
DA	LSS-S	%7	1.25	82.9	158.89	60.48	5.20	133.66
DA	LSS-S	%7	1.50	83.06	159.80	71.96	3.45	132.52
DA	LSS-S	%7	2.00	82.83	159.04	92.85	0.04	128.25
DA	OPC	%7		82.02	154.79			

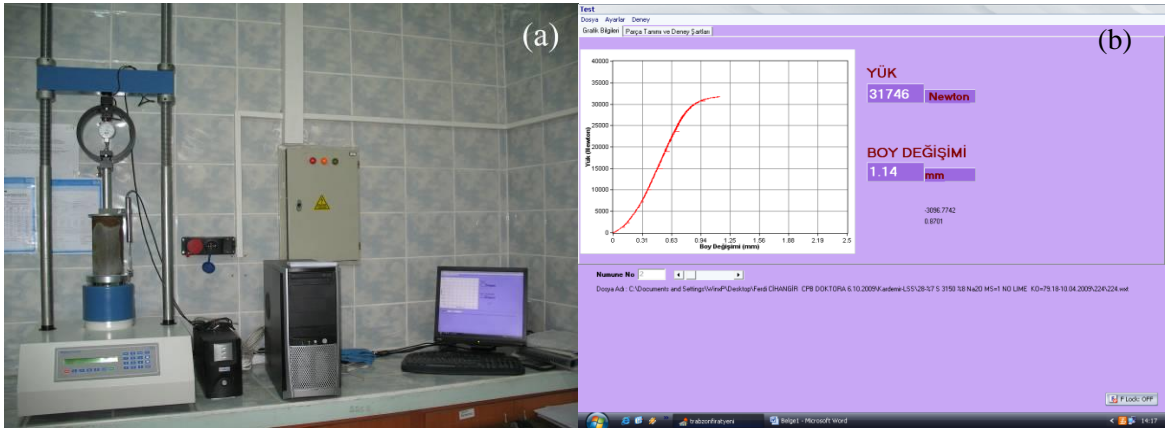
Numuneler sıcaklık ve nem kontrollü kür dolabında $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ kürlenme işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 9). Dayanım kriteri olarak 28 gün sonunda 1 MPa eşik değeri olarak alınmıştır.



Şekil 9. Macun dolgu numunelerinin kür dolabında kür işlemine tabi tutulması

2.6. Dayanım Testleri

Farklı karışım özelliklerinde hazırlanan macun dolgu numuneleri 14-28-56-112-224-360 günlük kür süreleri sonunda ASTM C 39 (2002) standardına göre tek eksenli basınç testine tabi tutulmuştur (Şekil 10). Örneklerin alt ve üst yüzeyleri testler öncesinde düzeltilmiş ve her bir kür süresi için üç adet örnek test edilmiştir. Çalışmalarda dayanım kriteri olarak macun dolgu numunelerinin 28 günlük kür süresi sonunda 1 MPa dayanım elde etmesi ve bu dayanımını 360 günlük kür süresi boyunca koruması dikkate alınmıştır.



Şekil 10. Macun dolgu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı testi

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Bağlayıcı Tipi ve Oranının Macun Dolguya Etkisi

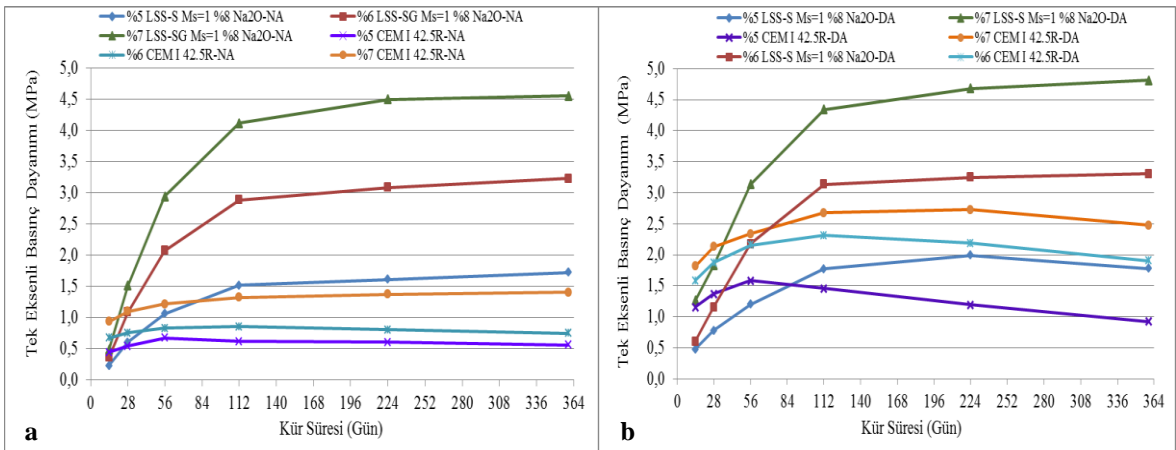
3.1.1. Dayanım Özelliklerine Etkisi

34 farklı bileşime ait macun dolgu malzemelerinden ilgili mekanik testler her bir kür süresi sonunda, yükleme kapasitesi 50 kN olan bilgisayar kontrollü tek eksenli basınç ve deformasyon ölçer ünitesinde 0.5 mm/dk yükleme hızında ASTM C 39 (2002) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Normal atık malzeme (NA) ve Portland çimentosu (CEM-I 42.5) kullanılarak %5-6 çimento oranında hazırlanan numuneler 28 günlük kür süresi sonunda istenen dayanımı (≥ 1.0 MPa) üretememiş ve 56 günden sonra %9.5-17.6 oranında dayanım kaybı olduğu görülmektedir (Şekil 11a). Dayanım kaybının %5 ve %6 bağlayıcı oranları için sırasıyla %16.4 ve %9.6 olduğu ve bağlayıcı oranının azalmasıyla dayanım kaybının arttığı görülmüştür. Buna karşın %7 çimento oranında hazırlanan numuneler hem istenen dayanımı üretmiş (28 ve 360 günde ≥ 1.0 MPa) hem de uzun dönemde dayanım kaybına uğramamıştır. Şlamı uzaklaştırılmış atık (DA) ve CEM-I 42.5 kullanılarak %5-6 çimento oranında hazırlanan numuneler 28 günde istenilen dayanımı üretmesine karşın 56 ve 112 günden sonra dayanım kaybına uğramıştır (Şekil 11b).

%5 çimento oranında hazırlanan numuneler 28 günde 1.37 MPa dayanım üretmiş ve 224 güne kadar ≥ 1.0 MPa'ın üzerinde dayanıma sahip olmuştur. Ancak 360 günde dayanımı 0.92 MPa'a düştüğünden %5 çimento oranının şlamı uzaklaştırılmış atıklar (DA) ve CEM-I 42.5 çimento kullanılarak hazırlanan numuneler için uygun olmadığı anlaşılmıştır. %6 çimento oranında hazırlanan numuneler ise 28 günde 1.87 MPa dayanım üretmiş, 112 günlük kür süresinden sonra dayanımı %17.7 azalmasına karşın 360 günlük kür süresi sonunda 1.90 MPa dayanım üreterek istenen kriteri (28 ve 360 günlük kür süresi sonunda ≥ 1.0 MPa dayanım kazanımı) sağlamıştır. %7 çimento içeriğinde hazırlanan numuneler ise 28 – 360 günlük kür süresi aralığında ≥ 2.13 MPa dayanım üretmiştir. Ayrıca aynı bağlayıcı tipi (CEM-I 42.5) ve oranında şlamı uzaklaştırılmış atık malzeme (DA) kullanılarak hazırlanan numuneler NA ile hazırlanan numunelere kıyasla bütün kür sürelerinde yaklaşık 1.64-2.69 kat daha yüksek dayanım üretmiştir (Şekil 11a,b). Bunun

nedeninin aynı bağlayıcı oranında DA içeren numunelerin NA içeren numunelere kıyasla %18.5-24.5 oranında daha fazla bağlayıcı içermesi ve mikroyapının iyileşmesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Sıvı sodyum silikat (LSS) ile 1.0 modül oranı ($M_s=1$) ve %8 Na_2O dozajında normal atık (NA) ve şlamı uzaklaştırılmış atık (DA) kullanılarak hazırlanan numuneler (%6 ve %7 bağlayıcı oranında) 28 günde ≥ 1.0 MPa dayanım değerlerini üretmiş ve uzun dönemde dayanım kaybına uğramamıştır (Şekil 11a,b). Ancak %5 çimento oranında hem NA hem de DA kullanılarak hazırlanan numuneler 28 günde istenen dayanımı üretememiştir. LSS içeren numunelerin CEM-I 42.5 bağlayıcı içeren numunelere kıyasla özellikle erken kür sürelerinde (14 ve 28 gün) daha düşük, uzun dönemde ise daha yüksek dayanım ürettiği ve NA ile hazırlanan numunelerde dayanım artışının daha belirgin olduğu (1.10-4.30 kat NA; 1.05-1.94 kat DA için) belirlenmiştir. LSS ve DA kullanılarak hazırlanan numuneler NA ile hazırlanan numunelere kıyasla 14. Günde 1.69-2.57 kat daha yüksek dayanım üretmesine karşın, 28-360 günlük kür süresi aralığında 1.02-1.26 kat daha yüksek dayanım üretmişlerdir (Şekil 11a,b). CEM I 42.5 kullanımının aksine LSS kullanılarak 1.0 modül oranı ($M_s=1$) ve %8 Na_2O aktivatör dozajında hazırlanan numunelerde dayanım kazanımı açısından şlam uzaklaştırma işleminin özellikle uzun dönemde etkisinin düşük kaldığı anlaşılmıştır.

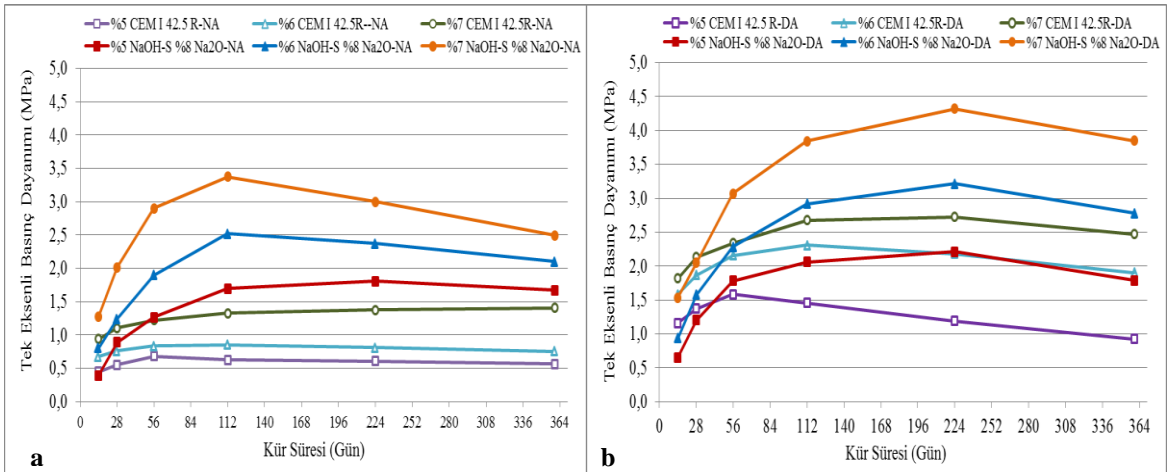


Şekil 11. Sodyum silikat içeren (LSS) numunelerin dayanım test sonuçları

Bağlayıcı olarak NaOH kullanılarak şlamı uzaklaştırılmış numunelerin %5-6-7 bağlayıcı oranında, normal atıkların ise %6-7 oranında 28 ve 360 günlük kür süresi sonunda istenen dayanımı (≥ 1.0 MPa) ürettiği görülmüştür. NaOH içeren bütün numuneler

112 ya da 224 günlük kür süresinden sonra dayanım kaybına uğramışlardır (Şekil 12a,b). Şlamı uzaklaştırılmış atıklar (DA) normal atıklara kıyasla bütün kür sürelerinde 1.07-1.69 kat daha yüksek dayanım üretmiştir. Sadece CEM I 42.5 ile hazırlanan numunelerle kıyaslandığında, DA ile hazırlanan numuneler 14 ve 28 günde daha düşük dayanım üretmiş, 56-360 günlük kür süresi aralığında ise 1.05-1.94 kat daha yüksek dayanım üretmiştir. NA ile hazırlanan numuneler ise %5 NA hariç bütün kür sürelerinde CEM I 42.5 ile hazırlanan numunelere kıyasla 1.18-2.98 kat daha yüksek dayanım üretmiştir.

Aynı bağlayıcı oranında LSS ve NaOH ile hazırlanan numunelerin dayanımı kıyaslandığında bağlayıcı oranının önemli olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin; düşük bağlayıcı oranında (%5) NaOH ile hazırlanan numuneler genel olarak LSS'ye kıyasla bütün kür sürelerinde daha yüksek dayanım üretmesine karşın, %6 ve %7 oranlarında sadece 14 ve 28 günlük kür sürelerinde daha yüksek dayanım üretmiş, 56-360 günlük kür sürelerinde ise yakın ya da daha düşük dayanım üretmiştir (Şekil 12a,b).

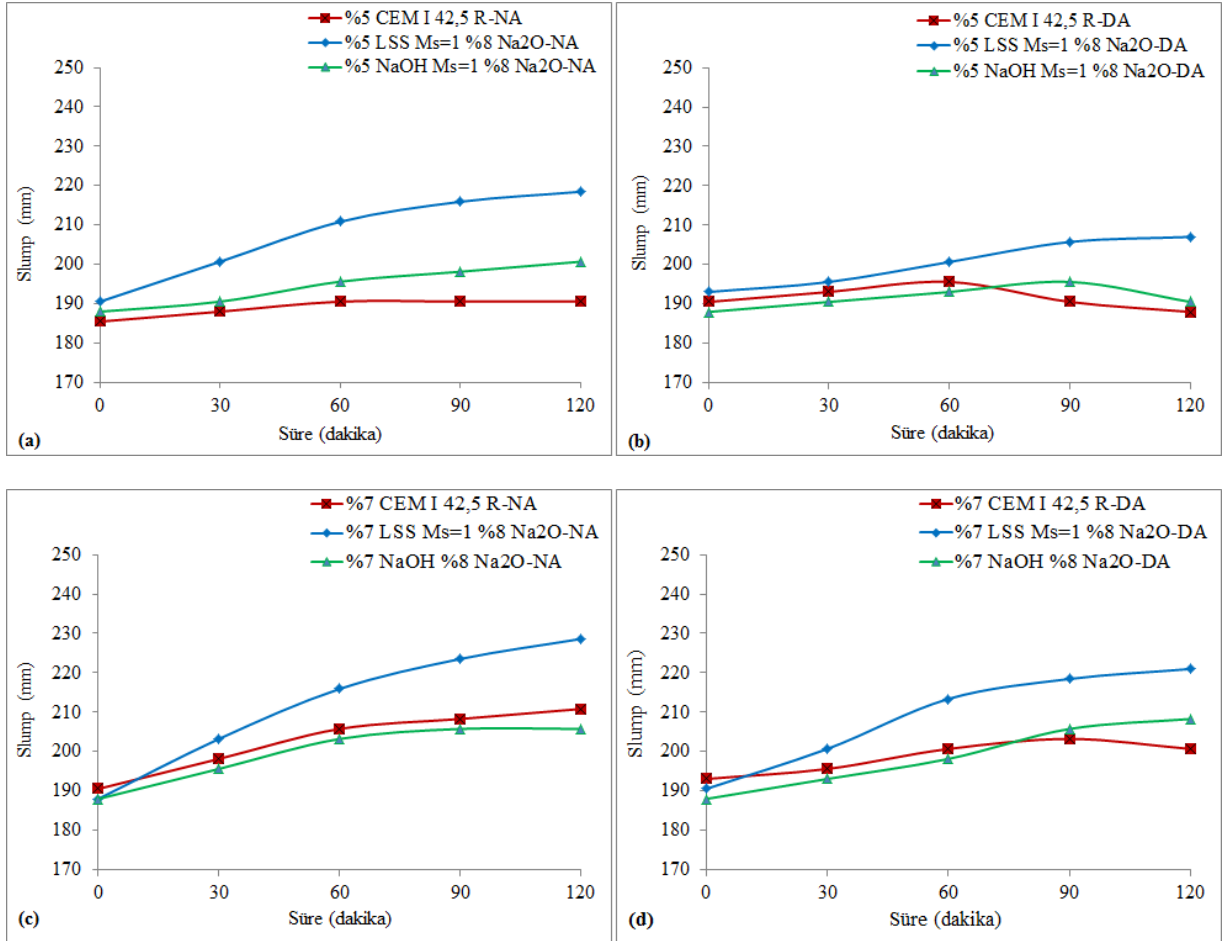


Şekil 12. Bağlayıcı oranının sodyum hidroksit içeren (SH-NaOH) numunelerin dayanım test sonuçları

3.1.2. İşlenebilirlik Özelliklerine Etkisi

NA ve DA ile %5 ve %7 bağlayıcı oranlarında hazırlanan taze macun dolgu malzemelerinin ilk iki saat boyunca slump seviyeleri Şekil 13'te verilmiştir. Bağlayıcı oranının artırılması durumunda, daha yoğun miktarda jel oluşumundan dolayı bütün numunelerin işlenebilirlik derecelerinin arttığı görülmüştür. LSS-S içeren numunelerde 2 saat boyunca herhangi bir işlenebilirlik kaybı yaşanmamıştır. %5 bağlayıcı oranında CEM

I 42.5-DA ile hazırlanan macun dolgu numunelerinde işlenebilirlik seviyesi 2 saat sonunda %1.33'lük kayıpla başlangıç seviyesinin altına inmiştir (Şekil 13b). NaOH-S-DA ile hazırlanan numunelerde de işlenebilirlik kaybı olmuş, fakat başlangıç seviyesinin üzerinde kalmıştır (Şekil 13b). %7 bağlayıcı oranında ise sadece CEM I 42.5-DA numunelerinde çok az oranda işlenebilirlik kaybı görülmüştür (Şekil 13d). Ancak kıvam seviyeleri, başlangıç kıvam seviyesinin üzerinde kalmıştır.



Şekil 13. %5 ve %7 bağlayıcı oranlarında macun dolgu numunelerinin işlenebilirlik özellikleri

Cihangir vd. (2011), dolgu malzemesinin yeraltında doldurulacağı boşluğa, bu bölgenin dolgu tesisine olan uzaklığına bağlı olarak 6 ila 15 dakika arasında ulaştığını belirtmiştir. Taşınma esnasında macun dolgu malzemesinin kıvamında herhangi bir değişiklik olmaması ve başlangıç kıvamını koruması; pompa basıncı ve enerji maliyetlerinin yanında, borularda tıkanma ve aşırı sürtünmeden dolayı aşınma problemlerinin engellenmesi ve tamir-bakım maliyetleri açısından önem arz etmektedir

(Hewitt vd., 2009). Dolayısıyla, bu seviyelerdeki işlenebilirlik kayıplarının macun dolgunun yeraltına nakliyesinde herhangi bir problem oluşturmayacağı görülmektedir. Bununla birlikte AAS içeren bağlayıcıların macun dolguda bağlayıcı olarak kullanılması durumunda macun dolgu malzemelerinin taşınması ve yeraltındaki üretim boşluklarına yerleştirilmelerinin normal çimentoya göre biraz daha kolay olabileceği gözlenmektedir.

Cihangir 2011, aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu içeren bağlayıcılarda hidrasyon esnasında, çimentodan farklı olarak, cüruf taneciklerinin başlangıçta çözünerek öncelikle jelimsi bir yapı oluştuğunu, asıl sertleşme işleminin ise çözünme işlemi tamamlandıktan sonra başladığını belirtmiştir. Macun dolguda çimento ve AAS içeren bağlayıcıların işlenebilirliklerinin normal taze beton/harç malzemesi örneklerine göre farklı davranış sergilemesinin; *i*) macun dolguda su/bağlayıcı oranının normal beton örneklerine göre daha yüksek olması; *ii*) suyun macun dolgu bünyesinde çok uzun süreler boyunca tutulması ve *iii*) aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentoların sulu ortamlarda (macun dolgu için) farklı hidrasyon mekanizmasına sahip olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Beton örneklerinde aynı kimyasal aktivatörlerle (LSS, NaOH) hazırlanan taze beton/harç numunelerinden, macun dolguda elde edilen sonuçlara zıt sonuçlar elde edilmiştir (Collins ve Sanjayan, 1999; Atiş vd., 2009). Belirtilen çalışmalarda LSS ve NaOH içeren aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu çimentolarla hazırlanan taze beton örneklerinde ilk 1 saat içerisinde önemli derecede işlenebilirlik kayıpları (slamp kaybı) görülmüştür.

İşlenebilirlik değerlerinin beton ve macun dolgu sistemlerinde farklı özellik sergilemesinin, bu iki sistemin birbirinden farklı olmasından ve sistemlerin farklı çalışmasından kaynaklandığı söylenebilir (Benzaazoua vd., 2004).

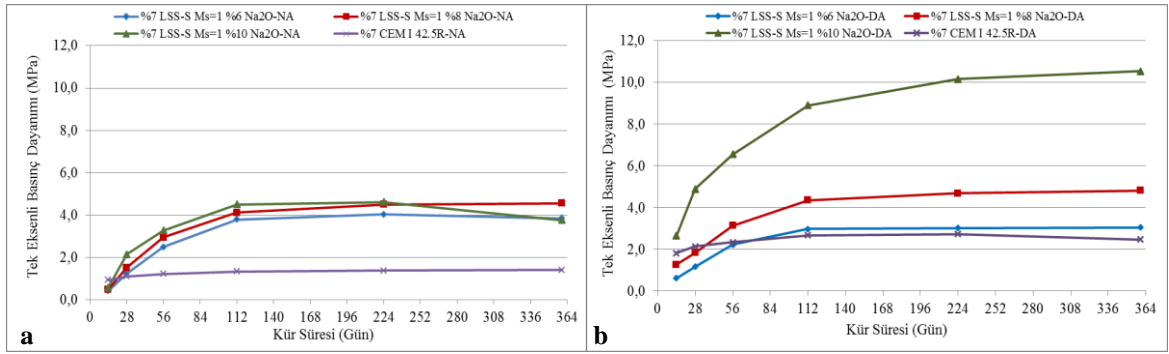
3.2. Aktivatör Kimyası ve Dozajının Macun Dolguya Etkisi

3.2.1. Dayanım Özelliklerine Etkisi

%7 LSS bağlayıcı oranında ve farklı aktivatör dozajlarında (%6-8 ve %10 Na₂O) hazırlanan numunelere ait dayanım, deformasyon, asit ve sülfat analiz sonuçları normal (NA) ve şlamı uzaklaştırılmış atıklar (DA) için Şekil 14'te verilmiştir. Genel olarak aktivatör dozajının artmasıyla birlikte dayanım kazanımı artmış, numunelerin tamamı 28 ve 360 günlük kür süresinde istenen dayanım değerini (≥ 1.0 MPa) elde etmiştir. Ancak,

şlam uzaklaştırma işleminin %6 Na₂O dozajında hazırlanan numunelerin dayanım kazanımını olumsuz yönde etkilediği ve bütün kür sürelerinde (14. gün hariç) dayanımı düşürdüğü gözlenmiştir (Şekil 14a,b). Aktivatör dozajının artırılması özellikle şlamı uzaklaştırılmış atıklarda daha olumlu sonuçlar verdiği ve Na₂O dozajının artmasıyla 1.41-2.66 kat daha yüksek dayanım kazanımı elde edildiği gözlenmiştir. Bu oran normal atıklarla hazırlanan numunelerde ise 1.02-1.40 arasındadır. %7 LSS bağlayıcı oranı ve %10 Na₂O dozajında hazırlanan numuneler 28 günlük kür süresi sonunda 4.88 MPa, 360 günlük kür süresi sonunda ise 10.54 MPa dayanım elde etmiştir.

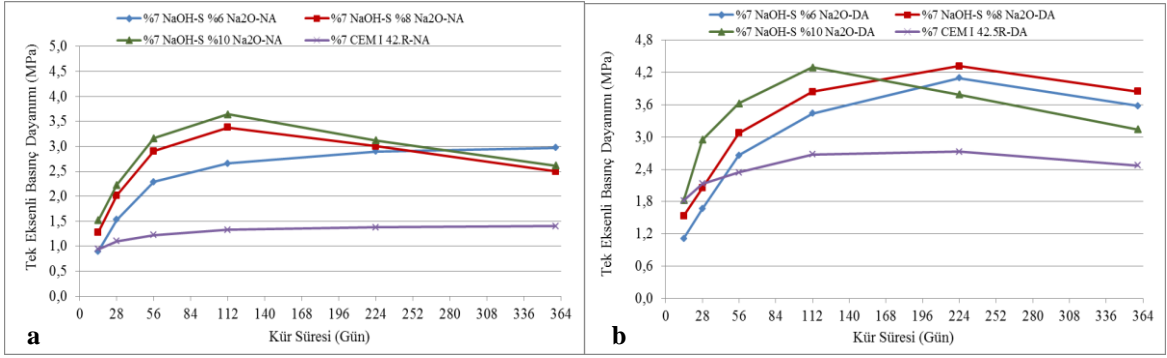
Macun dolgunun tavan tahkimatı olarak kullanılabilmesi için 28 günde en az 4.0 MPa dayanım üretmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu anlamda, şlamı uzaklaştırılmış atık (DA) ve LSS bağlayıcı tipi kullanılarak %10 Na₂O dozajında hazırlanacak macun dolgunun tavan tahkimatı amacıyla kullanılabilmesi anlaşılmıştır.



Şekil 14. LSS içeren farklı aktivatör dozajındaki numunelerin dayanım ve deformasyon özellikleri

%7 NaOH bağlayıcı oranında ve %6-8-10 Na₂O dozajında hazırlanan numunelerin dayanımları incelendiğinde, DA ile hazırlanan numuneler bütün aktivatör dozajı ve kür sürelerinde NA'ya kıyasla %2-54 oranında daha yüksek dayanım üretmiştir (Şekil 15a,b). LSS'ye benzer olarak bütün numuneler dayanım ve duraylılık açısından istenen kriteri sağlamıştır.

Erken kür sürelerinde (14 ve 28 gün) genel olarak NaOH ile aktifleştirilmiş cüruf içeren numunelerin LSS'ye kıyasla daha yüksek dayanım ürettiği, ancak, uzun dönemde (%6 Na₂O DA ile hazırlanan numuneler hariç) ise LSS ile aktifleştirilmiş cüruf içeren numunelerin daha yüksek dayanım ürettiği gözlenmiştir.

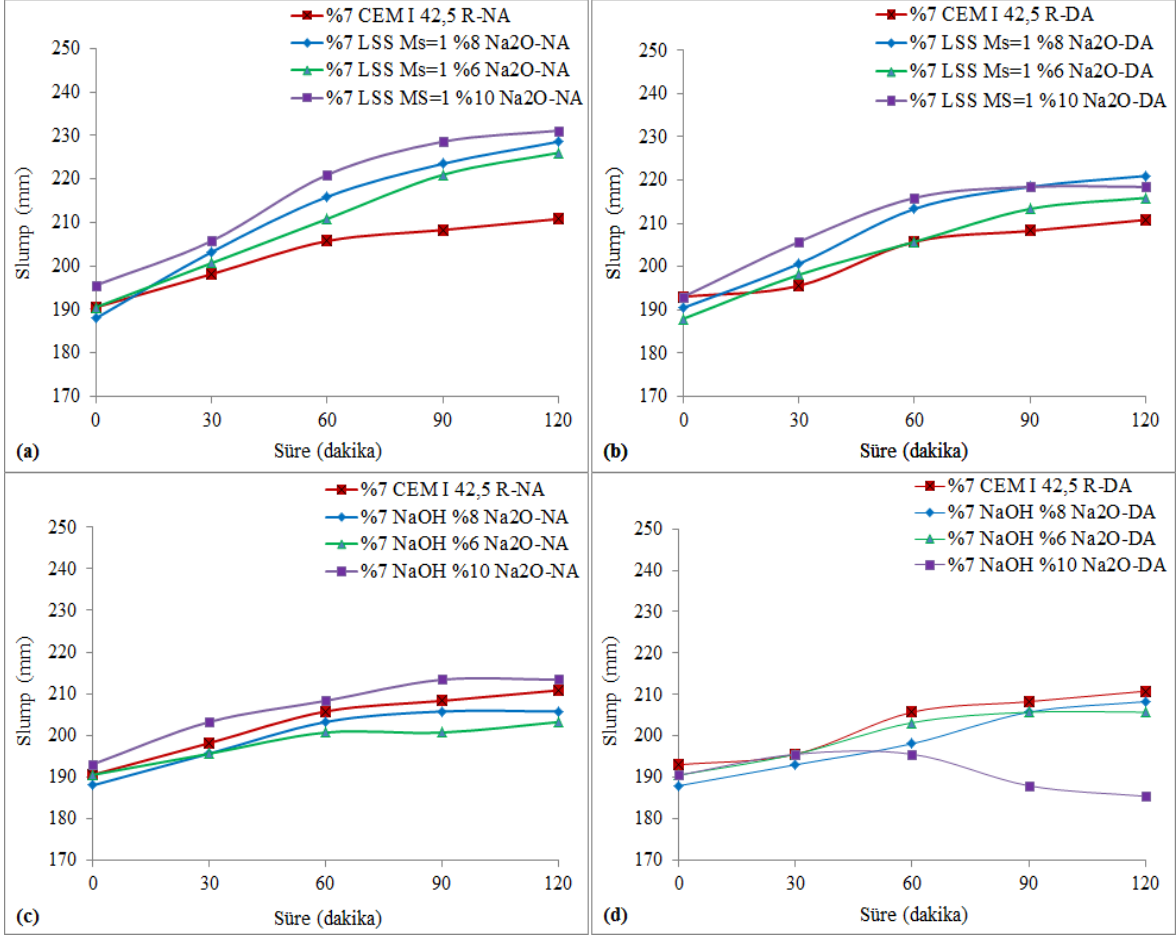


Şekil 15. NaOH içeren farklı aktivator dozajındaki numunelerin dayanım ve deformasyon özellikleri

3.2.2. İşlenebilirlik Özelliklerine Etkisi

Şekil 16'da LSS-S ve NaOH-S ile NA ve DA kullanılarak %6-8-10 Na₂O aktivator dozajları için macun dolgu karışımlarının işlenebilirlik özellikleri verilmiştir. LSS ve CEM I 42.5 çimento örnekleri için Gerek NA gerekse DA örneklerinin başlangıç slump değerlerinin üzerinde bir işlenebilirliğe sahip olduğu ve işlenebilirlik derecelerini artırdığı yani viskozitelerini düşürdüğü görülmüştür. Aktivator dozajını artmasına bağlı olarak da yine işlenebilirlik derecelerini LSS-S örneklerinde arttığı görülmektedir. DA örneklerinin işlenebilirlik seviyeleri NA örneklerine göre az da olsa düşük elde edilmiştir. LSS örnekleri gelen olarak CEM I 42.5 çimento örneklerinden bütün aktivator dozajları için daha iyi işlenebilirlik sonuçları üretmiştir.

LSS örneklerinde aktivator dozajının artmasına bağlı olarak 1 m³ dolgu karışımında cüruף miktarı NA ve DA için sırasıyla %1,63 ve %6.05 oranında azalmıştır. Buna karşılık LSS miktarları NA için %6 aktivator dozajına kıyasla %8 ve %10 aktivator dozajlarında sırasıyla %33.16 ve %63.97 ve DA için %32.41 ve %60.46 oranlarında artmıştır. Dolayısıyla, macun dolgu karışımlarında LSS miktarının artmasının malzemenin akışkanlığını artırdığı görülmektedir (Şekil 16a,b).



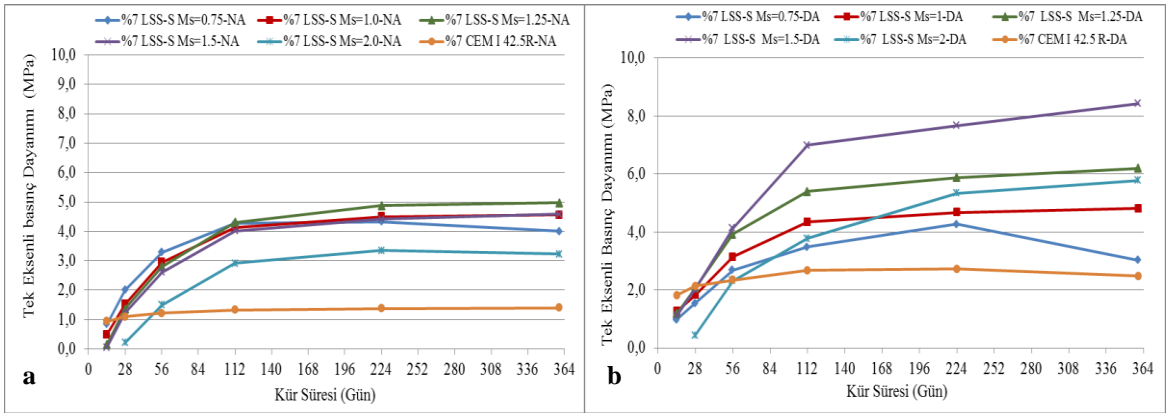
Şekil 16. Aktivatör dozajları için macun dolgu karışımlarının işlenebilirlik özellikleri

NaOH örneklerinde de aktivatör dozajının artmasına bağlı olarak NA karışımlarında işlenebilirlik seviyelerinin arttığı görülmektedir. Sadece NaOH örneklerinde %10 Na₂O dozajı için 2 saat sonunda %2.67 lik bir işlenebilirlik kaybı olduğu görülmüştür. NA örneklerinde bu durumun aksine en iyi işlenebilirlik seviyesi NaOH örnekleri için %10 Na₂O aktivatör dozajında elde edilmiştir. NaOH örneklerinin işlenebilirlik seviyeleri sadece NA için %10 Na₂O dozajında CEM I 42.5 çimento örneklerinden yüksek elde edilirken, DA örneklerinde ise normal çimento karışımlarının altında elde edilmiştir. NaOH örneklerinde aktivatör dozajının artmasına bağlı olarak 1 m³ dolgu karışımında NaOH miktarı NA için %6 aktivatör dozajına kıyasla %8 ve %10 aktivatör dozajlarında sırasıyla %29.94 ve % 64.65 ve DA için %34.92 ve %66.01 oranlarında artmıştır. Dolayısıyla atık malzemelerin fiziksel özellikleri ile bağlayıcı bileşiminin ikili etkileşiminin, dolgu işlenebilirliği üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmektedir (Şekil 16c,d).

3.3 LSS Modül Oranının Macun Dolguya Etkisi

3.3.1 Dayanım Özelliklerine Etkisi

Modül oranının ($M_s = \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) macun dolgu performansına etkisi normal (NA) ve şlamı uzaklaştırılmış atıklar (DA) kullanılarak sadece sıvı sodyum silikat (LSS – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$) için değerlendirilmiştir. Aynı bağlayıcı (%7) ve Na_2O (%8) oranlarında M_s oranları 0.75, 1.0, 1.25, 1.50 ve 2.00 olan macun dolgu numunelerinin kısa ve uzun dönem dayanım ve deformasyon özelliklerini göstermektedir. CEM I 42.5 tipi bağlayıcı ile hazırlanan numunelerle kıyaslandığında, NA ve DA kullanılarak LSS ile hazırlanan numuneler özellikle 56-360 günlük kür süresi aralığında yaklaşık 1.5-3.5 kat daha yüksek dayanım üretmiştir. CEM I 42.5 ile hazırlanan numunelerde dayanım artışı 28- 360 gün kür süresi aralığında yaklaşık %27 iken, bu oran LSS ile hazırlanan numunelerde %300'e ulaşmıştır (Şekil 17a,b).



Şekil 17. LSS içeren farklı modül oranlarındaki numunelerin dayanım özellikleri

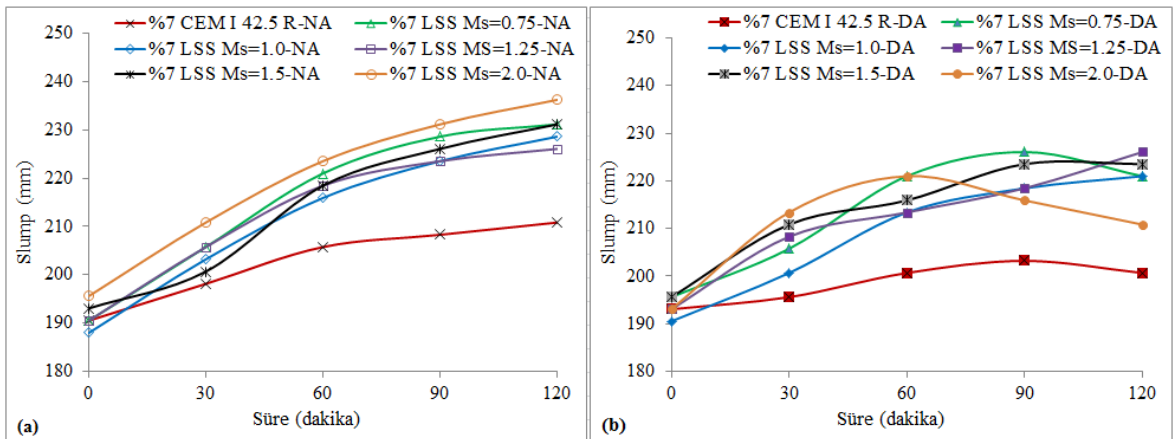
28 ve 360 günlük dayanım kriteri (≥ 1.0 MPa) açısından bakıldığında, şlamı uzaklaştırılmış atık (DA) ve normal atık (NA) kullanılarak hazırlanan numunelerin tamamı (modül oranı $M_s=2.0$ olan numuneler hariç) istenen dayanımı üretmiştir. Modül oranı $M_s=2.0$ olan numuneler 112-360 günlük kür sürelerinde >3.0 MPa dayanım üretmesine karşın, 28 günde 1.0 MPa dayanım üretememiştir. En yüksek dayanımı $M_s=1.5$ olan ve DA kullanılarak hazırlanan numunelerin ürettiği ve genel olarak modül oranının artmasıyla

($M_s=2.0$ hariç) dayanım kazanımının arttığı görülmüştür. NA ile hazırlanan numunelerde ise en düşük dayanımı $M_s=2$ oranında hazırlanan numuneler üretmiş, diğer modül oranlarında ise benzer dayanımlar elde edilmiştir (Şekil 17a,b). Elde edilen dayanım sonuçlarından modül oranındaki değişimin özellikle şlamı uzaklaştırılmış atıklarda daha fazla etkili olduğu, buna karşın normal atıklarla hazırlanan numunelerde etkisinin düşük olduğu anlaşılmıştır.

3.3.2. İşlenebilirlik Özelliklerine Etkisi

Şekil 18’de LSS-S %8 Na_2O aktivatör dozajında ve değişen modül oranları için NA ve DA karışım örneklerinin 2 saatlik zaman diliminde akışkanlık seviyesindeki değişimleri verilmiştir.

NA örneklerinin işlenebilirlik seviyeleri DA örneklerine kıyasla daha yüksek iken, DA karışımları modül oranının artmasıyla birlikte artan katı oranından dolayı işlenebilirlik seviyelerinde az da olsa düşmeye neden olmuştur. NA örneklerinin hiç birinde 2 saat sonunda herhangi bir işlenebilirlik kaybı meydana gelmemiştir. Bu karşın DA örneklerinde 0.75 ve 2.0 modül oranlarında sırasıyla 1.5 ve 2.0 saat sonunda işlenebilirlik kayıpları görülmüştür. Ancak işlenebilirlik seviyeleri başlangıç seviyesinin üzerinde kalmıştır. Bu durumun atık özelliklerine (bünrede su tutma ve kendiliğinden çökme) bağlı olarak C-S-H jellerinin hidrate olmaya ve sertleşmeye başlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 18. LSS-S modül oranları için macun dolgu karışımlarının işlenebilirlik özellikleri

Bu iki karışımda zamanla meydana gelen işlenebilirlik kaybı dikkate alınmadığında, genel olarak artan modül oranlarında macun dolgu karışımlarının işlenebilirlik seviyelerinin arttığı görülmüştür. Modül oranının artması ile birlikte değişen dizayn için karışım bünyesine daha fazla miktarda LSS girmektedir. Buradan LSS'nin macun dolguda yüksek su içeriğinden dolayı akışkanlaştırıcılık özelliği gösterdiğini söyleyebiliriz.

Genel olarak değerlendirildiğinde DA numunelerinin işlenebilirlik seviyelerinin NA karışımlarına kıyasla düşük seviyede çıktığı görülmüştür. Bu durumun DA numunelerinde katı oranının artmasının yanında, NA karışımlarına kıyasla daha düşük su/çimento oranlarının olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR

Macun dolguda bağlayıcı olarak normal Portland çimentosu (CEM I 42.5) yerine alkali (sıvı sodyum silikat, LSS; sodyum hidroksit, NaOH) ile aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufu kullanımının ve atık inceliğindeki değişimin (normal atık, NA; şlamı uzaklaştırılmış atık, DA) dolgunun dayanım, duraylılık ve işlenebilirlik özelliklerine etkisine yönelik yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

Aynı bağlayıcı tipi (CEM I 42.5) ve dozajında şlamı uzaklaştırılmış atık malzeme (DA) kullanılarak hazırlanan numuneler NA ile hazırlanan numunelere kıyasla bütün kür sürelerinde yaklaşık %22-90 daha yüksek dayanım üretmiştir. NA için 28 günde 1.0 MPa'lık dayanım değeri sadece %7 bağlayıcı oranında sağlanırken, DA örneklerinin %5 bağlayıcı oranında bu eşik dayanım değerini sağladığı görülmüştür.

Sıvı sodyum silikat (LSS) ile $M_s=1.0$ modül oranı ve %8 Na_2O dozajında NA ve DA kullanılarak %5-7 bağlayıcı oranında hazırlanan numunelerin, CEM I 42.5 bağlayıcı içeren numunelere kıyasla erken kür sürelerinde (14 ve 28 gün) daha düşük, uzun dönemde ise daha yüksek dayanım ürettiği ve NA ile hazırlanan numunelerde dayanım artışının daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Dayanım ve duraylılık açısından her iki atık tipi (NA ve DA) için en uygun bağlayıcı oranının %6 olduğu belirlenmiştir.

NaOH içeren numunelerin istenen dayanım ve duraylılığı DA için %5 bağlayıcı oranında, NA için ise %6 bağlayıcı oranında sağladığı görülmüştür. Hem LSS hem de NaOH içeren numuneler CEM I 42.5'e kıyasla aynı bağlayıcı oranında erken kür sürelerinde daha düşük, uzun dönemde daha yüksek dayanım üretmiştir.

LSS ve NaOH ile hazırlanan numunelerde aktivatör dozajının artmasıyla birlikte genel olarak dayanım kazanımı artmıştır. %7 LSS bağlayıcı oranı ve %10 Na_2O dozajında DA ile hazırlanan numuneler 28 ve 360 günlük kür süresi sonunda sırasıyla 4.88 MPa ve 10.54 MPa dayanım elde etmiş olup, bu özellikteki macun dolgunun tavan tahkimatı amacıyla kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Modül oranının artmasıyla ($M_s=2$ hariç) dayanım kazanımının arttığı, en yüksek dayanım kazanımını $M_s=1.5$ olan numunelerin sağladığı, modül oranındaki değişimin özellikle şlamı uzaklaştırılmış atıklarda daha etkili olduğu, buna karşın, normal atıklarla hazırlanan numunelerde etkisinin düşük olduğu anlaşılmıştır.

Macun dolguda bağlayıcı dizaynına bağlı olarak düşük katı oranlarında ve artan bağlayıcı oranlarında işlenebilirlik derecesinin arttığı görülmüştür. Alkali aktive bağlayıcı kullanımı macun dolgunun işlenebilirlik derecesini CEM I 42.5'e kıyasla genel olarak (bazı NaOH dizaynları haricinde) iyileştirmiştir. LSS ilavesinin artması ile birlikte işlenebilirlik seviyelerinin de arttığı gözlenmiştir.

5. ÖNERİLER

Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen bu çalışmadan elde edilen sonuçların, yeraltı kür koşullarında nasıl bir davranış (dayanım, duraylılık vb.) göstereceğinin yapılacak saha çalışmaları ile araştırılması, proje çalışmasının endüstriye aktarılabilmesi açısından gereklidir.

Ayrıca ülkemizdeki zengin puzolan kaynaklarının da aktifleştirilerek alkali aktive bağlayıcı olarak kullanılabilirliği araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Adam, A. A., 2009. Strength and Durability Properties of Alkali Activated Slag and Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, Phd. Thesis, School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, RMIT University, Melbourne, Australia, 142 s.
- Amaratunga, L. M. ve Yaschyshyn, D. N., 1997. Development of A High Modulus Paste Fill Using Fine Gold Mill Tailings, Geotechnical and Geological Engineering, 15, 3, 205-219.
- ASTM C188-14, 2014. Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.
- ASTM C 39, 2002. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards, 04.02.
- C143/C143M-12, 2012. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.
- Atiş, C. D., Bilim, C., elik, . ve Karahan, O., 2009. Influence of Activator on The Strength and Drying Shrink age of Alkali-Activated Slag Mortar, Construction and Building Materials, 23, 1, 548-555.
- Baki, H., 2013. Atık Tane Boyutunun Sulfürlü Atıklardan Hazırlanan Macun Dolgu Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 43 s.
- Belem, T., Benzaazoua, M. ve Bussiere, B., 2000. Mechanical Behaviour of Cemented Paste Backfill, 53rd Annual Conference of the Canadian Geotechnical Society, Cilt 1, ISBN 0-920505-15-5, Montreal, Canada, 373-380.
- Benzaazoua, M., Ouellet, J., Servant, S., Newman P. ve Verburg, R., 1999. Cementitious Backfill with High Sulfur Content: Physical, Chemical, and Mineralogical Characterization, Cement and Concrete Research, 29, 5, 719-725.
- Benzaazoua, M. Belem, T. ve Bussiere, B., 2002. Chemical Factors That Influence the Performance of Mine Sulphidic Paste Backfill, Cement and Concrete Research, 32, 7, 1133-1144.
- Benzaazoua, M., Fall, M. ve Belem, T., 2004. A Contributing to Understanding the Hardening Process of Cemented Pastefill, Minerals Engineering, 17, 2, 141-152.

- Bondar, D., Lynsdale, C.J., Milestone, N.B., Hassani, N. ve Ramezaniyan pour, A. A., 2011, Effect of Type, Form, and Dosage of Activators on Strength of Alkali-Activated Natural Pozzolans, Cement and Concrete Research, 33, 2, 251-260.
- Brackebusch, F. W., 1994. Basics of Paste Backfill Systems, *Mining Engineering*, 46, 1, 1175-1178.
- Cao, H. T., Bucea, L., Ray, A. ve Yozghatlian, S., 1997. The Effect of Cement Composition and pH of Environment on Sulfate Resistance of Portland Cements and Blended Cements, Cement and Concrete Composites, 19, 2, 161-171.
- Cihangir, F., 2011. Aktifleştirilmiş Yüksek Fırın Cürüflü Yeni Nesil Bağlayıcıların Sülfürlü Atık İçeren Macun Dolguda Çimentoya Alternatif Olarak Kullanılabilirliği ve Mikroyapı Özellikleri, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 207 s.
- Cihangir F., Erçikdi B., Kesimal A., Turan A., Deveci H., Utilisation of alkali-activated blast furnace slag in paste backfill of high-sulphide mill tailings: Effect of binder type and dosage. *Minerals Engineering*, (DOI: 10.1016/j.mineng.2012.01.009), (2012).
- Clark, C. C., Vickery, J. D. ve Backer, R. R., 1995. Transport of Total Tailings Paste Backfill: Results of Full-Scale Pipe Test Loop Pumping Tests, United States Bureau of Mines, RI 9573, USA.
- Clayton, S., Grice, T. ve Boger, D. V., 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.
- Collins F., Sanjayan J.G., Effect of Pore Size Distribution on Drying Shrinkage of Alkali-Activated Slag Concrete, *Cement and Concrete Research*, 30, 1401- 1406, (1998).
- Collins F., Sanjayan J.G., 1999. Strength and Shrinkage Properties of Alkali-Activated Slag Concrete Placed into a Large Column, *Cement and Concrete Research*, 29, 659-666.
- Davidovits, J., 1979, Synthesis of New High Temperature Geo-Polymers for Reinforced Plastics/Composites, SPE PACTEC 79 Society of Plastic Engineers, Brookfield Center, 151-154.
- DIN 4030-1, 2008. Assessment of Water, Soil and Gases, for Their Aggressiveness to Concrete-Part 1: Principles and Limiting Values, German Standards.
- Drechsler, M., 2006. Geopolymers: A new technology for sustainability in mining, construction and hazardous waste industries, *Stabilizing Mines, PB Network 62*, Adelaide, South Australia (http://www.pbworld.com/news_events/publications/network/).

- Ehrenberg, A., 2005. Environmental Aspects of Slag Use, Granulated Blast Furnace Slag: Its Advantages with Respect to CO₂ Emissions and Energy Consumption, *Cement and Concrete World*, ISSN 1301-0859, 10-56, 36-51.
- Erçikdi, B., Yılmaz, E. ve Kesimal, A., 2003. Yeraltı Madencilğinde Cevher Seyrelmesi ve Buna Etki Eden Faktörler, MBGAK'2003-Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar I. Kongresi, İstanbul, 553-560.
- Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H. ve Alp, İ., 2008. Effect of Binder Type and Proportion on the Short- and Long Term Strength of Cemented Paste Backfill, First Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium (SHIRMS), Perth, Australia, September, 193-199.
- Erçikdi, B., 2009. Mineral ve Kimyasal Katkı Maddelerinin Macun Dolgu Performansına Etkisi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 129 s.
- Erçikdi, B., Kesimal, A., Cihangir, F., Deveci, H. ve Alp, İ., 2009a. Cemented Paste Backfill of Sulphide-Rich Tailings: Importance of Binder Type and Dosage, Cement and Concrete Composites, 31 (4), 268-274.
- Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H. ve Alp, İ., 2009b. Utilization of Industrial Waste Products as Pozzolanic Material in Cemented Paste Backfill of High Sulphide Mill Tailings, Journal of Hazardous Materials, 168 (2-3), 848-856.
- Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A., Deveci, H. ve Alp, İ., 2010. Effect of Natural Pozzolans as Mineral Admixture on the Performance of Cemented Paste Backfill of Sulphide-Rich Tailings, Waste Management and Research, 28 (5), 430-435.
- Erçikdi, B., Cihangir, F., Kesimal, A. ve Deveci, H., 2012. Tesis Atıklarının Yönetiminde Macun Dolgu Teknolojisi, *Madencilik Türkiye Dergisi*, (s.70-76).
- Erçikdi, B., Baki, H., İzki, M., 2013. Effect of desliming of sulphide-rich mill tailings on the long-term strength of cemented paste backfill, Journal of Environmental Management, 115, 5-13.
- Fall, M., Benzaazoua, M. ve Ouellet, S., 2005. Experimental Characterization of the Influence of Tailings Fineness and Density on the Quality of Cemented Paste Backfill, Minerals Engineering, 18, 1, 41-44.
- Fernández-Jiménez, A., Palomo, J.G. ve Puertas, F., 1999. Alkali-Activated Slag Mortars: Mechanical Strength Behaviour, Cement and Concrete Research, 29, 8, 1313-1321.
- Fernández-Jiménez, A., Palomo, A. ve Criado, M., 2005. Microstructure Development of Alkali-Activated Fly Ash Cement: A Descriptive Model, Cement and Concrete Research, 35, 6, 1204-1209.
- Gjorv, O. E., 1994. Steel Corrosion In Concrete Structures Exposed to Norwegian Marine Environment. *ACI Concrete International*, 35-39.

- Glukhovsky, V. D., 1959. Soil Silicates, Gosstro Publishers, Kiev, Ukraine.
- Glukhovsky, V.D., Krivenko, P. V., Starchuk, V. N., Pashkov, I. A. ve Chirkova, V. V., 1981. Slag Alkaline Concretes Made with Fine Aggregates, Edited by Glukhovsky, Vysscha Shkola Publisher, Kiev, USSR.
- Glukhovsky, V. D., 1981. Slag-Alkali Concretes Produced from Fine-Grained Aggregate, Vysscha Shkola Publisher, Kiev, USSR.
- Hassani, F. P., Ouellet, J. ve Hossein, M., 2001. Strength Development in Underground High Sulphate Paste Backfill Operation, *CIM Bulletin*, 94, 1050, 57–62.
- Hewitt, D, Allard, S. and Radziszewski, P, 2009. Pipe lining abrasion testing for paste backfill operations, *Minerals Engineering*, (22), (s.1088–1090).
- Higgins, D.D., 2006, Sustainable Concrete: How Can Additions Contribute? Institute of Concrete Technology, Annual Technology Symposium.
- Hossain, K. M. A. ve Lachemi, A., 2006. Performance of Volcanic Ash and Pumice Based Blended Cement Concrete in Mixed Sulfate Environment, *Cement and Concrete Research*, 36, 6, 1123-1133.
- Huynh, L., Beattie, D.A., Fornasiero, D. ve Ralston, J., 2006. Effect of Polyphosphate and Naphthalene Sulfonate Formaldehyde Condensate on the Rheological Properties of Dewatered Tailings and Cemented Paste Backfill, *Minerals Engineering*, 19, 28-36.
- Irassar, E. F, Gonzales, M. ve Rahhal, V., 2000. Sulphate Resistance of Type V Cements with Limestone Filler and Natural Pozzolana, *Cement and Concrete Research*, 22, 5, 361-368.
- Kesimal, A., Erçikdi, B. ve Yılmaz, E., 2003. The Effect of Desliming by Sedimentation on Paste Backfill Performance, *Minerals Engineering*, 16, 10, 1009-1011.
- Kesimal, A., Yılmaz, E. ve Erçikdi, B., 2004. Evaluation of Paste Backfill Test Results Obtained from Different Size Slumps with Varying Cement Contents for Sulphure Rich Mill Tailings, *Cement and Concrete Research*, 34, 10, 1817-1822.
- Kesimal, A., Yılmaz, E., Erçikdi, B., Alp, İ. ve Deveci, H., 2005. Effect of Properties of Tailings and Binder on the Short- and Long-Term Strength and Stability of Cemented Paste Backfill, *Material Letters*, 59, 28, 3703-3709.
- Krivenko, P.V., 1986. Synthesis of Binders with Required Properties in the System $R_2O-RO-R_2O_3-SiO_2-H_2O$, Doct. Tech. Sc. Degree Thesis, Polytechnic Institute, Kiev, Ukraine.
- Landriault, D. A., 1995. Paste Backfill Mix Design for Canadian Underground Hard Rock Mining, Proceedings of the 97th Annual General Meeting of the CIM Rock Mechanic and Strata Control Session, Nova Scotia-Canada, 652-663.

- Landriault, D., 2001. Backfilling in Underground Mining, in: W.A. Hustrulid (Eds.), *Underground Mining Methods Engineering Fundamentals and International Case Studies*, SME, 15 s.
- Oh, J.E., Paulo J.M., Monteiro, P.J.M., Jun, S.S., Choi, S. ve Clark, S.M., 2010. The Evolution of Strength and Crystalline Phases for Alkali-Activated Ground Blast Furnace Slag and Fly Ash-Based Geopolymers, *Cement and Concrete Research*, 40, 2, 189–196.
- Ouellet, S., Bussiere, B., Mbonimpa, M., Benzaazoua, M. ve Aubertin, M., 2006. Reactivity and Mineralogical Evolution of An Underground Mine Sulphidic Cemented Paste Backfill, *Minerals Engineering*, 19, 5, 407-419.
- Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes, J. ve Jalali, S., 2008. Alkali-Activated Binders: A Review Part 1. Historical Background, Terminology, Reaction Mechanism sand Hydration Products, *Construction and Building Materials*, 22, 7, 1305-1314.
- Paterson, A. J. C, 2011. (Editors: Richard Jewell, Andy Fourie). The pipeline transport of high density slurries-A historical review of past mistakes, lessons learned and current Technologies, Paste 2011, Proceedings of the 14th International seminar on paste and thickened tailings, Perth, Australia, (s.351-367),.
- Puertas, F., Martinez-Ramirez, S., Alonso, S. ve Vazquez T., 2000. Alkali-Activated Fly Ash/Slag Cement: Strength Behaviour and Hydration Products, *Cement and Concrete Research*, 30, 10, 1625-1632.
- Ravikumar, D., Peethamparan, S. ve Neithalath, N. 2010. Structure and Strength of NaOH Activated Concretes Containing Fly Ash or GGBFS as the Sole Binder, *Cement and Concrete Composites*, 32,6, 399–410.
- Rui Miguel, F., 2000. Tests for Evaluation of Concrete Durability, Master Thesis, University of Minho, [only in Portuguese].
- Shi, C., ve Li, Y., 1989. Investigation on Some Factors Affecting the Characteristics of Alkali-Phosphorus Slag Cement, *Cement and Concrete Research*, 19, 4, 527-533.
- Shi, C. ve Day, R. L., 1995. A Calorimetric Study of Early Hydration of Alkali-Slag Cements, *Cement and Concrete Research*, 25, 6, 1333–1346.
- Shi, C., Krivenko, P. V. ve Roy, D., 2006. *Alkali-Activated Cements and Concretes*. 1st ed. USA: Taylor and Francis, ISBN 10:0-415-70004-3.
- Tariq, A. ve Nehdi, M., 2007. Developing Durable Paste Backfill from Sulphidic Tailings, *Waste and Resource Management*, 160, 4, 155-166.
- Torgal, F. P., Castro-Gomes, J. ve Jalali, S., 2008. Alkali-Activated Binders: A Review Part 1. Historical Background, Terminology, Reaction Mechanisms and Hydration Products, *Construction and Building Materials*, 22,7,1305-1314.

Torgal F. P, Moura, D, Ding, Y. and Jalali, S, 2011. Composition, strength and workability of alkali-activated metakaolin based mortars, Construction and Building Materials, 25 (8), (s.3732–3745).

URL 1: <http://en.wikipedia.org/wiki/NaOH> (Son erişim: 06 Haziran 2014)

Wang, S. D. ve Scrivener, K. L., 1995. Hydration Products of Alkali Activated Slag Cement, Cement and Concrete Research, 25,3, 561-571.

Wu, X.,Jiang, W. ve Roy, D. M., 1990. Early Activation and Properties of Slag Cement at Early Age, Cementand Concrete Research, 20, 6, 961–974.

Yılmaz, E., 2003. Sülfür İçeren Maden Atıklarından Hazırlanan Çimentolu Macun Dolgu Örneklerinin Dayanım Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 92 s.

Yılmaz, E., Benzaazoua, M., Belem, T. ve Bussière, B., 2009. Effect of Curing Under Pressure on Compressive Strength Development of Cemented Paste Backfill, Minerals Engineering, 22, 9-10, 772-785.

Yip, C.K.,Lukey, G.C., Provis, J.L. ve Van Deventer, J.S.J, 2008, Effect of Calcium Silicate Sources on Geopolymerisation, Cementand Concrete Research, 38, 4, 554–564.

ÖZGEÇMİŞ

Sinan Ocak 05.03.1988 yılında Trabzon'un Arsin ilçesinde doğdu. İlkokulu Diyarbakır Yenişehir ilkokulu, ortaokulu Trabzon Mareşal Fevzi Çakmak İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 2007 yılında kazandığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde 2011 yılında lisans öğrenimini tamamladı. Yabancı dili İngilizce olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.

Sinan Ocak, 2012 yılından bu yana yüksek lisans çalışmalarını sürdürmektedir.