

## PASTE BACKFILL TECHNOLOGY IN UNDERGROUND MINING- A CASE STUDY

### YERALTI MADENCİLİĞİNDE MACUN DOLGU TEKNOLOJİSİ- ÖRNEK UYGULAMA

Ayhan KESİMAL\*, Erol YILMAZ\*, Bayram ERÇIKDI\*, İbrahim ALP\*,  
Mehmet YUMLU\*\*, Berkant ÖZDEMİR\*\*

\*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, 61080-Trabzon

\*\*Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş., Çayeli-RİZE

**ÖZ:** Dünyada macun dolgu teknolojisinin gelişimi ve bundan faydalanımı son yirmi senedir büyük bir gelişme kaydetmiştir. Madencilik sektörü, yeraltında geniş üretimli açık alanların doldurulması ile ilgili maliyeti azaltıcı bu teknoloji ile özellikle ilgilenmektedir. En büyük avantajı, özellikle asit üreten atıklar da, büyük miktardaki tesis atıklarının (%60) yeraltında cevheri alınmış bölgelere yerleştirilmesidir. Bu çalışma, dolgunun mekanik mukavemetine etki eden mineralojik ve kimyasal özelliklerinin sülfürce zengin çimentolu macun dolgu üzerinde davranışındaki gelişmeleri ortaya koymaktadır. Bu durum arazi de çimentolu macun dolgu örneklerinin uzun dönemli mekanik özelliklerinin incelenmesi ile ele alınmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Macun dolgu, reolojik indeks, bağlayıcı malzeme, dayanım.

**ABSTRACT:** The development and utilization of paste backfill technology has been evolving over the last two decades around the world. The mining industry was particularly interested in the technology for reducing costs associated with backfilling large open stopes. A significant environmental advantage, especially when tailings are acid generating, is that a large amount of tailings up to 60 percent can be disposed underground. This paper presents the behavior of cemented paste backfill with sulphide-rich, namely the chemical and mineralogical changes with time that affect the mechanical strength of the fill. This phenomena are illustrated with a case study that demonstrates the long-term mechanical properties of a cemented paste backfill sampled in situ.

**Key words:** Paste backfill, rheological index, binder, strenght.

### GİRİŞ

Macun, malzemenin akışkan gibi davranabilmesi için partiküller arasındaki boşlukları doldurmak üzere yeterince su ile karışmış taneli bir malzemedir. Katı partikülleri su molekülleri ile bir araya getiren kolloidal elektrikli partikül yükünden dolayı, taneli malzeme partiküller arasında suyu alı koyar. Bu durumda macun kritik akış hızına sahip olmamak kaydıyla boru içinde taşınabilir.

Genelde, macun oluşturmak üzere yeterince suya sahip malzemenin kolloidal özellikleri için, taneli malzeme ağırlıkça en azından %15'i 20 mikrondan daha ince partiküllere sahip olmalıdır. Ağırlıkça %15'den daha az ince malzemeye sahip taneli malzeme, macun oluşturmak için kolloidal özelliklere sahip olamaz ve bu şekilde taşınmayabilirler (Landriault, 1995). Malzemenin kolloidal özellikleri, partiküllerin sadece boyutu ile değil aynı zamanda kimyasal içeriği ve mineralojik yapısı ile de kontrol altında tutulur. Bu demektir ki farklı malzemeler farklı

boyut dağılımları ile macun oluşturabilirler. Her bir taneli malzeme macun olarak özelliklerini ve davranışlarını belirlemek üzere bağımsız olarak test edilmelidir. Hem üretim tesisi ve hem de boru hattı dağıtım sistemi bu spesifik özelliklere göre dizayn edilmesi gerekir. Macun dolgular yeraltına bağlayıcı olmaksızın yerleştirilemezler ve günlerce, haftalarca ve hatta senelerce sıvı halde kalırlar ve ileride istenmeyen sonuçlar doğurabilirler.

Zenginleştirme sonrası maden atıklarının yeraltına yerleştirilmesi çevresel etkiyi azaltmakla (Weaver ve Luka, 1970; Strömberg, 1997) birlikte hem ekonomik madenciliği ve hem de zemin şartlarını geliştirebilen bir malzemeyi sağlamaktadır. Atık malzeme dayanım özelliklerini artırmak için çoğunlukla çok zayıf çimento veya diğer puzzolanik bağlayıcılarla karıştırılırlar. Mevcut dolgu tipleri arasında (hidrolik dolgu, kaya dolgu, macun dolgu), macun dolgunun kullanımı dünyada ve özellikle Kanada'da yeraltı madencilik çalışmalarının gittikçe

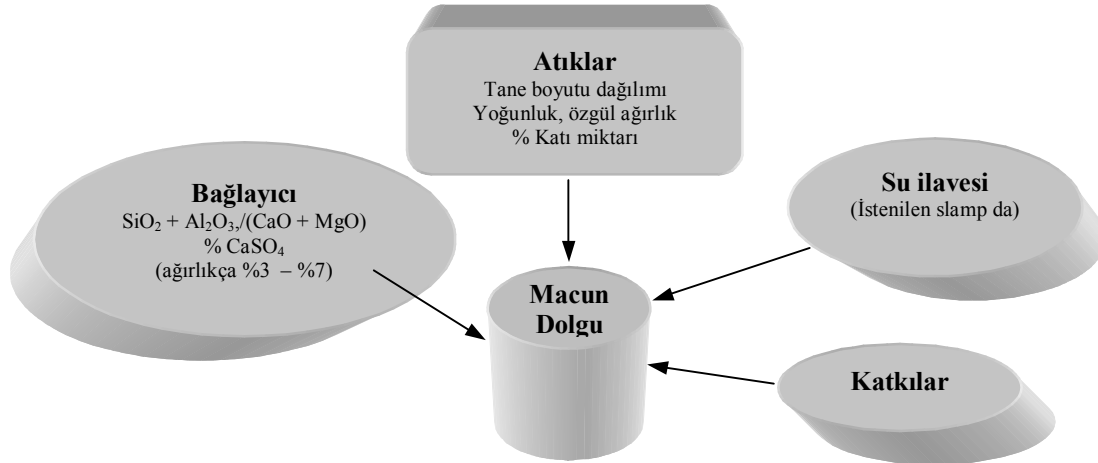
artan önemli bir parçası olmaktadır. Macun dolgu, ağırlıkça %80 civarında filtreden geçirilmiş ve/veya koyulaştırılmış toplam değirmen atıklarından oluşur ve buna istenen reolojik ve dayanım özelliklerini verebilmesi için daha sonra su ve bağlayıcı ilave edilir.

En çok yaygın olarak kullanılan bağlayıcı madde portland çimentosu olmaktadır. Bunlara ilaveten halen araştırma konusu olan diğer bağlayıcı madde puzzolanik ürünler den uçucu kül ve fırın cürufurları alternatif bağlayıcı olarak incelenmektedir. Macun dolguya tipik bağlayıcı madde oran ilaveleri ekonomik olarak ağırlığın %3 ila %7 civarında değişmektedir.

Macun dolgunun kalitesini etkileyen faktörler Şekil 1’de verilmiştir. Bunlar: bağlayıcı ve atığın kimyasal bileşimi, tane boyut dağılımı, yoğunluk, atığın katı yüzdesi ve karışım suyu kimyası’dır. Her bir eleman; macun dolgunun nakliyesinde, dağıtımında ve kısa-orta ve uzun dönem kür

(bekletim) sürelerinde dayanım kazanımının da (artışında) önemli rol oynamaktadır.

Çimentolu macun dolgunun mekanik ve reolojik özellikleri atığın fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerine, bağlayıcı tiplerine ve bunların oranlarına bağlıdır. Macun dolgu için yapılan çalışmalar, kür süresi esnasında, agresif ortamın (sülfat’ın varlığı ve asit üretimi gibi) sebep olduğu kimyasal reaksiyon sonucu macun dolgunun dayanımında düşme olasılığını ortaya koymuştur (Amaratunga ve Hein, 1997; Quellet ve diğ., 1998; Benzaazoua ve diğ., 2002). Ayrıca macun dolgunun kullanımında kohezyon, yoğunluk ve katı yüzdesi belirleyici faktörlerdir. Dolgunun kohezyonu doğrudan bağlayıcı kalitesine ve sülfat veya sülfatça zengin dolgu içinde oluşabilecek mümkün zararlı kimyasal reaksiyonlara karşı koyma olasılığına bağlıdır.



Şekil 1. Macun Dolgu Sisteminin Farklı Elemanlarının Şematik Görünümü

Figure 1. Schematic Diagram Presenting The Different Components Of Paste Backfill

#### TESİSATIKLARININBOYUTDAĞILIMIDİZAYNI

Dünya da çoğu sert kaya sınıfı maden atıklarının macun dolgu karışımı için üç tip ebat

dağılım kategorisi bulunmaktadır. Bunlar kaba, orta ve ince atıklar olarak adlandırılır (Landriault, 1995) ve Çizelge 1’de toplu olarak görülmektedir.

Çizelge 1. Macun Dolgu Karışımının Boyuta Göre Sınıflandırılması

Table 1. Size-Distribution Categories For Paste-Backfill-Mix Design

Atık Grubu	20 mikron altı miktar (ağırlıkça %)	17.78 cm (7") Slamp'da Katı Oranı (ağırlıkça %)	Açıklama (su-çimento oranına göre)
Kaba atıklar	15 - 35	78 - 85	Dolgunun dayanımı yüksek
Orta ebatlı atıklar	35 - 60	70 - 78	Nispeten iyi dayanımlı dolgu
İnce atıklar	60 - 90	55 - 70	Düşük dayanımlı

İstenen slamp (sulu karışımın çökme miktarı) kıvamını elde etmek için gerek duyulan su miktarı partiküllerin kolloidal özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler macun içindeki ince partiküllerin zeta

potansiyel şarjının bir ölçüsüdür. Zeta potansiyel şarjı, partikül ortamında macuna suyu alıkoyma yeteneğini vererek, su moleküllerinin ince taneciklere bağlanmasına yol açar. Zeta potansiyel şarjının yüksek

olması, çalışılan bir slamp'da macun malzemesinin su alıkoymasının yüksek olmasını sağlar. İnce malzemenin içeriği arttıkça istenen bir slamp'da macunun su tutma miktarı da artacaktır. Macun dolgunun ağırlıkça su içeriği genellikle %10 ila %25 arasında değişir.

Yumuşak kayalar genellikle boyutlarına bakmaksızın 17.78 (7") ve 25.4 (10") cm slamp kıvamında yüksek miktarda su içerirler. Bu durum esas itibariyle yüksek kalsit, kil veya benzeri yüksek derecede koloidal, yüksek su tutan mineralleri içeren mineralojik yapıdan kaynaklanmaktadır. Bu atıklar, mineral bileşimi ve ince malzeme içeriğine bağlı olarak, 17.78 cm slamp kıvamında ağırlıkça %30 ila %50 arasında değişen katı dağılımına sahiptir.

Macun dolgu da kullanılan değirmen atıkları, bağlayıcı reaksiyonunu etkileyebilecek mineral içerikleri (çinko, kurşun ve bazı piritler) bakımından analiz edilmelidirler. Belirli mineraller dayanım geciktirici, azaltıcı ve uzun dönemde bozucu olarak davranabilirler. Yeraltında macun dolgunun kullanımından önce kısa ve uzun dönem bağlayıcı mukavemetinin laboratuvar testleri yapılmalıdır.

Macun dolgu dizaynında, yeraltında çalışan işçilerin sağlık ve emniyeti yönünden gerekli tedbirlerin alınması gerekir. Atıklar değirmen işleminden gelen sağlıksız rizikolu bulaşıcıları (siyanür, arsenik, vb.) içerebilir. Bu yüzden yer altı macun dolgusunda genellikle kirleticiler veya bulaşıcılar bakımından gözden geçirilerek emniyet ve sağlık standartları sağlanmalıdır.

Macun dolgu olarak piritik atıklar kullanıldığında, dışarıya ısı verme özelliği de (ekzotermik) incelenmelidir. Piritit ve piritin bazı

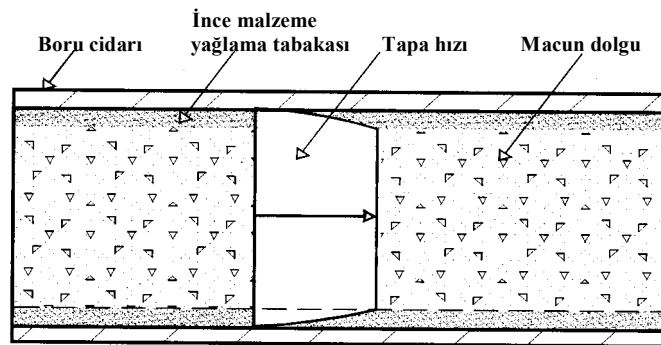
şekilleri kimyasal olarak uygun yeraltı nem ve oksijen şartları altında reaksiyon gösterebilirler. Bu reaksiyonlar sonucu dahili ısı malzemenin sülfür içeriğini tutuşturabilecek sıcaklıklara çıkarabilir ve zehirli sülfid gazlarını üreten kendi kendini destekleyen yeraltı yangını ile sonuçlanır.

## MACUN DOLGUNUN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Reolojik indeks testleri, düşük nem içerikli macun şeklindeki düzeni ve boru hattı nakliyesinde atıkların olası bir faydasını elde etmek için kullanılır. İndeks testi bir seri su tutma, oturma ve çimentosuz bir malzemenin koloidal özelliklerini belirlemek için dizayn edilen değişik slamp koni testlerini içermektedir.

Macun dolgu boru hattı boyunca taşındıklarında bir tapalı akış meydana getirirler (Şekil 2). Tapalı akış şartlarında tabii olarak oluşan ince taneli halka düzeni, borudaki aşınma ve akış direncini azaltarak, boru cidarı boyunca yağlama tabakası gibi hareket eder. Kaba malzeme tabii olarak borunun merkezine doğru zorlanır ve ince malzeme taşıyıcısı içinde nakledilirler. Bu tabii olay çok kaba malzemeyi macun akış özelliğine sahip bir sıvı malzeme tarafından nakledilmesine imkan tanır.

Genellikle, taneli bir malzemenin, macun akış özelliğini oluşturmak üzere yeterince koloidal su tutmayı sağlayabilen ağırlıkça en azından %15'i 20 mikron altı malzemeye sahip olmalıdır. Çoğu macun malzemeler için, 20 mikron boyutunun aşılmasıyla birlikte, akış direncinde bir artışı gösterdiği ispatlanmıştır. Bütün sıvılarda olduğu gibi, akışa olan direnç nakliye boru çapının azalmasıyla artmaktadır.



Şekil 2. Tapalı Akışın Hız Profili

Figure 2. Velocity Profile For Plug Flow

Bir macunun akış hızı 0.1-1.0 m/sn arasında değişmektedir (Verkerk ve Marcus, 1988). Akış özellikleri ince tanelerin içeriğine, nakliye şekline ve partiküllerin şekline bağlıdır. Su tutma ve akış direnci gibi macun

malzemenin özellikleri sadece tane boyutu dağılımı tarafından kontrol edilemez. Malzemenin kimyasal içerik ve mineralojik bileşimi, macun malzemenin davranışında da önemli olmaktadır.

**MALZEME ve METOD**

Bir macun dolgunun mekanik dayanımı üzerinde suyun miktarı, atıkların mineralojik ve kimyasal bileşimini anlamak için bir yeraltı maden ocağında tesisten alınan sülfürlü atık malzeme üzerinde uygulamalı çalışma yapılmıştır.

**Maden Atıklarının Özelliği**

Atığın kimyasal bileşimi Çizelge 2’de liste halinde verilmiştir. Yaklaşık %76 sülfütlere (esas itibarı ile pirit ve küçük miktarda kalko pirit) oluşmaktadır. Geriye kalanlar silikat ve alümine silikatların karışımı, barit ve dolomit içeren gang malzemedir.

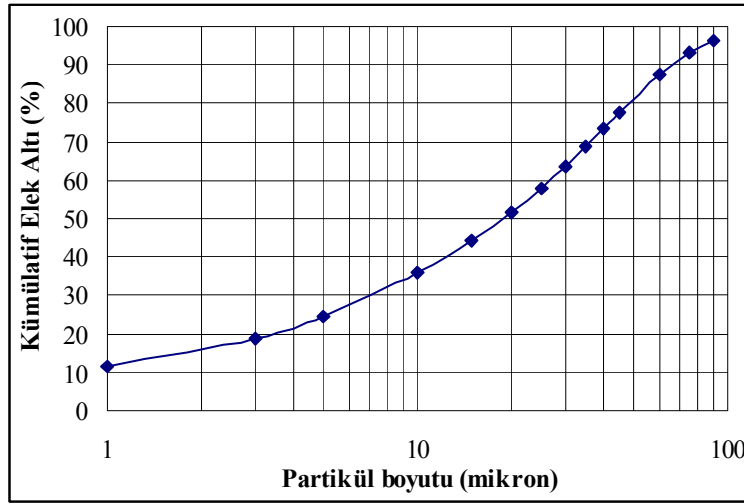
**Çizelge 2.** Atık Malzemenin Toplam Kuru Ağırlıkça % Kimyasal Bileşimi**Table 2.** Chemical Composition Of The Tailings By Total Dry Weight (Wt.%)

	S	Ca	Si	Al	Mg	Fe	Na	K	Mn	Pyrite
Atık Malzeme	34.65	1.43	10.88	3.90	1.00	27.67	0.22	0.24	0.1	75.6

Isıtma Kaybı: %18.91, Toplam: %99

Tane boyutu dağılımı Şekil 3’de görüldüğü gibi; 10 mikron altı malzemenin yaklaşık %36’sını, 20 mikron altı %52’sini ve 90 mikron altı %96’sını temsil

etmekte ve orta ebatlı atıklar sınıfına girdiği gözlemlenmektedir. Malzemenin spesifik ağırlığı ise 4.67 ton/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. .

**Şekil 3.** Atık Malzemenin Tane Boyutu Dağılımı**Figure 3.** Particle Size Distribution Of Tailings**Bağlayıcı Malzeme**

Ünye Çimento’nun PKÇ/B 32.5-R (kütlece %6-%20’lik kısmı katkı maddeli) ve PKÇ/A 32.5-R (kütlece %21-%35’lik kısmı katkı maddeli) tipindeki kompoze çimentoları deneylerde kullanılmıştır (Çizelge 3). Portland kompoze çimento, katkı maddesi ile portland çimento klinkerinin bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bağlayıcıdır. Katkı maddesi olarak tras, curuf, volkanik tuf, uçucu kül ve diğer puzzolanlar tek başına

veya bir kaçının karışımı olarak birlikte kullanılır (TS 12143).

Puzzolanlı çimentolar beton içinde bulunan serbest kireç ile reaksiyona girerek kalsiyum silikatlar halinde beton boşluklarını doldururlar. Böylece betonun geçirgenliğini azaltıcı etki yaparlar. Bunun sonucu olarak başta sülfat korozyonu ve klorür iyonları penetrasyonu olmak üzere betonun (macun dolgunun) kimyasal etkileri dayanıklılığını artırır.

**Çizelge 3.** Bağlayıcı Malzemenin % Kimyasal Bileşimi**Table 3.** Chemical Composition of The Binders (%)

Çimento Cinsi	SiO <sub>2</sub>	Çözünmeyen Kalıntı	Çözünen SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Kızdırma Kaybı	Toplam	Tayin Edilemeyen	Serbest CaO
PKÇ/A 32.5-R	27.12	12.59	14.53	7.05	3.49	53.93	1.34	2.28	3.56	98.77	1.23	0.59
PKÇ/B 32.5-R	32.87	26.38	6.49	8.91	3.83	44.02	1.41	1.99	4.06	97.09	2.91	0.26

### Macun Dolgu Karışım Hazırlığı

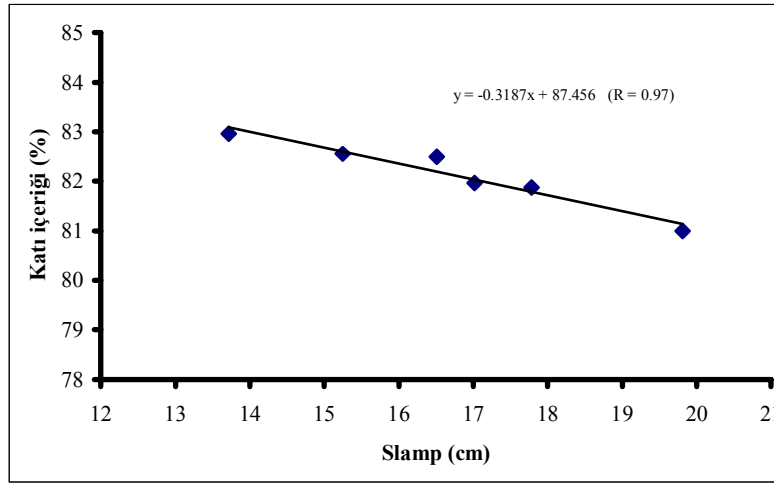
Çalışma esnasında, bağlayıcı malzemeden ağırlıkça %3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 ve 7.0 oranlarındaki miktarları macun dolgunun değişik karışımlarını yapmak üzere atık malzemeye katılmıştır. Atık malzemeye 15.24, 16.51, 17.02 ve 17.78 cm slampların da katılacak su miktarı ve

bulunacak katı miktarları yapılan çalışmalar (ASTM C143 standartlarında) sonucu Çizelge 4 ve Şekil 4’de verilmiştir. Şekil 4’den doğrusal eğilim çizgisine göre ara slamp değerleri için ortamdaki katı içeriğinin belirlenmesine yönelik atamanın çok rahat yapılabileceği korelasyon katsayısından ( $R= 0.97$ ) görülmektedir.

**Çizelge 4.** Her Bir Slamp Değeri İçin Macun Dolgu Karışım Karakteristikleri

**Table 4.** Paste Backfill Mixtures Characteristics For Each Slump

Atık malzemedeki	15.24 cm (6") slamp	16.51 cm (6.5") slamp	17.02 cm (6.7") slamp	17.78 cm (7") slamp
Su miktarı (%)	17.450	17.510	18.040	18.125
Katı miktarı (%)	82.550	82.490	81.960	81.875



**Şekil 4.** Atıkların Macun Slamp’larının Katı İçeriğine Karşı Değişimi

**Figure 4.** Solids Content Versus Paste Slump For Tailings

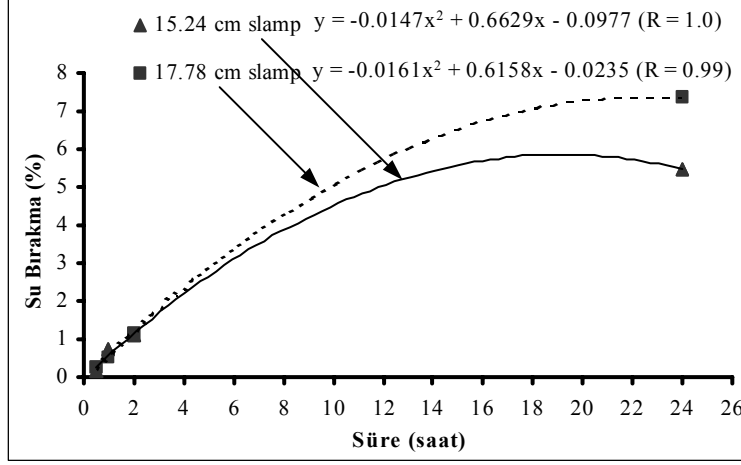
Reolojik indeks testleri ise Çizelge 5 ve Şekil 5 ve 6’da özetlenmiştir. Bu çalışmada çimentosuz macun dolgunun 15.24 ve 17.78 cm ‘lik slamplarında 0.5, 1.0, 2.0 ve 24 saatlik süre içinde su tutma ve su bırakması (su açığa çıkma) gözlenmiştir. Şekil 5 ve 6’daki polinom eğilim çizgilerine göre elde edilen eğrilerin (su tutma ve su bırakma) korelasyon katsayıları oldukça yüksek olup ( $R=1$ ) ara sürelerdeki

su bırakma ve su tutma değerleri eğri üzerinden rahatlıkla belirlenebileceği söylenebilir. Sonuç olarak reolojik deneylerden elde edilen veriler çimentosuz macun karışımının belirli bir sistematik su bırakma ve su tutma düzenine sahip olduğu, başlangıç 0.5, 1 ve 2 saat içerisinde hızlı bir su değişimi meydana gelmekte ve 24 saat sonunda su yüzdeleri her iki çalışma için sabit kalmakta olduğu görülmektedir.

**Çizelge 5.** Çimentosuz Atığın Reolojik İndeks Test İşlemi

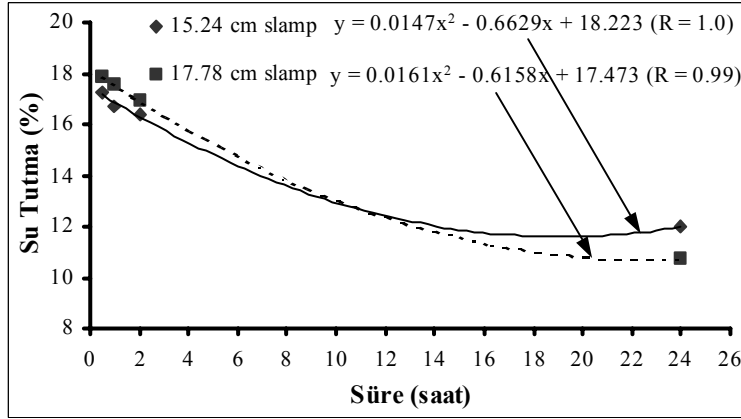
**Table 5.** Rheological Index Testing Of Uncemented Tailings

Macun dolgu tipi	Süre (saat)	Katı ağırlığı (%)	Su ağırlığı (%)	Açığa çıkan su (gram)	Su bırakma (%)	Su tutma (%)
15.24 cm slamp’lı	0.5	82.550	17.450	1.50	0.18	17.27
	1.0	82.550	17.450	6.00	0.73	16.72
	2.0	82.550	17.450	8.90	1.09	16.36
	24	82.550	17.450	44.55	5.47	11.98
17.78 cm slamp’lı	0.5	81.875	18.125	2.10	0.25	17.875
	1.0	81.875	18.125	4.40	0.52	17.605
	2.0	81.875	18.125	9.90	1.18	16.945
	24	81.875	18.125	61.30	7.36	10.765



Şekil 5. Su Kaybının Zamana Karşı Grafiği

Figure 5. Water Separation Retention Versus Time



Şekil 6. Su Tutmanın Zamana Karşı Grafiği

Figure 6. Water Retention Versus Time

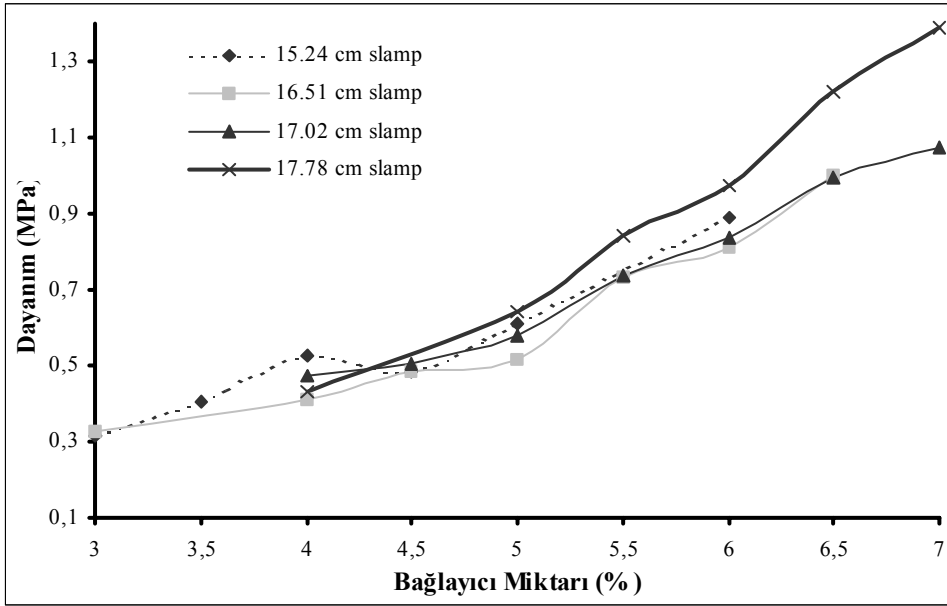
### Tek Eksenli Dayanım Testleri

Macun dolgu karışımı 10 cm çapında ve 20 cm yüksekliğindeki plastik silindirler içine dökülmüştür. Hazırlanmış farklı karışımlar silindirler içine döküldükten sonra, kapatılarak yeraltı madencilik şartlarına uygun olmak kaydıyla %75 rutubetli kapalı ortamda 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerinde saklanmıştır. Macun dolgu örnekleri daha sonra basınç dayanımlarını değerlendirmek üzere tek eksenli basma testlerine tabi tutulmuştur.

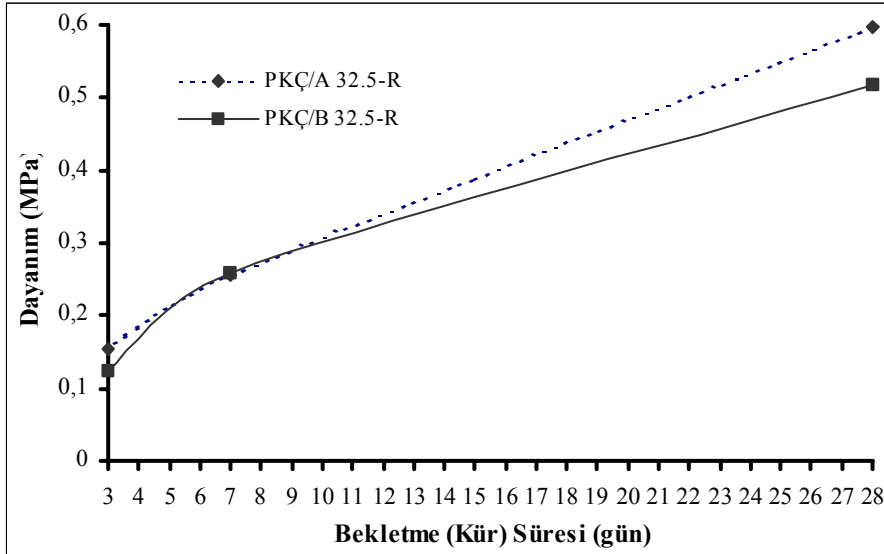
Toplam 220 macun dolgu örneğine, yük kapasitesi yaklaşık 5100 kgf (50 kN) ve 0.001 m/daklık bir yükleme hızına sahip bilgisayar kontrollü mekanik basma ünitesini (ELE International) kullanarak tek eksenli basma dayanımı gerçekleştirilmiştir. Örneklerde yüksekliğin çapa oranı 2 dir. Örneklerin alt ve üst yüzeyleri test öncesi düzeltilmiştir. Test sonuçları Şekil 7 ve Şekil 8'de toplu olarak verilmiştir.

Şekil 7 değişik katkı miktarlarındaki (%3 den

%7'ye kadar olan aralıkta) tek bir PKÇ/B 32.5-R tipindeki bağlayıcının kullanıldığı macun dolgu örneklerinin dört tip slump miktarlarında 28 günlük kür süresi sonunda yapılan dayanım testlerini içeren eğrileri göstermektedir. Kür süresi sonunda %7 çimentolu 17.78 cm slump'da daha yüksek dayanımın elde edildiği, diğer slump'larda ise dayanımın benzer aralıkta seyrettiği (%4 lük çimento içeriğinden sonraki değerlerdeki %4.5, 5, 5.5, 6 ve 6.5 çimento içeriklerinde) ve genelde 17.78 cm slump dan daha düşük dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak PKÇ/B 32.5-R tipinde çimento kullanıldığında atık malzemenin iyi bir macun oluşturması için %7 slump'da %7 çimento katkısı ile daha iyi dayanım özelliği vermektedir. Bu değer (1.3 Mpa = 13.26 kgf/cm<sup>2</sup>) yer altı şartları için 28 günlük kür süresinde nispeten yeterlidir. Çimento miktarının %7'den fazlalığı macun dolgunun dayanımı artıracığı muhakkak olup, işin ekonomisini zorlayacağı için gereksizdir.



Şekil 7. Değişik Bağlayıcı Oranlı Hazırlanmış Macun Dolgunun Basınç Dayanımı  
Figure 7. Compressive Strength Of The Paste Backfill Prepared With Various Binder Content.



Şekil 8. 16.51 Cm Slamp'daki İki Tip Çimentolu Macun Dolgunun Değişik Kür Sürelerindeki Basınç Dayanımı.  
Figure 8. Compressive Strength Of The Paste Backfill With Binder Types PKÇ/A 32.5-R And PKÇ/B 32.5-R.

Şekil 8 ise, katkı miktarının %5 olduğu PKÇ/A 32.5-R ve PKÇ/B 32.5-R tipindeki bağlayıcıların kullanıldığı macun dolgu örneklerinin sadece %5 bağlayıcı ve 16.51 cm slump miktarında 3, 7 ve 28 günlük kür süresi sonunda yapılan dayanım testlerini içeren eğrileri göstermektedir. Burada amaç her iki tip çimento aynı bağlayıcı ve aynı slump miktarında tek eksenli basınç dayanımları açısından kıyaslamak olmuştur. Şekil 8'den 3 ve 7 günlük kür süresinde her iki tip bağlayıcı nispeten birbirlerine biraz yakın değerlerde dayanıma sahip olmakta, 7 günlük kür süresi

sonrası A'nın B'ye göre daha dirençli olduğu 28 günlük kür süresinde net bir şekilde görülmektedir. Buna sebep; A tipi daha fazla çimento (bağlayıcı) klinkeri ve daha az katkı malzemesi içermesi, B tipi bağlayıcının ise daha az klinker ve daha çok katkı malzemesi içermesidir. Katkı malzemeleri dışardan gelecek sülfat atakları ve klor tuzlarına karşı bir önlem özelliği içerdiğinden, çalışılan atık örneklerinin sülfür içeriği yaklaşık %35 olduğundan her iki tip çimento başlangıçta bu tip atakları önleyerek yeterli prizini aldığı ve dirençlerinde zamanla bir düşme görülmediği

grafikten anlaşılmaktadır.

## SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonuçları ışığında, macun dolgu seçiminde mineralojik yapı, kimyasal bileşim ve bağlayıcı tipinin dolgunun kalitesinde önemli rol oynadığı açıkça görülmektedir. Değişik slump yüzdelere karşılık değişik katkı yüzdeli tek tip bir bağlayıcı kullanarak, en optimum sonucu veren macun dolgu karışımının belirlenmesi için 28 günlük kür süresi sonundaki dayanımlarını göz önüne alan bir çalışma yürütülmüştür. Sonuç olarak %7 bağlayıcıya sahip macun dolgu karışımının 17.78 cm slump değerinde en iyi dayanım özelliği verdiği elde edilmiştir. Ayrıca, iki tip bağlayıcı ürün kullanılarak sülfürlü atıkların macun dolgu üzerinde zamana bağlı dayanımı açısından verimliliği araştırılmıştır. Macun dolgu örnekleri 3, 7 ve 28 günlük kür süresinden sonra dayanımları test edilmiş, PKÇ/A 32.5-R tipi bağlayıcının PKÇ/B 32.5-R tipinden dayanım açısından daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bir macun dolguyu oluşturma deneylerinin bu kısa açıklaması, fizibilite aşamasında detaylı çalışmanın önemine işaret etmektedir. Hem mekanik ve hem de kimyasal özellikler bir macun dolgu tesisinin çalışmasında ve dizaynında önemli rol oynamaktadır. Bu durum, düşük basınç dayanımlı macun dolgunun bir madenin operasyonunu doğrudan etkileyebileceğini göstermektedir. Herhangi bir parametrenin ihmal edilmesi, çalışma işlemi esnasında daha sonradan maliyetçe değişiklikleri gerekli kılabilir. Macun dolgunun, uzun dönemde deneyde kullanmadığımız daha farklı ürün tipteki bağlayıcıları ile karakteristik özellikleri test edilerek optimizasyonu yapılmalıdır.

## SUMMARY

The development and utilization of paste backfill technology has been evolving over the last two decades around the world. The mining industry was particularly interested in the technology for reducing costs associated with backfilling large open stopes. The disposal of mine tailings underground reduces the environmental impact and provides a material that can be used to improve both ground conditions and economics of mining.

A paste is a granular material mixed with sufficient water to fill the interstices between the particles so that the material behaves as a fluid. The granular material retains all the water between the particles due to its colloidal electrical particle charge that bonds the solid particles to the water molecules. In general, a granular material must have at least 15 wt% of its particles finer than 20 microns for the colloidal properties of the material to retain sufficient

water to form a paste. Granular materials with less than 15 wt% of fine material will not have the colloidal properties to form a paste and cannot be transported as such. The waste material are often mixed with very lean cement or other pozzolanic binders to improve their strength properties. Paste backfill consists of total mill tailings (full size fraction of the tailings) thickened and/or filtered to around 80 wt% to which binder and water are then added to achieve the desired rheological and strength characteristics. Typical binder proportion additions are 3% to 7% by weight into paste fill.

Two binder types and river water were used to produced various paste backfill mixtures with sulphide tailings from Turkish hard-rock mine. The tailings sample is sulphur rich (34.65% wt sulphur). The presence of sulphide minerals within cemented composites as well as the soluble sulphates has a deleterious effect on the strength of paste backfill due to sulphate attack. The purpose of this paper is to highlight the influence of some chemical factors of mill tailings and binders on the paste backfill strength acquisition. To reach this goal, mine tailings from Turkish hard-rock mine were sampled for the preparation of different paste backfill mixtures using different binder types and binder proportions. The study was carried out to investigate the effect of binder and tailings chemistry on the unconfined compressive strength of paste backfill after curing periods of 3, 7, 28 days.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Amaratunga, L.M., ve Hein, G.G., 1997,** Development of a high strength total tailings paste fill using fine sulfide mill tailings, Proceedings of the 29th Annual Conference of the Canadian Mineral Processors (CIM-CMP), pp. 293-305.
- ASTM C143,** Standard test method for slump of hydraulic cement concrete. Annual book of ASTM Standards, 04.02.
- Benzaazoua, M., Belem, T., ve Bussiere, B., 2002,** Chemical factors that influence the performance of mine sulphidic paste backfill, Cement and Concrete Research, 32.
- ELE International,** the world's leading manufacturer of Construction Materials Testing and Environmental Instrumentation.
- Landriault, D.A., 1995,** Paste backfill mix design for Canadian underground hard rock mining. Proceedings of the 97th Annual General Meeting of the C.I.M. Rock Mechanics and Strata Control Session. Halifax, Nova Scotia. May 14-18.
- Quellet, J., Benzaazoua, M., ve Servant, S., 1998,** Mechanical, mineralogical and chemical characterization of a paste backfill, Tailings and



- Mine Waste'98, Colorado, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 139-146.
- Strömberg, B., 1997,** Weathering kinetics of sulphidic mining waste: an assessment of geomechanical process in the Aitik mining waste rock deposits. AFR-Report159, Department of Chemistry, Inorganic Chemistry, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- TS 12143,** Portland Kompoze Çimento
- Verkerk, C.G ve Marcus, R.D., 1988,** The pumping and rheology of paste fills. Backfill in South African Mines. Johannesburg, SAIMM, pp. 221-233.
- Weaver, W.S., ve Luka, R., 1970,** Laboratory studies of cement-stabilized mine tailings, Can. Min. Metall. Bull. 64, 701, 988-1001.

Geliş Tarihi-Received : 19.09.02  
Kabul Tarihi-Accepted : 10.03.03