

ÇİMENTOLU MACUN DOLGUNUN LABORATUVAR TESTİ

Laboratory Testing of Cemented Paste Backfill

Ayhan KESİMAL⁵
Erol YELMAZ^(W)
Bayram ERÇIKDI^(*W)
İbrahim ALP^(***)
Mehmet YUMLU^{*****†}
Berkant ÖZDEMİR^{*****^}

ÖZET

Madencilik endüstrisinde macun dolgu sistemi oldukça yeni bir teknolojidir. Aynı zamanda yeraltı madenciliğinde tahkimat teknolojisinin önemli bir parçası olmuştur. En büyük avantajı, cevher kazanımında artış ve yeryüzünde uzaklaştırılma gerektiren atıkların hacminde bir azalma sağlamasıdır. Bu yazı, çimentolu macun dolgunun davranışındaki yeni çalışmaları, yani, dolgunun mekanik dayanımını etkileyen zamana bağlı mineralojik ve kimyasal değişiklikleri ortaya koymaktadır. Kür süresi esnasında hızla oluşabilen ve kullanılan bağlayıcı ürüne bağlı olan bu değişiklikler çimento bağlayıcıları üzerindeki sülfat ataklarını içermektedir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzzolanik ürünleri içeren bağlayıcıların kullanımı sülfat ataklarına karşı dirençli olup, genellikle dayanımdaki düşüşleri azaltırlar. Bu olaylar, laboratuvar da çimentolu macun dolgu örneklerinin mekanik özellikleri üzerindeki bu değişikliklerin etkisini ortaya koyan bir çalışma ile açıklanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Macun Dolgu, Reolojik İndeks, Sülfat Atağı, Bağlayıcı, Basma Dayanımı

ABSTRACT

Paste backfill is a relatively new technology in the mining industry. Meanwhile it is an important piece of support technology that has been introduced into the underground mining industry. The major economical benefits include increased recovery of ore and a reduction in the volume of waste requiring surface disposal. This paper presents new studies into the behaviour of cemented backfill, namely, the chemical and mineralogical changes with time that affect the mechanical strength of the fill. These changes which can occur rapidly during curing and depend on the binding agents used consist of sulfate attacks on the cement bonds. The use of pozzolanic products (fly ash and blast furnace slags) based binders are resistant to sulphate attack, generally reduces any strength deterioration. These are illustrated with a case study that demonstrates the influence of these alterations on mechanical properties of a cemented paste backfill sampled in laboratory.

Keywords: Paste Backfill, Rheological Index, Sulphate Attack, Binder, Compressive Strength

Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon
Uzman, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon
Araş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon
Yrd. Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon
Maden Yük. Müh., Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş., Çayeli, Rize
† Maden Müh., Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş., Çayeli, Rize

1. GİRİŞ

Madencilik endüstrisinde macun dolgu sistemi oldukça yeni bir teknolojidir. İlk önce Almanya'da Grund Madeninde 1980 yılında kullanılmıştır ve bir çok nedenlerden dolayı dünyada en geniş şekilde uygulanan dolgulardan bir tanesi olmuştur (Grice, 1998).

Macun dolgu sistemi; zemin kontrolü, topukların kazanımında yeraltı tahkimatı ve kes-doldur sistemlerinde madencilik platformu gibi kullanımların olduğu çoğu yeraltı madencilik uygulamalarında bütünleşmiş bir rol oynamaktadır. Dolgu ayrıca, tesis zenginleştirme atıklarının yeryüzünden uzaklaştırılmasında yardımcı olduğu için, bu yönüyle çevresel etkiyi azaltmaktadır. Bu nedenlerden dolayı dolgu, maden ekonomisi üzerinde cevher kazanımını artırmaya yardımcı olarak ve maden atıklarının yeryüzünden uzaklaştırılmasındaki maliyetleri azaltarak önemli bir etkiye sahiptir (Weaver ve Luka, 1970; Strömberg, 1997).

Bir macun dolgu sisteminin geleneksel hidrolik dolgu tesisi üzerindeki avantaj ve dezavantajları Çizelge 1'de verilmiştir (Anon, 2002).

2. MACUN DOLGUNUN ÖZELLİKLERİ

Macun, malzemenin akışkan özelliğini sağlamak üzere katı partikülleri arasındaki boşlukları doldurarak yeterince su ile karışmış taneli bir malzemedir. Macun dolgu sistemlerinde, katı partikülleri ile su molekülleri bir araya getiren kolloidal elektrikli partikül yükü, taneli malzemenin partikülleri arasında suyun muhafaza edilmesini temin etmektedir.

Dünya da çoğu kez sert kaya sınıfı olarak tanımlanan maden atıklarının macun dolgu karışımı için, su ve katıların miktarına bağlı olarak üç tip kıvamda dağılım kategorisi bulunmaktadır. Bunlar kaba, orta ve ince atıklar olarak adlandırılmakta olup (Landriault, 1995; Annor, 1999) Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Macun Dolgunun Geleneksel Hidrolik Dolguya Göre Avantaj ve Dezavantajları

<u>Avantajları</u>	<u>Dezavantajları</u>
1. Aynı çimento miktarında daha yüksek dayanım kazanımı mümkündür.	1. Geleneksel hidrolik dolguya göre macun dolgu sistemleri daha yüksek kapital maliyeti sunmaktadırlar.
2. Yoğun drenaj işleri ve bölümlü ekipmanlara olan gereksinimi azaltarak dolgudan şamların ve suyun drenajını en aza indirmekte ve pompa bakımını azaltmaktadır.	2. Bir macunun pompalanabilirliği (nakliyatı) tane boyutu dağılımı ve su miktarındaki küçük değişikliklere çok hassastırlar.
3. Hidrolik dolguda olduğu gibi sadece kaba malzemenin öte sınıflandırılmamış atıklar da macun olarak kullanılabilir.	3. Pompa basınçları kontrol etmek için, madendeki dağıtım ağı daha büyük seviyede mühendislik tasarımı gerekli kılmaktadır.
4. Eşit dayanım, macun dolgu ile daha kısa zamanda elde edildiği için, ocağın döngü süresi daha kısa sürede başarılmaktadır.	
5. Macun dolgu sistemleri geleneksel dolgudan daha az poroziteyi verir. Böylece yeraltına atılacak malzeme tonajında artış sağlanır.	
6. Macun dolgu, dolgunun ayırım gözetilmeyen bir kütlesi gibi çöktüğü için dolgunun dayanım özellikleri daha iyi tahmin edilebilir.	

Çizelge 2. Macun Dolgu Karışımının Boyuta Göre Sınıflandırılması.

Atık Grubu	20 mikron Altı Miktar (ağırlıkça %)	17,78 cm Slamp'da Katı Oranı (ağırlıkça %)	Açıklama (su-çimento oranına göre)
Kaba atıklar	15-35	78-85	Yüksek dayanımlı dolgu
Orta ebatlı atıklar	35-60	70-78	Nispeten iyi dayanımlı dolgu
İnce atıklar	60-90	55-70	Düşük dayanımlı dolgu

Macun dolguda içerikler genellikle pülp yoğunluğu veya çökeltme yoğunluğu şeklinde tanımlanmaktadır. Pülp yoğunluğu, dolgunun gerek duyulan kütleinde mevcut olacak su ve katıların ağırlıkça oranlarına karşılık gelmektedir. Ayrıca, toplam katıların ağırlığının, bağlayıcı dahil su artı katıların ağırlığına oranı şeklinde de göz önüne alınmaktadır. Çökeltme yoğunluğu ise belirli bir zaman süresi içinde (genellikle 1 saat) atık malzemesinin çökeldiği yoğunluktur. Spesifik yoğunluk, tane boyu, şekil ve atık partiküllerinin dağılımı çökeltme yoğunluğunu etkilemektedir (Chen ve Annor, 1995).

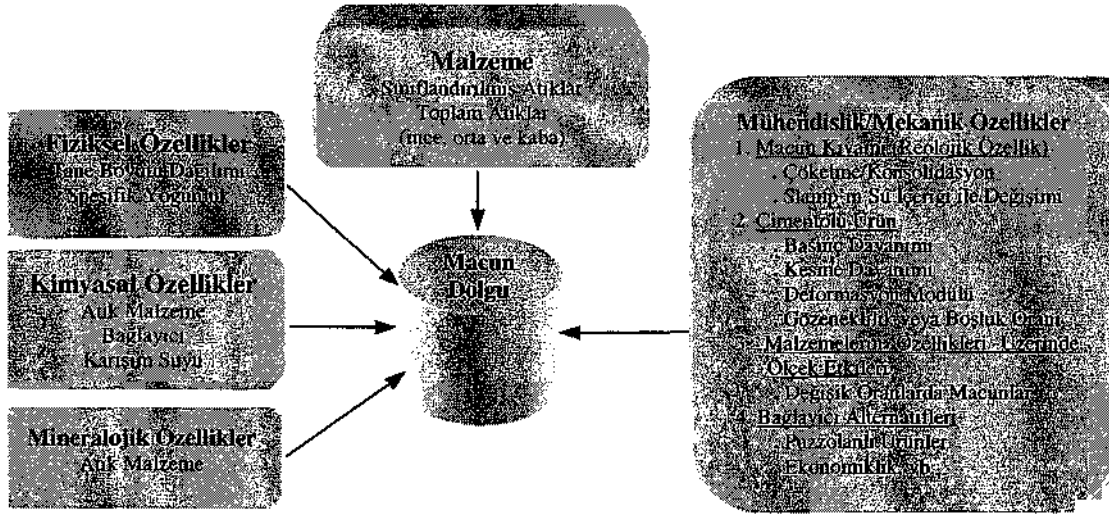
Geleneksel hidrolik dolgunun pülp yoğunluğu, atık malzemenin çökeltme yoğunluğundan düşüktür. Kuru halde katılar, ağırlıkça %65 ile %70 arasında değiştiği bilinmektedir (Millette vd., 1995). Macun dolgunun pülp yoğunluğu ise çökeltme yoğunluğundan yüksektir. Macun dolgu ayrıca, dolgudaki mevcut malzemenin 20 mikron altındaki partiküllerinin yüzdesi ve su tutma yeteneğinin yanında, slamp (ASTM C-143, 1995) bakımından da ifade edilmektedir. Bunlar nakliyat gereksinimlerinde belirleyici kriter olarak kullanılmaktadırlar.

Macun dolgu ağırlık olarak %75 ile %85 arasında filtreden geçirilmiş veya kalınlaştırılmış katı ürün içeren ince katı partiküllerinin (sonradan bağlayıcı ilavesi dahil) su ile bir

başarılı karışımı olarak ifade edilir (Landriault ve Lidkea, 1993; Hassani ve Archibald, 1998; Pierce, 1998; Benzaazoua vd., 2002). Karışımındaki katılar, tesisdeki değirmenden çıkan atıkların oluşturduğu ince partiküllerdir. Atık malzemeye tipik bağlayıcı madde ilaveleri, ekonomikliği ve de dayanımını göz önüne alarak ağırlıkça %3-7 oranında katılır. Su ilavesi ise genellikle toplam karışımında ağırlıkça %10 ile %25 arasında değişmektedir. Bir tesis cevher atıkları için optimum macun dolgu sisteminde yapılması gereken işlemler Şekil 1'de görülmektedir.

Şekil 1'den, macun dolgunun kalitesini etkileyen ana faktörler; bağlayıcı ve atığın kimyasal bileşimi, atığın mineralojik bileşimi, tane boyut dağılımı, yoğunluk, atığın katı yüzdesi ve karışım suyu kimyası olarak görülmektedir. Her bir eleman macun dolgunun; nakliyesinde, dağıtımında ve kısa-orta ve uzun dönem kür sürelerindeki dayanımın kazamında önemli rol oynamaktadır. Genellikle maden operatörleri dolgu işlemi tasarımında su ve atıklar kimyasını ihmal ederler. Sonuç olarak, dolgu dayanımında bazen beklenmeyen düşüşler ile karşılaşılma mümkün olmaktadır.

Yeterince su tutabilen kolloidal özellikli malzeme bakımından, genellikle taneli malzeme macun oluşturmak üzere ağırlıkça en azından % 15'i 20 mikrondan daha ince partiküllere sahip



Şekil 1. Optimum macun dolgu sistemi için yapılması gereken işlemler.

olmalıdır. Ağırlıkça %15'den daha az ince malzemeye sahip taneli malzeme, macun oluşturması için gereken kolloidal özelliklere sahip olmayabilir . ve bu şekilde taşmamayabilirler (Landriault, 1995).

Kolloidal özellikler, macun içindeki ince partiküllerin zeta potansiyel şarjının bir ölçüsüdür. Zeta potansiyel şarjı, partikül ortamında macuna suyu tutma yeteneğini vererek su moleküllerinin ince taneciklere bağlanmasına yol açar. Zeta potansiyel şarjının yüksek olması, istenen bir slamp'da macun malzemenin su tutmasının yüksek olmasını sağlar. İnce malzemenin içeriği artıkça, istenen bir slamp'da macunun su tutma miktarı da artacaktır. 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, hem de boru hattı dağıtım sisteminin bu spesifik özelliklere göre tasarlanması gerekir. Ayrıca macun dolgular yeraltına bağlayıcı olmaksızın sevk edilemezler, aksi halde günlerce, haftalarca ve hatta yıllarca sıvı halde kalırlar ve ileride istenmeyen sonuçlar doğurabilirler.

3. MALZEME ÖZELLİKLERİNİN DOLGU DAVRANIŞI ÜZERİNDE ETKİSİ

Tesis cevher atıklarının dolgudaki davranışı malzemenin bir bütün halindeki özellikleri ile etkilenmektedir. Katıların çökmesi, konsolidasyon ve kuruma dolgu davranışını etkileyen en önemli parametrelerdir. Bu üç faktör dolgunun gözeneklilik veya boşluk miktarı ve katıların yoğunluğu tarafından önemli derecede etkilenmektedir. Ayrıca, dolgu suya doyduktan sonra dolgunun yerinde duraylılığına da tesir etmektedir. Çimentolu macun dolgunun davranışı üzerinde etki eden reolojik ve mekanik özellikler; 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) neden olduğu kimyasal reaksiyon sonucu macun

dolgunun dayanımında düşme olasılığını ortaya koymuştur (Amaratunga ve Hein, 1997; Quillet vd., 1998; Benzaazoua vd., 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.

Reolojik indeks testleri, maden atıklarından yapılan macun dolgu karışımlarının yeraltına boru hattı vasıtası ile kolaylıkla nakledilebilmesi için yapılan testlerdir. Aynı zamanda boru hattı içinde herhangi bir itme işlemi olmadan önce macun malzemenin durgun olarak (tıkama olmadan) kalabilme süresinin belirlenmesine yönelik çalışmadır. Ayrıca çimentosuz halde yeraltına yerleştirildiğinde ne kadar sürede dolgu malzemesinin sıvılaşmaya meyillenebileceğinin belirlenmesine işaret etmektedir. İndeks testi bir seri su tutma, oturma ve çimentosuz bir malzemenin kolloidal özelliklerini belirlemek için tasarlanan değişik slamp koni testlerini içermektedir.

Viskozite, karışım veya bir sıvı içinde farklı tabakalar arasında harekete karşı direncin bir ölçüsüdür. Beton terminolojisinde çalışılabilirlik olarak da adlandırılmaktadır. Bir macun karışımının viskozitesinin tahmini zor olup tane şekli, mineraloji, tane boyutu ve pülöp yoğunluğu gibi bir çok faktörler tarafından etkilenmektedir. Genellikle beton slamp testleri macun karışımlarının viskozite ölçümleri için kullanılmaktadır. Slamp, bir karışım malzemesinin konik şeklindeki bir kaygan kalıptan serbest bırakıldığında maruz kaldığı boydaki düşmenin (oturmanın) bir ölçüsüdür. Slamp'ı belirleyerek bir malzemenin taşınabilirliği ile ilgili kıvamını karakterize etme şekli sağlanmaktadır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bir macun dolgunun reolojik ve mekanik özelliklerini ve bunların macun dolgu üzerinde etkisini belirlemek üzere Çayeli Bakır İşletmeleri (ÇBI)'nde yeraltı ocağının dolgusunun da kullanılmak üzere temsili spek (%10'dan daha az sferit içeren, boyutu 20 cm'ye kadar olan pirit

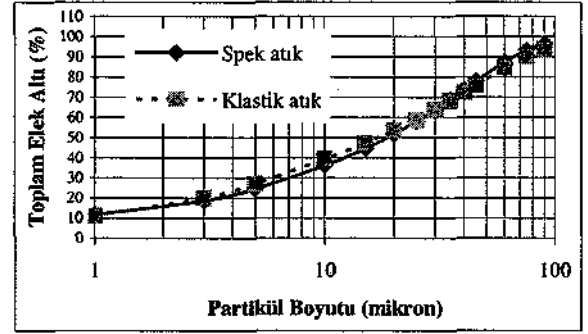
ve kalkopiritli cevher) ve klastik (%10'dan fazla sfalerit içeren, boyutu 20 cm'ye kadar olan pirit, kalkopirit ve sfaleritli cevher) cevher atık numuneleri üzerinde bir proje (Kesimal vd., 2002) çerçevesinde deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Deneye konu olan malzemeler macun dolgu tesisinde mevcut olan disk filtre çıkışındaki bant konveyör üzerinden örnek alma tekniklerine göre alınmış ve sınıflandırma yapılmadan tüm atık malzeme kullanılmıştır. Her bir atık malzemesinden yaklaşık olarak 500'er kg lık örnekler alınarak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere varillere doldurulmuştur.

4.1. Atık Malzemenin Özellikleri

Pirit, ÇBİ uygulamaları esnasında çalışılan atıklar içinde baskın mineral olarak görülmektedir. Spek atıklarında %75, klastik atıklarında ise %60 yaklaşık pirit içeriklerinin bulunduğu X-ışınları difraktometre (XRD) biriminde yapılan analiz testlerinden anlaşılmıştır. Pirit'in varlığı çimentolu macun dolguda kimyasal tepkime sonucu sülfat ataklarını söz konusu kılmaktadır. Ayrıca az miktarda barit ve dolomit mineralleri de bulunmaktadır. Hem spek ve hem de klastik atık cevherlerin kimyasal bileşimini belirlemeye yönelik incelemeler fotometre biriminde yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir. Her iki atıkta demir oksit (Fe_2O_3) baskın konumda olup az miktarda silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) bulunmaktadır. Çok az miktarda magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum, manganez ve kroma rastlanmıştır.

Her iki atığın tane boyutu dağılımının Mastersizer ünitesi ile yapılan deney sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. 10 mikron altı içerdiği malzemeler yaklaşık %36 - %39, 20 mikron altı yaklaşık %52 - %54 ve 90 mikron altı %96 - %94 olarak sırasıyla spek ve klastik için temsil

edilmekte ve her iki atık malzeme orta boyutlu macun dolgu atıkları sınıfına girdiği gözlenmektedir. Malzemenin spesifik ağırlığı ise spek cevher atıkları için $4,67 \text{ ton/m}^3$ ve klastik cevher atıkları için $4,40 \text{ ton/m}^3$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. Atık malzemenin tane boyutu dağılımı.

4.2. 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 ile %35'lik kısmı katkı maddeli) tipindeki kompoze çimentoları deneyde kullanılmıştır (Çizelge 4). 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, cüruf, volkanik tüf, 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 artırmaktadırlar.

Çizelge 3. Atık Malzemelerin Toplam Kuru Ağırlıkça (%) Kimyasal Bileşimi.

Atık Malzeme	SiO_2	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	Cr_2O_3	Mn_2O_3
Klastik	11,60	1,65	45,67	3,95	1,60	0,24	0,22	0,03	0,10
Spek	4,25	0,85	55,00	1,44	0,35	0,14	0,16	0,04	0,02

Isıtma Kaybı: Klastik, %29,94 (Toplam: %95); Spek, %36,75 (Toplam: %99)

Çizelge 4. Bağlayıcı Malzemenin Kimyasal Bileşimi (%).

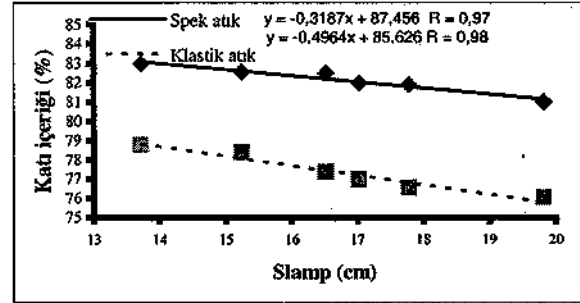
Çimento Cinsi	Çözünmeyen		Çözünen			Kızdırma			Tayin	Serbest		
	Silika	Kalına	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Kayıp	Toplam Edilemeyen	CaO	
PKÇ/A 32,5-R	27,12	12,59	14,53	7,05	3,49	53,93	1,34	2,28	3,56	98,77	1,23	0,59
PKÇ/B 32,5-R	32,87	26,38	6,49	8,91	3,83	44,02	1,41	1,99	4,06	97,09	2,91	0,26

4.3. Reolojik Özellikler

Atık malzemelerin 13,72, 15,24, 16,51, 17,02, 17,78 ve 19,81 cm slamplarm da içerdiği su ve katı miktarları için yapılan çalışmaların (ASTM C143 standartlarında) sonucu Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'den doğrusal eğilim çizgisine göre ara slamp değerleri için ortamdaki yüzde katı ve su içeriğinin belirlenmesine yönelik atamanın çok rahat yapılabileceğini korelasyon katsayıları ($R_{spek} = 0,97$, $R_{klastik} = 0,98$) vermektedir. Doğru üzerinden, çalışılan slamp için okunacak yüzde katı değerinin daha sonra toplam (%100) değerden çıkarılması ile su yüzdesi bulunacaktır.

Böylece çalışmanın belirli bir güvenilirlikte yapıldığı da noktaların doğru üzerinde toplanmasından anlaşılmaktadır. Aksi durum, deneyin hassas yürütülmediğini ve çalışılan slamplarda kullanılacak su ve katı miktarları için başarısız macun dolgu sonuçlarını verecektir. Spek atıklarının macun dolgusunda slamp değerlerine karşılık partiküllerin su tutma yüzdeleri klastik atık numunelerinden daha az olduğu Şekil 3'den anlaşılmaktadır. Aynı slamp değerleri için klastik macun dolguların su tutma yüzdesi spek örneklerine göre yüksek olduğundan dayanımlarının düşük çıkması olasıdır.

Reolojik indeks testleri ise Çizelge 5 ve Şekil 4 de özetlenmiştir. Bu çalışmada çimentosuz macun dolgunun 15,24 ve 17,78 cm'lik slampları için 0,5, 1,0, 2,0 ve 24 saatlik sürelerde su tutma ve su bırakması gözlenmiştir. Şekil 4'deki polinom eğilim çizgilerine göre elde edilen eğrilerin (su tutma ve su bırakma) korelasyon katsayıları bütün deneyler için oldukça yüksek olup ($R=1$) ara sürelerdeki su bırakma ve su tutma değerleri eğri üzerinden rahatlıkla belirlenebilir. Sonuç olarak reolojik deneylerden elde edilen veriler çimentosuz macun karışımının belirli bir sistematik su bırakma ve su tutma düzenine sahip olduğu, 0,5, 1 ve 2 saat içerisinde hızlı bir su değişimi meydana gelerek 24 saat

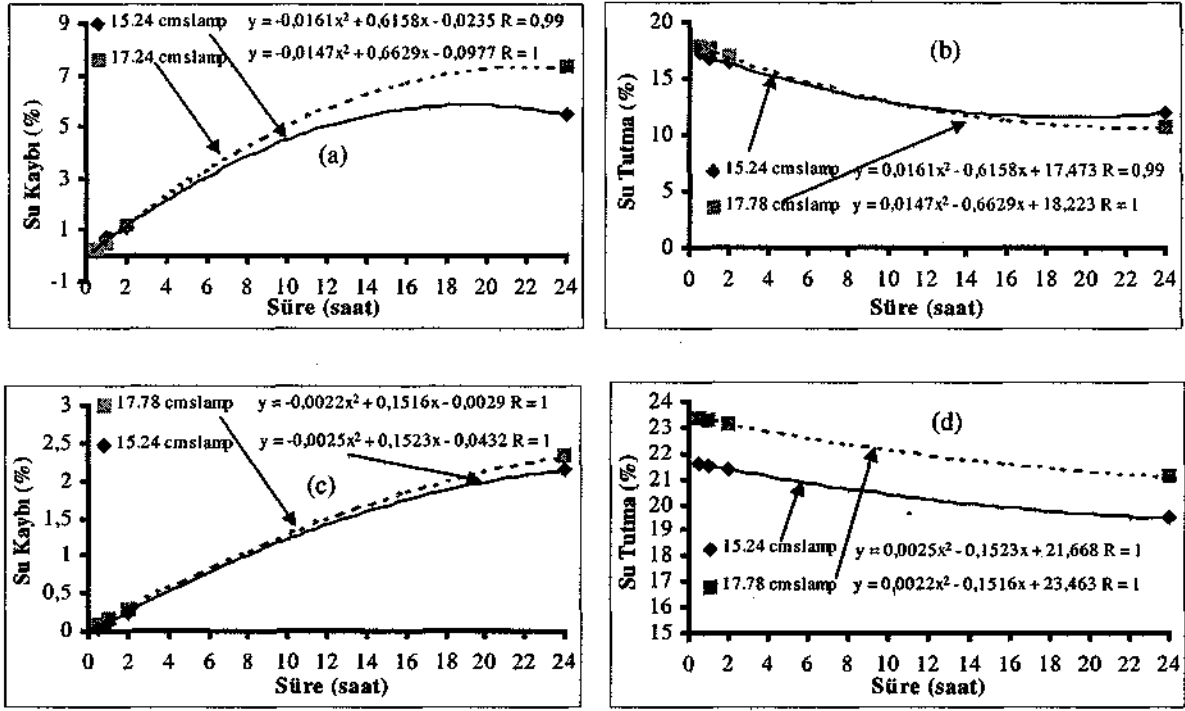


Şekil 3. Macun dolgu slamplarının katı içeriğine karşı değişimi.

Çizelge 5. Çimentosuz Atıkların Reolojik İndeks Test Sonuçları.

Macun dolgu tipi		Süre (saat)	Katı Ağırlığı (g)	Açığa Çıkan Su (gram)	Su Bırakma (%)	Su Tutma (%)
Spek	15,24 cm slamp'lı	0,5	82,550	1,50	0,18	(17,45)* 17,27
		1,0	82,550	6,00	0,73	16,72
		2,0	82,550	8,90	1,09	16,36
		24	82,550	44,55	5,47	11,98
	17,78 cm slamp'lı	0,5	81,875	2,10	0,25	(18,125)* 17,875
		1,0	81,875	4,40	0,52	17,605
		2,0	81,875	9,90	1,18	16,945
		24	81,875	61,30	7,36	10,765
Klastik	15,24 cm slamp'lı	0,5	78,375	0,35	0,03	(21,625)* 21,595
		1,0	78,375	1,05	0,11	21,515
		2,0	78,375	2,39	0,25	21,375
		24	78,375	19,09	2,15	19,475
	17,78 cm slamp'lı	0,5	76,540	0,75	0,07	(23,46)* 23,39
		1,0	76,540	1,47	0,15	23,31
		2,0	76,540	2,77	0,29	23,17
		24	76,540	22,13	2,34	21,12

* Her bir slamp değerinin içerdiği su miktarı (%)



Şekil 4. Su kaybının ve su tutmanın zamana karşı grafiği: (a) ve (b) spec atık, (c) ve (d) clastic atık.

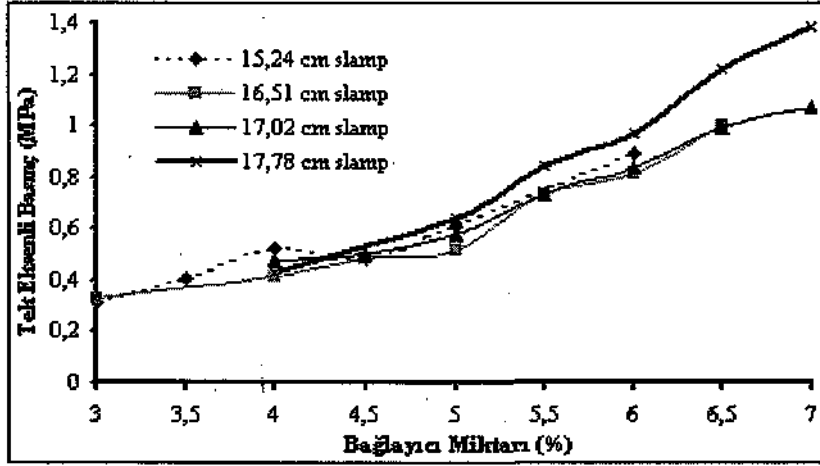
sonra su yüzdelerinin sabit kalmakta olduğu görülmüştür. Klastik atıkların su tutma yüzdelerinin spec atıklara göre yüksek oranda olmasının nedeni, atıkların her ikisinin boyut dağılımı aynı oranda olmakla beraber, klastik atıkların içinde kil, vb. gibi mineralojik ürünleri fazla içermesidir.

4.4. Tek Eksenli Dayanım Testleri

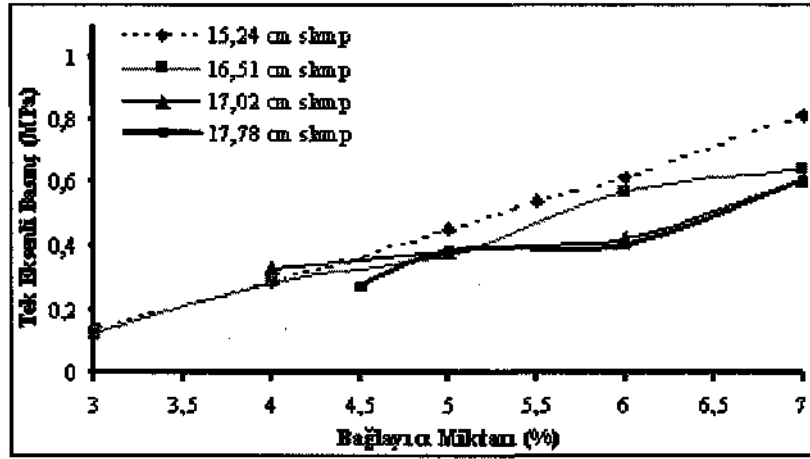
Çalışma esnasında, her iki tip bağlayıcı malzemeden ağırlıkça %3,0, 3,5, 4,0, 4,5, 5,0, 5,5, 6,0, 6,5 ve 7,0 oranlarındaki miktarları macun dolgunun değişik karışımlarını elde etmek üzere spec ve klastik cevher atık malzemelerine katılmıştır. Macun dolgu karışımı 10 cm çapında ve 20 cm yüksekliğindeki plastik silindirler içine dökülmüştür. Hazırlanmış farklı karışımlar silindirler içine döküldükten sonra, kapatılarak yeraltı madencilik şartlarına uygun olmak kaydıyla %75 nemli kapalı ortamda 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerinde saklanmıştır. Macun dolgu örnekleri daha sonra basınç dayanımlarını değerlendirmek üzere tek eksenli basma testlerine tabi tutulmuşlardır. Toplam 220 macun dolgu örneğine, yük kapasitesi yaklaşık 50 kN (5100 kgf) ve 0,001 m/dak lık bir yükleme hızına

sahip bilgisayar kontrollü mekanik basma ünitesini (ELE International) kullanarak tek eksenli basma dayanımı testleri yapılmıştır. Örneklerde yüksekliğin çapa oranı 2 olup, örneklerin alt ve üst yüzeyleri test öncesi düzeltilmiştir.

Spec cevher atıkları için yapılan dayanım testleri sonucu Şekil 5'de görülmektedir. Şekil 5, %3 den %7'ye kadar olan aralıkta değişik katkı miktarlarındaki tek bir PKÇ/B 32,5-R tipindeki bağlayıcının kullanıldığı spec 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 slampda daha yüksek dayanımın elde edildiği, diğer slamlarda ise dayanımın benzer aralıkta seyrettiği (%4 lük çimento içeriğinden sonraki %4,5, 5, 5,5, 6 ve 6,5 çimento içeriklerinde) ve genelde 17,78 cm slampdan daha düşük dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak PKÇ/B 32,5-R tipinde çimento kullanıldığında atık malzemenin iyi bir macun oluşturması için 17,78 cm slampda (%18,125 su, %81,875 katı) %7 çimento katkısı ile daha iyi dayanım özelliği vermektedir. Bu değer (1,387



Şekil 5. Değişik bağlayıcı oranlarındaki spek atık cevherinin macun dolgusunun basınç dayanımı.



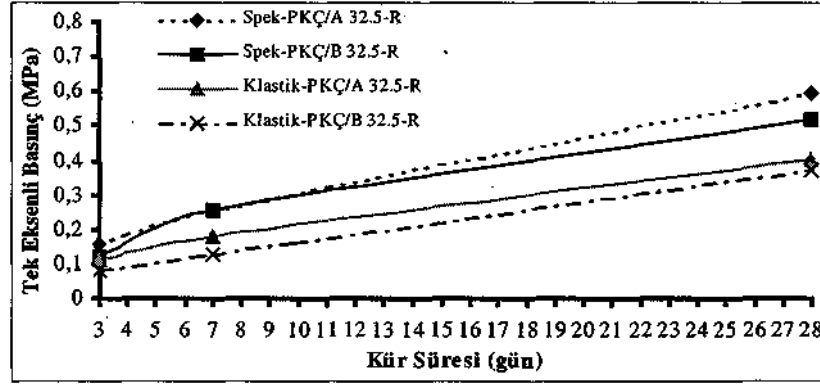
Şekil 6. Değişik bağlayıcı oranlarındaki klastik atık cevherinin macun dolgusunun basınç dayanımı.

MPa) yeraltı şartları için 28 günlük kür süresinde nispeten yeterlidir (Brackebusch, 1994). Çimento miktarının %7'den fazla olması durumunda, macun dolgunun dayanımını artıracak kesin olup, işin ekonomisini zorlayacağından işletmenin verimi açısından gereksiz olabilir.

Aynı şekilde PKÇ/B 32,5-R tipindeki bağlayıcının kullanıldığı klastik macun dolgu örneklerinin dört ayrı slump miktarlarında, 28 günlük kür küresi sonunda yapılan dayanım testlerini içeren eğriler Şekil 6'da verilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, aynı bağlayıcı oranlarında klastik atıkların spek atıkları ile hazırlanmış macun dolgulara göre daha düşük dayanım sonuçları verdiği görülmektedir. Bunun

nedeni daha önceden yukarıda bahsedildiği gibi su yüzde miktarlarının yüksek olmasıdır. Su miktarının gereksinim duyulandan fazlasının dayanım değerini düşüreceği kesindir. Burada en az su miktarını içeren ve dayanımı en iyi olan (0,812 MPa) macun karışımı 15,24 cm slampdaki testlerden elde edilmiştir. Sonuç olarak klastik atıkların macun dolgusunda en optimum karışım 15,24 cm slampda (%21,625 su, %78,375 katı) %6 bağlayıcı miktarda elde edildiği görülmektedir.

Şekil 7 ise, 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



Şekil 7. 16,51 cm slampda iki tip bağlayıcılı spek ve klastik atıkların kür süresindeki basınç dayanımı.

sonunda yapılan dayanım testlerini içeren eğrileri göstermektedir. Amaç her iki tip çimento dayanımları açısından kıyaslamaktır. Spek atıklarının macun numuneleri için 3 ve 7 günlük kür sürelerinde, her iki tip bağlayıcının göreceli olarak birbirlerine yakın değerlerde dayanımlara, sahip olduğu 7 günlük kür süresi sonrası ise A'nın B'ye göre daha dirençli olduğu 28 günlük kür süresinden net bir şekilde görülmektedir.

Klastik atıklı macun dolgu numuneleri için dayanımların kıyaslanmasında, A tipi bağlayıcının B'ye göre bir daha iyi olduğu, 3 günlük kür süresi dahil 28 günlük kür süresine kadar eğriden anlaşılmaktadır. Buna nedeni; 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 (klastik atık) ile %45 (spek atık) arasında olduğundan her iki tip çimento başlangıçta bu tip atakları önleyerek yeterli prizini aldığı ve dirençlerinde zamanla bir düşme görülmediği grafikten anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR

Özet olarak, macun dolgu seçiminde işin içinde mineralojik yapı, kimyasal bileşim ve bağlayıcı tipi, dolgunun kalitesinde önemli rol oynamaktadır. Çeşitli 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 dayanımları göz önüne alınmış; %7 bağlayıcıya sahip spek macun dolgu karışımının 17,78 cm slump değerinde, %6 bağlayıcı ile klastik macun dolgu karışımının 15,24 cm slampda en iyi dayanım özelliğini verdiği elde edilmiştir. Ayrıca, iki farklı tipte 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 B tipine göre dayanım açısından daha yüksek sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Fizibilite aşamasında deneylerin hassas şekilde yürütülüp en optimum sonuçların üretilmesi, macun dolgu tesis tasarımında maliyet açısından önemli olmaktadır. Çünkü her tesisin maden atığı kendine has mineralojik özelliğini sergilemekte ve değişik kimyasal yapısı bulunduğu; tane boyutu dağılımına göre pülp yoğunluğu, slump değerleri, ilave edilecek bağlayıcı miktarı da en iyi dayanım açısından değişecektir. Herhangi bir kriterin ihmal edilmesi, çalışma işlemi esnasında daha sonradan maliyetçe değişikliği gerekli kılacaktır.

KAYNAKLAR

Amaratunga, L.M. ve Hein, G.G., 1997; "Development of a High Strength Total Tailings Paste Füll Using Fine Sulfide Mili Tailings", Proceedings of the 29* Annual Conference of the

Canadian Mineral Processors, s. 960.

Annor, A., 1999; "A Study of the Characteristics and Behaviour of Composite Backfill Material", Ph.D. Thesis, Dept. of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, 396 s.

Anon, 2002; "Paste Backfill Preparation and Placement", Miner's Toolbox, <http://www.mininglife.com/Miner/Backfill>

ASTM (1995) 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, Cilt 32, s. 1133.

Brackebusch, F.W., 1994; "Basics of Paste Backfill Systems", Min. Eng., Cilt 46, s. 1175.

Chen, L.J. ve Annor, A., 1995; "A Study on the Properties of Gold Mine Tailings Fills", 97* Annual General Meeting of CİM Rock Mech. and Strata Control Session, Canada, s. 540.

ELE International, 1999; The World's Leading Manufacturer of Construction Materials Testing and Environmental Instrumentation, 394 s.

Grice, T., 1998; "Underground Mining with Backfill", 2nd Annual Summit-Mine Tailings Disposal Systems, Brisbane, Australia, s. 185.

Hassani, F. ve Archibald, J., 1998; "Mine Backfill", Editör: F. Hassani ve J. Archibald, CİM, Canada, 263 s.

Kesimal, A., Alp, I., Yılmaz, E. ve Erçıkıdı, B., 2002; "Optimization of Test Results Obtained from Different Size Slumps With Varying Cement Contents for Çayeli Mine's Clastic and Spec Ore Tailings", KTÜ Döner Sermaye Projesi, 38 s.

Landriault, D.A ve Lidkea, W, 1993; "Paste Fiil ve High Density Slurry Fiil", Int. Congress on Mine Design, Queens University, Canada, s. 327.

Landriault, D.A. ve 1995; "Paste Backfill Mix Design for Canadian Underground Hard Rock Mining", Proceedings of the 97* Annual General Meeting of the CİM Rock Mech. and Strata Control Session, Nova Scotia, s. 652.

Millette, D., Chen, L.J. ve Annor, A., 1995; "Preparation of Paste Backfill Using Full Stream Tailings with the CANMET System", Division Report MRL, 140 s.

Pierce, M.E., Barder, W.F. ve Paynter, J.T., 1998; "Laboratory Testing and Stability Analysis of Paste Backfill at the Golden Giant Mine", İn: Minefill 98, Proceedings of the 6* International Symp. on Min. with Backfill, Australasian JMM, s.210.

Çuellet, J., Benzaazoua, M., ve Servant, S., 1998; "Mechanical, Mineralogical and Chemical Characterization of a Paste Backfill", Tailings and Mine Waste'98, Colorado, s. 140.

Strömberg, B., 1997; "Weathering Kinetics of Sulphidic Mining Waste: an Assessment of Geomechanical Process in the Aitik Mining Waste Rock Deposits". AFR-Report159, Dept. of Chemistry, Royal Inst. of Tech., Sweden, 250 s.

TS 12143, Portland Kompoze Çimento

Weaver, W.S., ve Luka, R., 1970; "Laboratory Studies of Cement-stabilized Mine Tailings", Canadian Mining and Metallurgical Bulletin Cilt 64, Sayı 701, s. 988.