

MADEN ATIK YÖNETİMİ; MACUN TEKNOLOJİSİ KULLANIMI

Mine Waste Management; Use Of Paste Technology

Geliş (received) 24 Mart (March) 2009; Kabul (accepted) 8 Nisan (April) 2009

Nuray KARAPINAR(*)

ÖZET

Madenlerin aranması, çıkarılması ve zenginleştirilmesi sonucu oluşan maden atıkları uygun şekilde bertaraf edilmediğinde, çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturabilmektedir. Bu nedendir ki, maden atıkları, madencilik sektörü için kamuoyunun her zaman en fazla ilgisini çeken ve tartışma yaratan konulardan birisi olmuştur. Başlangıçta sadece zengin cevherlerin ekonomik olarak çıkarılabilmesinin bir sonucu olarak az miktarda olan cevher zenginleştirme artıkları, teknolojik gelişmelerle birlikte düşük tenörlü cevherlerin de ekonomik olarak işletilmeye başlanmasıyla hem miktar hem de nitelik olarak değişim göstermiş ve bu değişim cevher zenginleştirme artıklarının bertaraf edilmesini daha önemli bir konu haline getirmiştir. Bu durum artıkların kontrolsüz bertarafını dereceli olarak azaltarak sonlandırmış ve çökeltme havuzları ve barajların kullanımını gündeme getirmiştir.

Ancak, konvansiyonel yöntemleri içeren mevcut teknolojilerin güvenli olmayan birçok atık barajını miras bırakması, halkın artan ilgi ve baskısı ve global ve ulusal ölçekte artan sıkı yasal düzenlemeler, maden atıklarının yönetiminde yeni açılımları zorunlu kılmıştır. Bu amaçla yürütülen yeni teknoloji geliştirme çalışmalarında, macun teknolojisi ve susuzlandırılmış atık teknolojisi, 1995'den günümüze oldukça hızlı bir gelişme göstermiştir. Bu gelişme, maden atıklarının bertarafı konusunda sektöre hem işletme hem çevresel, hem de yasal mevzuatın uygulanması açısından birçok faydalar sağlamıştır.

Anahtar Sözcükler: Maden Atıkları, Atık Bertarafı, Susuzlandırılmış Artıklar, Macun, Çevresel Fayda

ABSTRACT

Mining waste resulting from the prospecting, extraction, and treatment of mineral resources might be potential threat to the environment and human health if it is not properly managed. For this reason, mining waste has been one of the issues getting into the focus of public interest and leading an argument for mining sector. At the beginning, due to the economical mining of the richest ores, the amount of tailings was less and then with the development of technology, tailings have been changed both in quantity and quality, resulting in an increase in the importance of tailings disposal. This situation gradually brought an end to uncontrolled dumping and has brought about the usage of settling ponds and dams.

However, since the conventional methods have left many unstable tailings dams, an increasing public concern and pressure and stringent legal regulation both in the World and national level, new approaches have become compulsory in mining waste management. Amongst the new technological developments that have been undertaken, paste technology and thickening tailings technology have made valuable progress since 1995. This new concept provides benefits related to the operational and environmental and regulatory aspect of mining waste management.

Keywords: Mining Wastes, Waste Disposal, Thickened Tailings, Paste, Environmental Benefits

(*) Dr. Maden Y. Müh. MTA Genel Müdürlüğü, Teknoloji Dairesi, 06800 Çankaya/Ankara, karapinarnuray@hotmail.com

1. GİRİŞ

Atık, genel anlamda, artık ihtiyaç duyulmayan ve uzaklaştırılan ya da mevzuat hükümlerine göre atılmak zorunda olunan her türlü madde olarak tanımlanabilir. Maden atıkları ise, madenlerin aranması, çıkarılması ve zenginleştirilmesi sonucu oluşan atıklar olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1); maden yatağına ulaşmak için uzaklaştırılan yüzey toprağı, örtü tabakası, yan kayaç ve çıkarılan cevherin zenginleştirilmesi sonrası arta kalan atıklar maden atıkları arasında yer almaktadır (2006/21/EC; Maden Atıklarının Yönetimi Direktifi).

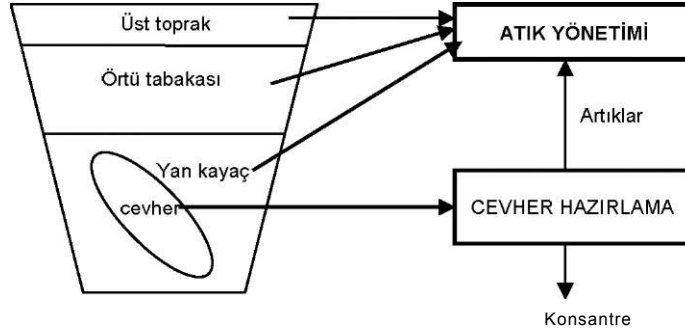
Dünya genelinde madencilik endüstrisi, yürüttüğü faaliyetlerin hem çevreye hem de insan sağlığına olan etkilerini, halkın bu etkileri daha fazla tolere edip edemeyeceğine bakılmaksızın, dikkate almaya zorlanmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı sadece kaynakların yönetimi anlamında değil, birçok endüstriyel ve ticari faaliyet için de kabul edilir bir tedbir haline gelirken, madencilik endüstrisi bu anlamda en fazla göz önünde olan sektör olmuştur.

Maden atıkları madencilik sektörü için genelde halkın en fazla ilgisini çeken ve tartışma yaratan konulardan birisi olmuştur. Çevreci gruplar tarafından madenciliğin dünyamıza verdiği zararın delili olarak gösterilmektedir. Mevcut işletmelerin çok az biroranı ve maalesef geçmişte yapılan işletmelerin ise çok büyük bir oranı için bu grupların haklı olduğu söylenebilir. Ancak, başta yasal mevzuat ve yaptırımların sonucu olmak üzere, madencilik sektöründeki teknolojik gelişmelerin kılavuzluğunda günümüz modern madencilik camiasında çevre dostu olmayan atık depolama yöntemlerini kullanan madencilik faaliyetlerini bulmak zordur. Zaten, küresel ölçekte artan yasal düzenlemeler, atık yönetimini kötü yürüten maden işletmelerinin faaliyetlerini devam ettirmesini de zorlaştırmıştır.

Maden atıkları tanımı içinde yer alan cevher zenginleştirme işlem(ler)i sonrası oluşan atık, istenilen değerli hammadde(ler)in alınmasından sonra geriye kalan, boyut küçültme işlemi nedeniyle ince taneli ve zenginleştirme yöntemi içinde su ile karışmasının bir sonucu olarak sulu çamur şeklinde oluşan atıklardır. İlk başlarda teknolojinin basit ve ilkel olması ve sadece zengin cevherlerin ekonomik olarak çıkarılmasının bir sonucu olarak çok az cevher

zenginleştirme işlemleri atıkları söz konusuydu. Ancak, 20. yüzyılda cevher zenginleştirme yöntemlerindeki gelişmeler özellikle flotasyon yönteminin geliştirilmesi, daha düşük tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesine olanak tanımış ve bu durumun cevher zenginleştirme atıkları üzerinde birçok etkisi olmuştur. Uygulanan yöntemlerin gereği cevher çok ince tane boyuna öğütüldüğünden sulu çamur halinde olan atıkların hacminde önemli artışlar olmuştur. Artıklar, başlangıçta, nehir, göl ve akarsulara boşaltılmış ve bu durum atıkların çok uzak mesafelere taşınmasına yol açmıştır. Ancak başta tarım olmak üzere, bu durumdan etkilenen diğer toprak kullanan gruplar, cevher zenginleştirme atıklarının kontrolsüz bertarafını dereceli olarak azaltmış ve sona erdirmiş, etkileri ilk atık barajı kurulması ile sonuçlanmıştır. Ancak, atık barajlarının iyi tasarlanmadığında işletme ve yönetimi iyi yapılmadığında ciddi tehlikeler yaratabileceği; hem çevre hem de insan sağlığı açısından yüksek riske sahip olduğu görülmüştür (<http://tailsafe.com>). Bu sistemlerin çökmesi, atıkların kontrolsüz yayılımı, tehlikeli akış kayması, ve/veya teknolojik ve çevre açısından tehlike yaratan kimyasalların etrafa yayılmasıyla sonuçlanmıştır. İlk atık barajı kazası 1917 yılında yaşanmış olup günümüze kadar birçok kaza meydana gelmiştir (www.wise-uranium.org/mdaf.html, 2009). Özellikle son yıllarda yaşanan atık barajı kazaları, maden atık yönetimi ile ilgili yeni yasal düzenlemeleri de beraberinde getirmiştir.

Geleneksel yöntemleri içeren mevcut teknolojilerin güvenli olmayan birçok atık barajı miras bırakması, halkın artan ilgi ve baskısı ve küresel ve ulusal ölçekte artan sıkı yasal düzenlemeler, maden atıkları yönetiminde yeni açılımları zorunlu kılmıştır. Bu amaçla yürütülen yeni teknoloji geliştirme çalışmalarında, macun teknolojisi, macun ve susuzlandırılmış atıklar teknolojisi veya susuzlandırılmış atık bertarafı gibi, yüksek yoğunlukta ve oldukça düşük nem içerikli susuzlandırılmış atıklar teknolojisi, 1995' den günümüze oldukça hızlı bir gelişme göstermiştir (Landriaault vd, 2001; Jewell vd, 2002). Bu gelişme cevher zenginleştirme atıklarının bertarafı konusunda sektöre hem işletme hem çevresel hem de yasal mevzuatın uygulanması anlamında birçok faydalar sunmuştur.



Şekil 1- Maden Atıkları (Management of waste from extractive industries, Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 2006/21/EC no'lu direktifi).

2. TEKNOLOJİ DEĞİŞİMİ- MACUN BERTARAF YÖNTEMİ

Halkın atık barajlarını güvenli olamayan yapılar olarak algılamaları, geleneksel atık yönetim sistemleri ile ilgili artan yasal baskı ve susuzlandırma ve taşıma teknolojilerindeki gelişmeler yeni atık yönetim sistemlerinin gelişmesinin arkasında itici kuvvet olarak yer almıştır. Maden atıkları yönetimi alanında en önemli değişim macun ve susuzlandırılmış atık teknolojisinin gelişimidir. İlk defa 1980 yılların sonunda duyulan "Macun Teknolojisi" terimi, yeraltı macun dolgu yöntemi şeklinde kullanılmaya başlanmış ve bu alanda sınırlı sayıdaki uygulamalardan günümüzde teknik olarak geçerli ve ekonomik açıdan çekici alternatif yöntem haline almıştır. Teknolojinin yeraltı dolgu sitemlerinde kullanımının artması güvenilirliği artırmış, beraberindeki teknolojik gelişmelerle macun hazırlama ve taşıma sistemlerinin maliyetleri de azalmıştır. Bu durum atıkların yerüstünde bertarafını kökünden değiştirme potansiyeline sahip, macunun yerüstünde bertarafı olasılığını da mümkün hale getirmiştir (Verbung, 2001). Ayrıca, yeraltı macun dolgunun, maden atıkları için güvenli bir depolama mekanizması, maliyetleri düşürücü ve orta ve uzun dönem yükümlülükleri azaltan bir yöntem olarak fark edilmesi bu alandaki gelişmelere ivme kazandırmıştır.

Yasal düzenlemelerin ve özellikle toplumun talebinin artmaya devam ettiği madencilik endüstrisinde, maden atık yönetiminde macun bertaraf teknolojisi kullanımının, birçok çevresel etkilerin azaltılması ve hatta ortadan kaldırılması için uygun bir araç olduğu görülmüştür.

Macun teknolojisi öncelikle atıkların etkin susuzlandırılmasını gerektirir. Bu durum yüksek yoğunluklu tükenerler ve/veya filtrelerin kullanımını zorunlu kılar. Dolayısıyla, gerekli yüksekteknolojikyapıların yokluğu belirli yerlerde uygulamada zorluk çıkarabilir.

2.1. MACUN NEDİR?

Macun, basitçe, atık ve suyun yoğun, viskoz karışımı olarak tarif edilebilir. Sulu çamurun (slurry) aksine, doğal halinde ve taşınması sırasında ayrılmayan özelliكتedir. Gravite veya pompa ile taşındığında, tıpalı akış oluşturur; ince taneler dış halka oluşturarak sürtünmeyi azaltır, iri taneler kanalın merkezine itilir ve böylece ince fraksiyon taşıyıcı rolünü alır. Bu durum, oldukça iri parçaların nakline izin verirken tane boyu ancak boru çapı ile sınırlıdır (Brackebush, 1994; Newman vd, 2001; Verbung, 2001).

Macunun en önemli ayırt edici özelliklerinden biri katıların tane boyu dağılımıdır. Macun yeterli miktarda su tutulmasını sağlayacak ince tane içermelidir. Çok sayıdaki ampirik verilere ve işletme tecrübelerine göre, tipik bir macunun en az ağırlıkça %15'inin 20 mikron altında olması gerekir. İnce tanelerin koloidal su tutabilme özelliği sayesinde ayrılmaya uğramayan ve tipik macun akış özelliği gösteren karışımlar sağlanır.

Macun uzun süre hareketsiz bırakıldığında bazı durumlarda çok az süzüntüsuyu bırakabilir. Ancak, tekrar kolayca akışkan hale getirilemeyecek yoğunluğa ulaşmaz, uzun süre duraylıdır ve boru hattı tıkanma riski taşımaz. Fazla suyun miktarı

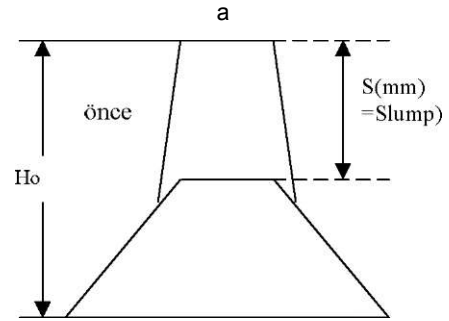
malzemeye bağlı olduğundan, macun belirli bir katı derişimi olarak da tanımlanamaz. Macun yaş beton ile benzer kıvamda olduğundan birçok jeoteknik karakterizasyon teknikleri beton endüstrisinden kaynaklanmıştır. Geleneksel çökme konisi beton testi uygulandığında slump özelliği gösterir. Slamp testleri genellikle macun karışımlarının viskozite ölçümleri için kullanılır. Slamp, birkarışım malzemesinin konikşeklindeki bir kaygan kalıptan serbest bırakıldığında maruz kaldığı boydaki düşmenin (oturmanın) bir ölçüsüdür (Şekil 2). Slampı belirleyerek bir malzemenin taşınabilirliği ile ilgili kıvam karakterize edilirve yeraltı macun dolgu siteminde optimum slump 150-200 mm arasındadır. Bu durum, taşımada basınç kayıplarını azaltır ve kazanılan dayanımı artırır. Yeraltı macun dolgu sistemlerinde macunun taşınmasında pompa nadiren kullanılırken; çimentonun rutin olarak ilave edilmediği yerüstü bertaraf sisteminde, pompalama macun bertaraf sisteminin en önemli parçasını oluşturur. Dolayısıyla, optimum slump yüksek olup 200-275 mm arasındadır. Bu slump değeri sürtünme kayıplarını azaltır ve macunun büyük tek bir pompa ile 2-3 km taşınmasına imkan sağlar. (Nevvman vd, 2001)

Belirli bir slump değerindeki macunun su içeriği ve yoğunluğu ince tane miktarına göre değişir. Tane boyu inceldikçe ıslanan yüzey alanı artacağından nem içeriği yüksek ve yoğunluğu düşük olacaktır. Tanelerin özgül ağırlıkları da karışımın yoğunluğunu etkileyen bir diğer faktördür. Uygulamada macun karışımlarının ağırlıkça katı yüzdesinin %40-90 arasında değiştiği, tipik bir porfiri bakır flotasyon tesisi artıklarından oluşan macunun %75 katı içerdiği belirtilmektedir (Meggyes, 2006).

Şekil 3'de katı-sıvı karışımları için bir sınıflandırma sistemi verilmiştir; katı derişimi arttıkça karışım sulu çamurdan macun ve kek kıvamına kadar değişiklik göstermektedir. Sulu çamur, susuzlandırma derecesine bağlı olarak, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek yoğunluklu sulu çamurlar olarak sınıflandırılır. Belli bir kıvamın üzerine koyulaştırılan atıklar non-nevntonian davranımı gösterdiğinden belirli bir akma gerilmesine (yield stress) sahiptir. Sulu çamurdan macuna geçiş noktası 200 ± 25 Pa akma gerilmesi, olarak kabul edilmektedir. Macun genelde Bingham plastik sıvısı olarak sınıflandırılmakla birlikte (yüksek viskozite; akış hızı arttıkça nispeten sabit bir viskozite),

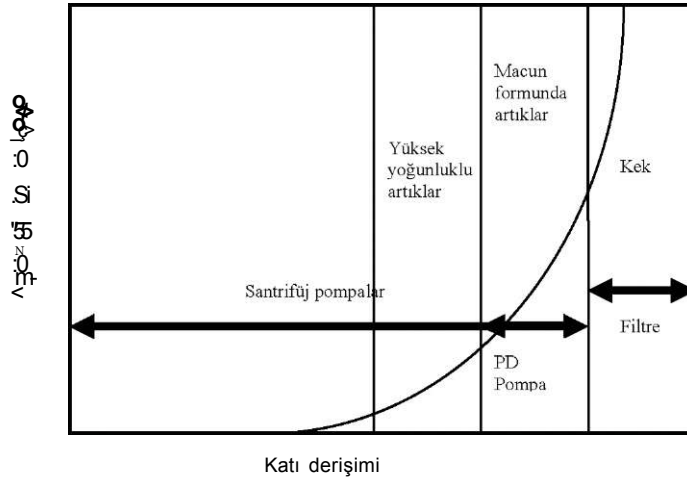
macunun boru hattı ile taşınması alanındaki tecrübeler, macun akış teorilerinin tam anlaşılır olmadığını göstermiştir. Viskozite zaman veya akış hızına bağlı olarak ya azalmakta ya da artmaktadır. Brackebush'a (1994) göre birçok macun pseudoplastiktir ve viskozite yüksek pompalama hızlarında azalır. Bu özellik boru hattı taşınması için yararlı bir özelliktir. Sulu çamur ve macun formundaki atıkların taşınmasında santrifüj ve pozitif yer değiştirmeli (positive displacement, PD) pompalar kullanılırken; çok yüksek yoğunluklu macun taşınmasında sadece PD pompalar kullanılabilir (Meggyes, 2006).

Artıkların macun kıvamından daha yoğun kıvamlara susuzlandırılması ile filtre keki (doğun) veya kuru kek (doymamış) formunda çok düşük nem içerikli, boru hattı ile taşınması yapılamayan atıklar elde edilir. Bu filtre keklerinin taşınması konveyörveya konteyner ile sağlanabilir



Şekil 2. Macun Kıvam ölçümü

- slamp testi şematik görünümü (Belem ve Benzaazoua, 2004)
- 250 mm slamlı macun (Nevvman vd, 2001)



Şekil 3. Susuzlandırma derecesi; katı derişimine karşılık akış özellikleri (Paterson, 2004).

Dolayısıyla herhangi bir macun veya susuzlandırılmış artık bertaraf sistemi tasarımı ve işletme şartlarının tespiti hem kesme hem de basma ile ilgili malzemenin reolojik özelliklerinin iyi anlaşılmasını gerektirir.

Susuzlandırma teknolojisindeki gelişmeler (Ultra yüksek hızlı ve ultra yüksek yoğunluklu tikinerler), bazı artıklar için yüksek slamlı macunların eldesini kolaylaştırmıştır bu da daha ucuz macun üretimi imkânı sağlamıştır. Sonuç olarak daha çevreci macun bertaraf yöntemini bir adım daha yaklaştırmıştır.

Şekil 4'de ultra yoğun susuzlandırılmış artık ve macun kıvamında artık akışları görülmektedir. Macun teknolojisinin öncülerinden biri olan Robinsky'e (1999) göre, gerçekte bütün cevher hazırlama yöntemleri macun üretimine uygun artıklar oluşturur. Ancak, artıkları macun formunda bertaraf etmeden önce jeoteknik ve jeokimyasal karakterizasyonunun yapılması gerekmektedir. Macunun uzun dönem çevresel duraylılığı bu anlamda özellikle önemlidir ve potansiyel çevresel etki faktörü derecesi ve doğası, uygun macun ve bertaraf senaryolarının seçimini etkiler.

2.2. Macun teknolojisinin çevresel faydaları

Çevresel faydalar iki ana kategoriye ayrılabilir: Macunun kendi fiziksel ve kimyasal karakteristiklerinden kaynaklı faydalar ve işletim kolaylığıdır (Verbung 2001; Nevman 2001).

Macun özelliklerinden kaynaklı yararlar;

(a)



(b)



Şekil 4 a) susuzlandırılmış b) macun kıvamında artıklar (Bedel vd, 2002).

Birinci olarak, çok az süzüntü (leachate) suyu oluşumdur. Dolayısıyla alıcı su ortamlarına ve biyolojik alıcılara potansiyel etkileri azdır.

Bu durum macunun iki özelliğinin bir sonucudur; çok az koloidal su varlığı ve geleneksel artıklara göre su sızıntısının (infiltration) az olması.

Macunun yeryüzünde bertarafında da, özellikle sınırlı olmayan alanlarda bile, gerçekte herhangi bir süzüntü suyu oluşumu gözlenmez. Oldukça sınırlı alanlarda veya macun hacmi arttığında, macun yüzeyinden çok az miktarda su çıkmaktadır. Ancak, bu durum macun serleştiği ve nihai görüntü ve şeklini aldıktan sonra çok hızlı kesilir. Herhangi bir süzüntü suyu oluşması durumunda gerekli deşarj standartlarını sağlamak için çok az seyreltme veya arıtılması durumunda küçük ölçekli bir arıtma tesisi yeterli olacaktır.

Ayrıca, koloidal su varlığı sayesinde macunun doygun koşulda olması, oksijenin girişini azaltacak ve asit kaya drenajı potansiyelini düşürecektir.

Macunu oluşturan artıkların geleneksel sistemdeki gibi tane boyuna göre tasnife maruz kalmaması ve tam tane boyu dağılımını koruması sayesinde macunun geçirgenliği artıkların geçirgenliğinden önemli oranda düşüktür. Ayrıca, taneler etrafındaki suya etki eden yerçekimi kuvveti etkisinin yukarı doğru olan kapiler kuvvetçe karşılanması bir sonucu olarak artıktaki çekme gerilmesi de süzülmenin (infiltration) azalmasını etkiler (Robinsky, 1999b).

Bu özellikler, yeryüzünde bertaraf sisteminde yağmur suyu ve kar suyunun süzülmesini azaltır ve dolayısıyla sızıntı su hacminde de azalmayı sağlar.

İkinci olarak, macun üretim teknolojisi macun jeokimyasının değiştirilerek çevresel fayda sağlayacak şekilde mühendislik malzemesi üretimine izin verir. Örneğin, portland çimentosu ilavesi ile artıklarda metal hareketliliğinin, alkali malzeme ilavesi ile de asit oluşumunun önemli ölçüde azaltılması mümkün olmaktadır.

Birçok potansiyel katkı maddesi mevcut olmakla birlikte, pozalonik ve/veya çimentolaşma özelliği bulunan portland çimentosu, baca külü ve cüruf gibi malzemeler caziptir. Ayrıca, pH kontrolü için

kireç ilavesi, metallerin soğurumunu artırmak için reçine ve yüzey aktif malzemeler, biyolojik sabitleme için organik karbon ve bakteri, veya gübre, tohum yüzey toprağı gibi reklamasyon çalışmalarını kolaylaştırmak ve yüzeyde bitki örtüsünü geliştirmek için ilave edilebilir.

Potansiyel katkı maddelerinden standart portland çimentosu (SPÇ), halen macun üretiminde en çok kullanılan katkı maddelerinden biridir. Jeoteknik yararlarının yanı sıra, SPÇ ilavesi macunun geçirgenliğini de azaltır. Çimentolanmış matriks içinde kirletici bileşenler mikro kapsüller içine hapsolür. Bu durum, potansiyel çözünen bileşenlerin taşınmasını azaltarak kirletici bileşen dağılımını kontrol eder. Ayrıca, SPÇ kullanımı jeokimyasal yararlar da sağlar; SPÇ tarafından sağlanan alkali, metal çözünürlüğünü azaltır, soğurumu artırır, nötralizasyon potansiyelini artırır ve asit oluşumunu azaltır, siyanürün buharlaşmasını azaltır ve kendi kendine ısınmayı azaltır.

Üçüncü olarak, diğer atık malzemelerin macun ile birlikte elden çıkarılması macun üretim teknolojisi ile mümkün olabilmektedir. Özellikle, uygun tasarlanan macunda, asit üreten kayanın hapsedilmesi, çevresel kontrol ve atık yönetimi anlamında önemli yararlar sağlanabilir.

Çok araştırılmış bir konu olmamakla birlikte, macun teknolojisi, diğer atık malzemelerin özellikle çevre açısından risk oluşturan artıkların birlikte bertaraf edilmesine imkân sağlayabilir. Bu atıklar, madencilik faaliyetleri sonucu oluşabilir ve dışarıdan da gelebilir. Macunun malzeme karakteristikleri ki mühendisler için kimyasal ve fiziksel kalitesini değiştirme fırsatı sunar, hem yeraltında hem de yeryüzünde birçok malzemenin hapsedilmesine (encapsulation) izin verir. Bu özellik, macunun atık yönetimi sistemi seçiminde macun kullanımı için finansal, işletimsel, çevresel ve yasal güçlü teşvik sağlayabilir.

3. YERALTI MACUN DOLGU SİSTEMİ

Macun teknolojisi ilk önce yeraltı dolgu sisteminde kullanılmıştır. Teknolojinin ilk büyük ölçek uygulaması Bad Grund Madeninde (Almanya) gerçekleştirilmiştir (Brackebush, 1994). Daha sonraları Güney Afrika ve Kanada'da bu alanda yapılan çalışmalarla yöntem daha da gelişmiş ve günümüzde macun dolgu yönteminin yeraltı işletmeciliğinde kullanımı yaygınlaşmıştır.

Genel anlamda yeraltı dolgu sisteminin birincil amacı, hem yeraltı madencilik faaliyetlerinin güvenli bir şekilde yürütülmesini hem de yüzeyde meydana gelebilecek çökmelerin (tasman) engellenmesini sağlamaktır. Dolgu malzemesi olarak çimento katkılı veya katkısız, yan kayaç (pasa), sınıflandırılmış artıklar, kum ve artıkların tamamı kullanılmaktadır. Son yıllarda çevreye odaklanan ilgi ve onu takip eden sıkı yasal düzenlemeler, atık bertaraf yöntemi olarak, artıkların tamamını içeren macun dolgu sisteminin kullanılması imkânını ekonomik olarak çekici hale getirmiştir.

Macun dolgu sistemi yeraltı boşluklarını duraylı hale getirirken aynı zamanda, yüksek kirlilik ve/veya asit kaya drenajına yol açacak artıkların kullanımına da izin verir. Yeraltı macun dolgu malzemesi, maden atıkları (katı derişimi %75-85), hidrolik bağlayıcılar (portland çimentosu, baca külü, yüksek fırın cürufu veya bunların kombinasyonları) ve suyun bir karışımıdır (Benzaazoua ve Beiern, 2000). Hidrolik bağlayıcıların fonksiyonu, macun dolgunun mekanik dayanımını artırmaktır. Önceki çalışmalar çimentolu macun dolgunun mekanik ve reolojik özelliklerinin cevher zenginleştirme artıklarının fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerine, su bileşimi, bağlayıcı tipi ve bunların oranlarına bağlı olduğunu göstermiştir (Mitchell ve Wong, 1982; Lawrence, 1992; Benzaazoua vd, 1999, 2002; McGregor ve Blowes, 2002; Kesimal vd, 2002, 2003).

Macun dolgunun istenilen uygulama için gerekli dayanımı sağlayacak şekilde düzenlenmesi mümkündür. Dayanım, çimento ilavesi artırılarak, nem içeriği azaltılarak ve agrega ilave edilerek artırılabilir. Bir çok durumda gerekli dayanım kuru bazda %2-4 portland çimentosu ilavesi ile sağlanabilmektedir.

Ancak, artıkların macun dolgu olarak kullanımından önce laboratuvar ve pilot ölçekli test çalışmaları ile uygunluğunun tespit edilmesi gerekir. (Brackebush, 1994).

3.1 Yeraltı Macun Dolgu Sisteminin Temel Faydaları

Yeraltı maden işletmeciliğinde 50 yılı aşkın süredir kullanılan Hidrolik Dolgu sistemine göre avantajları şunlardır(Brackebush, 1994):

Daha az çimento ile daha büyük dayanım sağlar.

Macun ile doldurulan boşlukta hidrolik dolguda olduğu gibi su drene etmeye gerek yoktur.

Temelde, bütün artıklar macun olarak kullanılabilir, oysa hidrolik dolguda sadece iri malzeme kullanılabilir. Sıklıkla iri malzeme azlığı problemi yaşanır. Dolayısıyla, macun sistemi malzeme denge problemini çözer.

Macun dolgu sistemi hidrolik dolgudan daha yoğun olduğundan gözeneklilik daha azdır. Sonuçta, dayanım daha iyidir ve artıklar için yerüstünde gereksinim duyulacak alanı azaltır.

Hidrolik dolguda direne olan şlamlar probleme yol açabilir; susuzlandırma pompalarında aşınmaya neden olabilir ve cevher akışına karışırsa güvenlik problemleri yaratabilir. Bu problemler macun dolgu sistemi ile ortadan kalkar.

Madencilik çevrim süresi macun dolgu sisteminde daha kısadır çünkü dayanım hidrolik dolgu sistemindekinden önce sağlanır.

Macun dolgu sisteminde, boşluk, sıvılaşma ve kum barikatlarının su ile yıkanması tehlikesi ile karşılaşılmeden sürekli malzeme ile doldurulabilir. Dolayısıyla, daha az duraklama ve başlamalardan dolayı macun dolgu sisteminde kütle akış hızı az olabilir. Daha yoğun karışımlarda, barikatlar ortadan kaldırılabilir veya atık kaya yığını gibi daha basit barikatlar kullanılır.

Macun dolgu sistemi mekanize yeraltı kazı ve dolgu sistemini kullanmayı sağlar. Bu güvenliği artırır ve neredeyse herhangi bir cevher kütlesi şekline uygulanabilir. Macun dolgu sistemi madencilik yöntemlerinde esneklik getirir. Örneğin, oldukça masif cevher kütlelerinde dikey yeniden işleme yapılabilir ve mekanize yeraltı kazı ve dolgu, düzensiz veya dar noktalarda kullanılabilir.

Kaya dolgu sistemi, hidrolik dolgunun mevcut olmadığı durumda kullanılan bir yeraltı dolgu yöntemidir. Kaya dolgu sisteminin uygulanması, zenginleştirme tesisinin madenden çok uzak olması veya proseste öğütmenin çok ince olması ve geçirgen hidrolik dolgu sağlamanın bir sonucu olabilir.

Macun dolgu sisteminin kaya dolgu sistemine göre avantajları şöyle sıralanabilir

Boru hattı transferi kaya dolgunun transferinden daha ucuzdur. Kaya dolgu sistemi, kamyon veya raylı sistem taşıması

Kaya dolgu sistemi macun dolgu sisteminden daha pahalı olabilir. Çünkü oluşan atık genelde yeterli olmayabilir, dolayısıyla, malzeme temini için açık ocak madencilik işlemi gerektirir. Kaya dolgu sisteminde artıkların depolanma maliyeti bütünün depolanması gerektiğinden yüksektir. Cevher zenginleştirme tesis artıkları kullanılamaz. Reklamasyon maliyetleri, açık ocak kayaç madenciliği nedeniyle yüksektir.

Genel olarak, macun dolgu yönteminin çevresel faydalarından bahsedilecek olursa (Levens ve Bodth, 1992, 1994; Levens vd, 1996);

- 1- Nötralizasyon potansiyeli yüksektir,
- 2- Sülfürlü minerallerin hava ile temas edecek yüzeyinde azalmaya yol açarak oksitlenmeyi azaltır ve su basması öncesi hava diffüzyonunu sınırlandırır, potansiyel asit kaya drenajını azaltır,
- 3- Çimentolu macun dolgunun düşük hidrolik iletkenliği metal iyonlarını
- 4- Yeraltı suyu akışı için hidrolik bariyer oluşturarak potansiyel sızıntı suyu oluşumunu azaltır.

Yatırım maliyeti açısından karşılaştırıldığında; macun sistemi, hidrolik dolgu sistemine göre daha yüksek sermaye yatırımı gerektirir, bu kabaca kaya dolgu sistemindeki ile aynıdır. Birçok durumda, macun dolgu sisteminde yatırım maliyeti azalan işletme maliyeti ve artan verimlilikle karşılanabilir. Macun sisteminin desteklenemeyeceği tek durum, başlangıç sermayesini geri kazanacak yeterli rezervin olmaması durumudur.

4. YERYÜZÜ MACUN BERTARAF YÖNTEMİ

Başlangıçta yeraltı macun dolgu sistemi olarak gelişen macun teknolojisinin kullanımı yüksek riskli ve yüksek maliyetli bir sistem olarak düşünüldüğünden gerçek dışı olarak görülmüş;

ancak, sisteminin başarılı uygulamaları, teknolojinin güvenilir dolgu yöntemi olarak kabulünü ve günümüzde binlerce ton macunun her gün sorunsuz olarak boşaltılmasını sağlamıştır. İşletim maliyetlerinin yüksek olarak değerlendirildiği, macunun yeryüzüne bertarafı konusunda da tarih tekrar etmektedir. Ancak atık barajları yükümlülüklerini azaltma yönündeki gittikçe artan yasal baskının ciddi bir itici kuvvet olduğu ve yatırım maliyetlerinin düşük ve izin sürecinin kısa oluşunun bir miktar maliyette azalma sağlayacağı ifade edilmektedir. Ayrıca, kurak ülkelerde su kaynaklarının daha dikkatli kullanılması ve korunmasının teknolojiyi geliştirici bir kuvvet olduğu ve bu gibi ülkelerdeki tecrübelerin maliyetlerde daha sonra azalmalara yol açacağı ileri sürülmektedir (Nevvman vd, 2001)

Dr. Robinsky, susuzlandırılmış artıkların yüzeyde bertaraf edilmesi konusunda ilk öncülerden biri olarak gösterilmektedir (Longo, 2007). İlk uygulamalardan biri, 30 yılı aşkın süredir hala faaliyette olan Kanada'da bulunan Kidd Creek

Geleneksel atık barajlarının çevre açısından riskli olmasının nedeni, barajın kendisi olmayıp, barajın oldukça gevşek, sağlam olmayan pekişmemiş kütleli tutması ve önemli miktarda proses suyu içermesidir. Baraj kazalarında, barajdaki malzeme yarıktan akarken tamamen sıvılaşmakta ve atıklar aşağıya doğru kilometrelerce akmaktadır. 1985 de İtalya-Stava'da gerçekleşen atık barajı kazasında 250 000 m³ sıvılaşan atık Stava vadisi boyunca barajdaki çatlaktan akmış ve 90 km/saatlik pik hıza ulaşarak 2 köyü toprak altında bırakmış ve bu kaza ile ilgili 268 kişi davacı olmuştur

Geleneksel atık barajı sisteminde artıkların, içi su dolu bir gölete boşaltılması malzemenin gevşek yapıda olmasına yol açmaktadır. Artığı oluşturan taneler suyun içinde çökelmekte, ağırlıkları suyu kaldırma kuvveti nedeniyle %50 azalmakta ve kart evleri şeklinde veya göl taban çamuru şeklinde gevşek yapı oluşturmaktadır

Artıklarında hayoğunkıvamların susuzlandırılması ile kendi kendini destekleyen artıklar oluşturmak mümkündür. Dolayısıyla cevher zenginleştirme artıklarının macun formunda

yeryüzünde depolanması çökme göleti/atık barajları gereksinimi ortadan kaldırır. Bunun için tesis çıkışı artıklar, proses suyunun çoğu uzaklaştırılarak (yüksek yoğunluklu tikinerler) duraylı hale getirilir. Tikinerlerde çökelen katı tikinerin altından alınırken üstten alınan su tesise geri beslenir. Tikinerlerde kıvamlştırma, artıkları, ayrışmaya uğramayan ancak hala pompalanabilir kıvama dönüştürecek yeterlilikte olmalıdır. Bazı durumlarda tikiner alt akımının bir kısmının filtre edilmesi ve daha sonra arta kalan tikiner alt akımı ile istenilen kıvamı yakalamak için birleştirilmesi gerekebilir.

Macun formundaki artıklar serbest bırakıldığı zaman, yoğun kıvamları ve dolayısıyla yüksek viskozite nedeniyle, ayrışmaya uğramadan uzun mesafe akar, nihayetinde az bir eğimde akış durur. Bu eğimin derecesi susuzlandırma derecesi ile belirlenir. Amaç, ılıman iklimlerde, % 2-6'lık bir eğime ulaşmaktır. Bu eğim derecesi erozyonu önleyecek yeterlidir ve bitki örtüsü için yeterli drenajı da sağlar. Kurak iklimlerde, daha dik eğimler tasarlanabilir. Susuzlandırılmış artıkların tasnif olmayan özelliği katıyı oluşturan tanelerin birbirlerine bağlanmasını sağlayarak hem erozyon hem de tozlaşma potansiyelini azaltır (Robinsky, 1999a; Azam, 2004; Meggyes, 2006).

Macun teknolojisinde atık bertaraf alanları tesis yakınlarında bir vadi ya da düz bir alan olabilir. Bir vadide eğimli bir atık alanı oluşturmak için susuzlandırılmış artık, vadinin tavanından ya da tepenin bir yamacı boyunca boşaltılır. Artık, vadi boyunca bireğimle karşılaşınca kadaracaktır veya alternatif olarak küçük bir baraj sayesinde durdurulur. Düz alanlarda, susuzlandırılmış artık yapay rampa veya tepe şeklinde boşaltılarak set veya atık konisi oluşturulur.

Macunun yerüstü depolanmasında akış özelliklerinin, boşaltma noktasından sonra malzemenin yeterince dağılımını sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Eğer malzeme yüksek katı içeriğine sahipse, akmaya karşı direnci yüksek olduğundan, yayılım göstermeyecek, boşaltma noktasının altında direkt yığın oluşturacaktır. Diğer taraftan, katı içeriği çok düşük olursa, çok uzaklara kadar akış gösterecek ve istenilen yığını oluşturmayacaktır. Su içeriği arttıkça kuruma da uzun zaman alacaktır.

Macun bertaraf yöntemi ile aşağıda ifade edilen temel problemler ortadan kaldırılacaktır (Meggyes, 2006):

yer sarsıntısı, ağır makinelerin yol açacağı titreşim ve hareketin neden olacağı atık barajı kazaları, yükseltile çökme göletlerinden olan sızıntıların yol açacağı erozyon ve barajın zarar görmesi, gömülü boşaltma borularının çökme tehlikesi, sıvı göletteki istenmeyen atık sıvının toprağa ve yer altı suyuna sızması, reklamasyonun ancak maden kapandıktan sonra başlaması.

Yeryüzü macun bertarafının ana avantajları çevresel fayda, güvenlik ve ekonomik fayda olarak sınıflandırılabilir (Nevvman vd, 2001; Meggyes, 2006). Bunlar;

yatırım maliyetinin azalması (büyük barajların inşası gerekmemekte), güvenliğin artması, halkın negatif algısının azalması, su kaynaklarının korunması (su tasarrufu), atık bertaraf alanının küçülmesi, toprak ve yeraltı suyu kirlenmesinin azalması, asidik maden sularının oluşmasının önlenmesi, madencinin yükümlülüklerinin azaltılması, harç ödemelerinde ve sigorta primlerinde azalma (atık barajı kazaları ile ilgili sorumluluklar azaldığından), diğer maden atıkları ile birlikte bertaraf imkanının olması ve bunun sonucu kapatılması ve izlenmesi gereken atık alanı sayısının azalması, diğer atıkları da kabul etme imkanı ile ilave gelir sağlanması, izin işlemleri sürecinin kısılması, çok az süzüntü suyu oluşumu sayesinde su tutma yapılarının boyutunu küçültmesi, reklamasyon şartlarında iyileşme sağlanması, tanelerin tasnifinin önlenmesi, eğimli atık yüzeyi sayesinde yağmur suyunun kolay ve hızlı drenajının sağlanması,

temel malzeme olarak potansiyel kullanım sağlamasıdır.

Ayrıca, hidrolik bağlayıcıların ilave edilmesi, yerüstü macun dolgunun dayanıklılık, duraylılık ve asit nötralizasyon potansiyelini artıracak, çimento katkısı macun malzeme içindeki kirleticileri duraylı kılacaktır.

4.1 Asidik Maden Sularının Oluşmasının Önlenmesi

Asit oluşturan artıkların geleneksel sistemde hava ortamında deşarjı ve artıkların tasnife uğraması oksitlenmesini hızlandırır ve sonuçta

Homojen ve geçirgenliği düşük olan macun uygulamalarında sadece açıkta kalan ince tabaka oksitlenir. Dolayısıyla, oksitlenme meydana gelmeden her bir atık tabakasının taze atıkla kaplanması asit oluşumunu önler. Bu tip uygulamalar tam olarak araştırılmamakla beraber, Kanada'daki bir uygulamada (Kidd Creek Madeni) atık tabakası 12-18 ay içinde yeni atıkla kapandığında asit üretiminin bir problem olmadığı görülmüştür (Nevvman vd, 2001). Ancak, bazı atıklar çok daha reaktif olabilir ve de eski atıkların üzerinin kaplanması uzun süre aldığında, yüzeyin tamamen kapanması sorunu

Susuzlandırılmış homojen artıklarda, ince taneli fraksiyon kapiler emme ile suyu yüzey yakınlarına yükselmesini sağlayarak, artıkları doygun halde tutar ve sülfidlerin oksijenle temasını dolayısıyla

4.2 Güvenliğin Artması

Güvenliğin artışı sağlayan temel faktör, macun sisteminin bazı durumlarda gerektirdiği küçük baraj çökse bile, barajın arkasındaki malzeme düşer fakat çok iyi pekiştiği, sağlamlaştığı için akmaz. Geleneksel şlam göleti olmadığından baraj göçmesinde lokal problem olarak kalır ve ekolojik felaketi tetiklemez.

4.3 Reklamasyon Şartlarında İyileşme

Konvansiyonel bertaraf yönteminin temel

problemi, madencilik faaliyeti sonlanmadan reklamasyonun yapılamamasıdır. Böyle düz geniş bir alan yağmur sularını almakta, atık içinden geçerek metal ve kimyasalları çözüp yeraltı suyuna taşıyabilme ihtimali taşımaktadır. Diğer taraftan, bu düz alanların kurumasına izin verildiğinde, ince taneler en üste olacağından tozlaşma eğilimi göstermektedir. Macun sisteminde, eğimli yüzeylerde yağmur suyu hemen drene olacak ve suyun atık içine geçmesi önlenecek ve ince taneler iri tanelerle matriksi içinde bağlı olduğundan tozlaşma da azalacaktır. Sahanın dereceli reklamasyonu hem suların sızmasını hem de tozlaşmayı önleyecek diğer

Yeni sistemin uygulanması bazı topografyalarda aşamalı reklamasyona izin verecektir. Bu durum, aktif olarak daha küçük atık alanı sağlayacaktır. Madenin herhangi bir nedenle terk edilmesi durumunda atıkanının çoğunun rehabilitasyonu gerçekleştirilmiş olacaktır. Aşamalı reklamasyon, kapanma sonrası nihai rehabilitasyonu garanti altına almak için talep edilen teminat miktarında azalma da sağlayacaktır. Dünya genelinde 68 atık ve cevher zenginleştirme tesislerinde yapılan testler, susuzlandırılmış artık bertaraf şartlarını sağladığını göstermiştir. Geleneksel sistemden yeni sisteme geçiş gerçekçi olarak sağlanmıştır

Maliyetler açısından karşılaştırıldığında; yüksek teknoloji ihtiyacı nedeniyle macun teknolojisi maliyeti yüksektir. Macun, disk filtre, tank susuzlandırma ekipmanı, siklon gibi sınıflandırma aleti, ihtiyaç olması halinde portland çimentosu gibi bağlayıcı madde ilavesi gerektirir. Yatırım maliyeti açısından karşılaştırma yapıldığında; macun sisteminin yatırım maliyetinin, geleneksel sistemdeki yapı inşaat ve işletim maliyetleri ve nihai reklamasyon maliyetleri de dahil edilerek bir karşılaştırmayapılması gerektiğiayrıca bu hesaba sistemin ekolojik felaketleri de önleyebilmesinin katılması gerektiği belirtilmektedir (Robinsky,

Geleneksel sistem, daha yüksek maliyetli;

- 1- ömür boyu sürecek, büyük sağlam barajların mühendisliği ve inşası,
- 2- barajın sürekli yükseltilmesi maliyeti, boşaltım noktasının sürekli yerinin
- 3- çokgeniş bir alanın reklamasyon maliyetini gerektirir.

Macunun yüzeye bertarafı, set inşası, mühendislik, izleme, kapama ve reklamasyon maliyetlerini önemli ölçüde azaltır.

İşletme maliyetleri açısından, macun sistemi için enerji tüketimi, tamir bakım masrafları, kullanılan PD pompaları nedeniyle maliyeti biraz daha

5. SONUÇ

Türkiye'nin, jeolojik yapısına bağlı olarak, maden kaynakları bakımından zengin bir ülke olduğu herkesçe bilinmektedir. Ayrıca, yeraltı kaynaklarımızın yeterince aranmadığı dolayısıyla daha keşfedilememiş maden kaynaklarımızın varlığından da bahsedilmektedir. Teknolojik ve bilimsel gelişmelerin ışığında son yıllarda yürütülen yerli ve yabancı arama faaliyetleri ile yeni rezervlerle, madencilik faaliyetleri artarak devam edecektir. Günümüzde birçok sektör, çevreye verdikleri zararları nedeniyle tartışılmakla birlikte, madencilik, bu tartışmalarda en fazla yer alan bir sektör olmuştur. Özellikle maden atıkları konusu hem halk hem de sivil toplum örgütleri tarafından en fazla tartışılan konu olmuş ve madenciliğin çevreye verdiği zararın delili olarak gösterilmiştir.

Çevrenin korunması ve rehabilitasyon, 80'li yıllara kadar yetersiz ve gönüllülük esasına dayanan bir konu iken; günümüzde 1983 yılında çıkarılan çevre kanunu ile başlayan ve onu takip eden bir dizi yasal düzenleme ile zorunlu hale gelmiştir. Günümüzde çevreye rağmen madencilik faaliyetlerinin sürdürülebilirliğinin söz konusu olmadığı herkesçe bilinmektedir.

Bilimsel ve teknik alanda düşünüldüğünde madencilik faaliyetlerinden kaynaklı çevresel etkilerin önlenmesi mümkündür. Bilimsel ve teknolojik gelişmeler, çevre koruma ve rehabilitasyon anlamında madencilik sektörüne yeni açılımlar sunmaktadır. Bu bağlamda, susuzlandırılmış artık ve macun teknolojisi maden atık yönetimine daha çevreci bir çözüm

Sürdürülebilirlik; ekonomik refah, çevrenin korunması ve sosyal sorumluluk olarak ele alınırsa, susuzlandırılmış artık ve macun teknolojisinin sürdürülebilir kalkınma için uygun bir araç olduğu açıktır. Bu özelliğinden dolayı

dünyada birçok madencilik faaliyeti sistemlerini susuzlandırılmış artık ve macun teknolojisine

Ülkemizdeki madencilik sektörü de dünya ölçeğindeki gelişmeleri takip etmeli, kendisi bazı kötü tecrübeler yaşamadan, başkalarının tecrübelerinden ders çıkartarak, yürüttüğü madencilik faaliyetleri için bilim ve teknolojinin önderliğinde en uygun teknikleri tercih etmelidir.

KAYNAKLAR

Anon, 2006; Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council on the Management of the Waste from Extractive Industries and amending directive 2004/35/EC

Azam S., 2004; Thickening of Mine waste, Geotechnical News, December, 40-43.

Bedell, D., Slottee, S., Parker, k., Henderson, L.(2002); Thickening process. In: Jwell, R. J., Fourie, A. B., Lord, E. R. (eds) (2002): Paste and Thickening tailings - Aquide. The Australian Centre of Geotechnics. The University of Western Australia. Nedlands, Western Australia.

Benzaazoua, M. and Belem, T., 2000; Optimization of sulfurous paste backfill mixtures for increased long term strenght and durability in Waste Treatmnet and environmental impact in the mining industry vol.1, eds: Sanchez M.A., Vergara F. And Castro S.H., 343-352

Benzaazoua M., Belem T., Bussiere, 2002; Chemical factors that influence the performance of mine sulphidic paste backfill, Cement and Concrete Research, **32(7)**, 1133-1144.

Benzaazoua, M., Ouellet, J., Servant, S., Newman, P., Verburg. R. (1999); Cementitious backfill with high sulfur content- physical, chemical, and mineralogical characterization. Cement and Concrete Research, 29, 719-725.

Belem T., Benzaazoua M. 2004; An overview on the use of paste backfill technology as a ground support method in cut-and-fill mines. Proceedings of the 5th Int. Symp. on Ground support in Mining and Underground Construction. Villaescusa & Potvin (eds.),28-30 September 2004, Perth,

Western Australia, Australia, Taylor & Francis Group, London, 637-650.

Brackebush, F.W.(1994); Basics of paste backfill systems. Mining Engineering. October, 1175-

Jewell, R.J., Fourie, A.B., Lord, E.R. (eds) (2002): Paste and thickened tailings- A guide. The Australian Centre of Geotechnics. The University of Western Australia. Nedlands, Western Australia.

Kesimal, A., Ercikdi, B., Yilmaz, E., 2002; Qimentolu macun dolgunun laboratuvar testi, Madencilik dergisi, **41(4)**, 11-20.

Kesimal, A., Ercikdi, B., Yilmaz, E., 2003; The effect of desliming by sedimentation on paste backfill performance. Minerals Engineering, **16**, 1009- 1011.

Landriault, D.A.K., Cincilla, W.A., Verburg, R.B.M., Scheetz, B.E., 2001; An introduction to paste technology for tailings, mine waste and dredge sediment management. Golder Associate Paste Tec. Colorado State University.

Lawrence, C.D., 1992; The influence of binder type on sulfate resistance. Cement and Concrete Research, **22**, 1047-1058.

Levens, R.L., Boldt, C.M.K, 1992; Hydrochemical impacts of mine waste backfill in underground sulfide mines, paper in Environmental issues and management of waste in Energy and mineral production. Proceedings: Second International Conference, eds. By R.K. Singhal, A.K. Mehrotra, K.Fytas, and J.L. Collins, Balkema, vol.2, 891-902.

Levens, R.L., Boldt, C.M.K, 1994; Environmental Impacts of Mine waste Sandfill, Report of Investigations 9493, United States Bureau of Mines, 15s.

Levens, R.L., Marcy, A.D., Boldt, C.M.K., 1996; Environmental Impacts of Cemented Mine waste backfill, RI 9599, United States Bureau of Mines,

Longo, S., 2007; Using paste technology to support environmental goals. Mining

Environmental Management, Oct., 17-19.

McGregor R.G. and Blowes D.W., 2002; The physical, chemical and mineralogical properties of three cemented layers within sulfide-bearing mine tailings. Journal of Geochemical Exploration, **76**, 195-207.

Meggyes, T., 2006; Paste and Thickened Tailings Technology. Tailings Management Facilities- A State-of-the-Art, Report, www.miro.co.uk/tailsafe-if/restricted/docs/wp1_contents.pdf.

Mitchell, R.J., Wong, B.C. 1982. Behavior of cemented tailings sands. Canadian Geotechnical Journal, **19**, 289-295.

Newman, P., White R. and Cadden A., 2001; Paste-the future of tailings disposal. Proceedings of the International Conference on Mining and the Environment, 594-603.

Paterson, A.J.C., 2004; High density slurry and paste tailings, transport systems. International Platinum Conference 'Platinum Adding Value', The South African Institute of Mining and Metallurgy.

Robinsky, E.I., 1999a; Tailings dam failures need not be disasters- Thickened tailings disposal (TTD) system. CIM Bulletin. **92(1028)**, 140-142.

Robinsky, E.I., 1999b; Thickened tailings disposal in the mining industry, Robinsky Associates,

Verburg, R.B.M., 2001 ; Use of paste technology for tailings disposal: potential environmental benefits and requirements for geochemical characterization, International Mine Water Association Symposium, Belo Horizonte, Brazil,