T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MACUN DOLGU TASARIMINDA BAKIR-KURŞUN-ÇİNKO CEVHER ZENGİNLEŞTİRME ATIKLARININ KARAKTERİZASYONU

Ömer Hami KAVLU

Danışman : Prof Dr. Ahmet Erdal Osmanlıoğlu

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden Mühendisliği Programı

İSTANBUL 2019

Bu çalışma 26.12.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Ahmet Erdal OSMANLIOĞLU
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Alaettin KILIÇ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Erol KAM
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

"Macun Dolgu Tasarımında Bakır-Kurşun-Çinko Cevher Zenginleştirme Atıklarının Karakterizasyonu" konu başlıklı bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesi aşamasından tezin son aşamasına kadar geçen sürede bilgi, deneyim, destek ve görüşlerinden faydalandığım danışman hocam Prof Dr. Ahmet Erdal OSMANLIOĞLU'na, tez çalışması boyunca gerekli konularda yönlendirmesine ve bilgilerine başvurduğum değerli hocam, Araş. Gör. Dr. Serkan TÜYLÜ ve Araş. Gör. Dr. Deniz ADIGÜZEL'e teşekkürlerimi sunarım. Tez süresince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

ARALIK 2019 Ömer Hami KAVLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİL LİSTESİ ..... **iv**
ÇİZELGE LİSTESİ v
ÖZET vi
SUMMARY vii
1.GİRİŞ 1
BÖLÜM 1 : BAKIR–KURŞU-ÇİNKO KOMPLEKS CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ 2
1.1. Bakır – Kurşun - Çinko Kompleks Cevherlerinin Özellikleri 2
1.2. Kopleks Cevher Zenginleştirme Yöntemleri 3
1.3. Selektif Konsantre Üretme Yolları 4
2. Bakır – Kurşun - Çinko Kompleks Cevherlerinin Flotasyon ile Zenginleştirilmesi 5
2.1. Flotasyon Nedir ? 5
2.2.Flotasyon Reaktifleri 6
2.2.1. Toplayıcı (Kolektör) Reaktifler 7
2.2.2. Düzenleyici (Kontrol) Reaktifleri 7
2.3. Flotasyona etki eden faktörler 8
BÖLÜM 2: MADEN ATIKLARI VE ATIK YÖNETİMİ 9
2.1. Atık Yönetimi Genel Koşulları 11
2.2. Maden Atıklarının Sınıflandırılması 11
2.3. Maden Artık Bertarafı 12
2.3.1. Yerüstü Bertaraf Yöntemleri 13
2.3.2. Yeraltı Ocaklarında Atık Bertarafı 17
2.3.3. Derin Deniz, Nehir ve Göl Deşarjı Atık Bertarafı 19
2.4. Yeraltı Çimentolu Macun Dolgu Yöntemi 21
2.4.2. Çimentolu Macun Dolgu Avantaj Ve Dezavantajları 22
2.4.1. Çimentolu Macun Dolgu Dayanımı Etki Eden Faktörler 23
2.4.3. Çimentolu Macun Dolgu Karışım İçeriği 26

2.4.4. Çimentolu Macun Dolgu Karışım Özellikleri 27
BÖLÜM 3: ÇALIŞMA ALANI 28
3.1. Coğrafi Konum 28
3.2. Yomra Kayabaşı Cevher Yatağının Mineralojisi 29
3.3. Rezerv Durumu 30
3.4. Zenginleştirme Tesisi 30
3.4.1. Kırma Ünitesi 30
3.4.2. Öğütme Devresi 30
3.4.3. Bakır Yüzdürme(Flotasyon) Devresi 31
3.4.4. Bakır Susuzlandırma Devresi (Konsantre Devresi) 31
3.4.5. Atık Susuzlandırma Ünitesi 32
Bölüm 4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI 33
4.1.Macun Dolgu Hazırlanmasında Kullanılan Çimento Malzemesinin Kimyasal ve Fiziksel İçeriği 34
4.2.Artık Malzemenin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi 35
4.2.1.Özgül Ağırlık 35
4.2.2. Tane Boyut Dağılımı 36
4.3.Artık Malzemenin Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi 40
4.4. Macun Dolgunun Kıvam Özelliklerinin Belirlenmesi 41
4.5.Macun Dolgu Reçetelerinin ve Numunelerinin Hazırlanması 44
4.6.Tek Eksenli Basma Dayanımı 45
TARTIŞMA VE SONUÇ 50
KAYNAKLAR 53
ÖZGEÇMİŞ 58

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 : Kalkopirirt Minerali 2
Şekil 1.2. : Flotasyon Hücresi 5
Şekil 2.1 : Madencilik Operasyonları 9
Şekil 2.2 : Atık Yönetim Hiyerarşisi (T.Ç.Ş.İ.M., 2011) 10
Şekil 2.3: Yerüstünde Maden Atıklarının Depolanması 13
Şekil 2.4: Klasik Baraj Tipi 13
Şekil 2.5: Set tipi baraj 14
Şekil 2.6: Açık Ocak Depolaması 14
Şekil 2.7: Kuru atık depolama 15
Şekil 2.8: Yerüstü Macun Bertaraf Yöntemi 16
Şekil 2.9: Yerüstü Depolama 17
Şekil 2.10: Yeraltı ocakları Atık Bertarafı 18
Şekil 2.11: Kaya Dolgu 18
Şekil 2.12: Hidrolik dolgu 19
Şekil 2.13: Su altında Atık Bertarafı 20
Şekil 2.14: Sualtı atık bertarafı 20
Şekil 2.15 : Başlıca Kullanılan Bağlayıcı Tipleri Özellikleri 26
Şekil 2.16 : Macun Dolgu Bileşenleri (Belem ve Benzaazou,2007) 27
Şekil 3.1 : Tesis Konumu 28
Şekil 3.2 : Çamburnu Cevher Hazırlama Tesisi Akım Şeması 31
Şekil 3.3: Atık Susuzlandırma Ünitesi 32
Şekil 4.1 :Artık malzemesinin özgül ağırlığının bağlayıcı tüketimine ve maliyetine etkisi (Fall ve diğ., 2005) 35
Şekil 4.2: Tane boyutunun tek eksenli basınç dayanımına etkisi (Yılmaz vd., 2003). 37
Şekil 4.3: Slump Testinde kullanılan malzemeler 42
Şekil 4.4: Slump test örneği 43
Şekil 4.5 : Slamp Testi Grafiği 43
Şekil 4.6 : Deneyde Kullanılan Beton Mikseri 44
Şekil 4.7 : Numune Kalıplarının Hazırlanması 45
Şekil 4.8 : Numunelerin kür süreleri sonundaki TEBD değerleri 48
Şekil 4.9: %9 ve %11 çimento oranındaki numunelerin 56 günlük kür süresi sonundaki durumları ... 49

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: Başlıca dolgu tipleri ve özellikleri (Archibald vd. 2003) 21
Çizelge 2.2: Macun Dolgu Dayanım Sınıfları 22
Çizelge 2.3: Macun dolgu dayanımını ve duraylılığını etkileyen faktörler 25
Çizelge 4.1 : Laboratuvar Çalışmaları Akım Şeması 33
Çizelge 4.2: Kullanılan Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 34
Çizelge 4.3 : Artık malzeme yoğunluk miktarı 36
Çizelge 4.4 : Macun dolgu karışımının boyuta göre sınıflandırılması (Kesimal vd., 2002). 36
Çizelge 4.5 : Atık elek analizi 39
Çizelge 4.6 :Uniforluk katsayısı ve eğrilik katsayısı 39
Çizelge 4.7: Artık Malzemenin Kimyasal Özellikleri 40
Çizelge 4.8 : Literatürde Geçen Dayanım Değerleri 46
Çizelge 4.9 :Farklı kür sürelerine ve çimento oranına sahip numunelerin TEBD sonuçları 47

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Macun Dolgu Tasarımında Bakır-Kurşun-Çinko

Cevher Zenginleştirme Atıklarının Karakterizasyonu

Ömer Hami KAVLU

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof Dr. Ahmet Erdal Osmanlıoğlu

Madenlerin cevher hazırlama tesislerinde zenginleştirilmesi sonucunda oluşan atık malzeme çevresel tehlike açısından bertarafı büyük önem taşır. cevher hazırlama tesis artıkları sülfür içeriği fazla olması sebebi ile tehlike arz etmektedir. Sülfür içeriği yüksek olan atıklar çevre için zararlı ve zehirli gaz içerdiğinden dolayı da canlılar için tehlikelidir. Bu tür artıkların bertarafı için birçok yöntem geliştirilmiştir. Yöntemler arasında en çok tercih edilen macun dolgu yöntemidir. Macun dolgu, pasa adını taşıyan maden tesis atıklarının macun dolgu tesislerinde makul miktarda su veya bağlayıcı malzemeler ile (çimento veya silis dumanı, cüruf, uçucu kül benzeri puzolan malzemeler) homojen bir şekilde hazırlanan bir karışımdır. Macun dolgu sistemiyle artıklar yerüstünde depolanabildiği gibi yeraltında da depolanabilir. Yeraltında genellikle cevher üretim boşluklarını doldurmak ve gerekli dayanımı sağlamak için kullanılır.

Macun dolgu yeraltında kullanılması için belirli özelliklere sahip olması gerekir. Öncelikle kullanılan malzemenin tane boyut dağılımı 20 micron altı taneler ağırlıkça en az %15 olması gerekir. Bir diğeri de dolgunun yeraltındaki dayanım özellikleridir. Dayanımının ölçüldüğü yöntemlerden arasında sıkça kullanılan Tek Eksenli Basınç dayanımı testidir. 28 günlük kür süresi geçiren dolgu malzemesinin dayanımları 0,7 – 4 MPa arasında değişmesi istenilen bir durumdur. Bu tez kapsamında Karadeniz Bölgesinde işletilmekte olan Bakır Cevheri Hazırlama Tesis artığı 7,14,28 ve 56 günlük kür süreleri içinde %3,%5,%7,%9,%11 çimento karışım oranlarında yeraltı macun dolgu olarak kullanımının uygunluğunun araştırılması konusu ele alınmıştır.

Aralık 2019, 68 sayfa.

Anahtar Kelimeler : Bakır-Kurşun-Çinko Flotasyonu, Çimentolu Macun Dolgu, Macun Dolgu, Dayanım

SUMMARY

M.Sc. THESIS

Characterization of Copper Lead Zinc Mineral Processing Tailings for Paste Backfill Design

Ömer Hami Kavlu

İstanbul University
Institute of Graduate Studies in Science and Engineering
Department of Mining Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet Erdal Osmanlıoglu

Waste material created as a result of the enrichment of mines in ore preparation plants disposal in terms of environmental hazard is of great importance. Residues from ore preparation plants are dangerous due to the high sulfur content. Wastes with high sulfur content are hazardous to the environment as they contain harmful and toxic gases for the environment. Many methods have been developed for the disposal of such residues. Among the methods, the most preferred paste filling method. Paste filler is a homogeneous mixture prepared by adding a certain amount of water or binder materials (cement silica fume, slag, fly ash) to the paste filling facilities of the mine plant wastes. With the back filling system, residues can be stored above ground or underground. It is often used to fill ore production cavities and provide the required strength.

Paste filler must have certain properties to be used underground Firstly the particle size distribution of the material used should be at least 15% by weight of the particles below 20 micron. Another is the underground strength properties of the filling. Uniaxial compressive strength test is a commonly used method for to measure the strength of the material. This is the strength required, which has a curing time of 28 days, varies between 0.7 and 4 MPa. The purpose of this study was to research the suitability of using as underground filler at 3%, 5%, 7%, 9%, 11% cement mixture ratios in curing times of 7-14-28 and 56 days.

December 2019, 68 pages

Key Worlds : Copper –Lead- Zinc Flotation ,Cemented paste backfill , Paste Backfill,Strenght

1.GİRİŞ

Maden endüstrisinin insanlık tarihi açısından önemi büyüktür. Yaşam döngüsünü sürdürmek için gerekli olan başta enerji olmak üzere malzeme hammaddesi üretimi maden ocaklarından çıkan ürünler ile sağlanır. Bu sebep ile dünya çapında madencilik faaliyetleri oldukça fazladır. Bu faaliyetler sırasında elde edilen cevher hazırlama tesisi ürünleri dışında çok miktarda maden artığı da çıkmaktadır. Özellikle metal madeninin cevher hazırlama tesis artıkları sülfür içeriği fazla olması sebebi ile tehlike arz etmektedir. Ortaya çıkan bu artıklar hem insan sağlığı hem de çevre açısından zararlı etkileri fazladır.

Maden artıklarının zararlı etkilerini azaltmak veya bertaraf etmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında önemli yere sahip yöntemlerden biride macun dolgu yöntemidir. Macun dolgu, pasa adını taşıyan maden tesis atıklarının macun dolgu tesislerinde makul miktarda su veya bağlayıcı malzemeler ile (çimento veya silis dumanı, cüruf, uçucu kül benzeri puzolan malzemeler) homojen bir şekilde hazırlanan bir karışımdır.

Macun dolgu sistemiyle artıklar yerüstünde depolanabildiği gibi yeraltında da depolanabilir. Yeraltında genellikle cevher üretim boşluklarını doldurmak ve gerekli dayanımı sağlamak için kullanılır. Macun dolgunun yeraltında kullanılabilmesi için bazı koşulları sağlaması gereklidir. Bu tez kapsamında Karadeniz Bölgesinde işletilmekte olan Bakır Cevheri Hazırlama Tesis artığının yeraltı macun dolgu olarak kullanımının araştırılması konusu ele alınmıştır.

BÖLÜM 1 : BAKIR–KURŞU-ÇİNKO KOMPLEKS CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

1.1. BAKIR – KURŞUN - ÇİNKO KOMPLEKS CEVHERLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Bakır içeriği bakımından zengin maden yataklarında değersiz mineraller yatak tiplerine göre değişiklik gösterir. Damar tipli yataklar da kalsit, kuvars ve silikatler gang mineralleri oluştururken dissemine olan yataklarda da kuvars , feldispat ve kaolen gang mineralleri oluşturur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Kalkopirirt Minerali

Bakır, kurşun ve çinkonun üretimlerinin yapıldığı maden yatakları kompleks bir minerolojik yapıya sahiptir ve bu metallerin yanı sıra nicelik olarak fazlaca pirit bulundururlar. Başlangıçta buradaki metallerin bir arada bulunması cevherin değerini yükselttiği söylenebilir. Fakat günümüz zenginleştirme teknolojisi karmaşık mineralleri içeren cevherlerdeki metalleri tek tek değerlendirip paraya dönüştürülebilecek düzeyde değildir. Buna karşılık son 30 yıl içerisinde yapılan geniş araştırmalar sonucunda bu tür cevherlerin büyük bir kısmı potansiyel rezerv durumundan çıkarılarak çoğu ülkede ekonomiye sokulmuştur. Kanada, Avusturalya, İskandinav Ülkeleri ve Japonya karmaşık yapıdaki bu çeşit cevherleri uzun sürelerdir işleyen ülkelerden başlıcalarıdır.

Yapılan araştırmalar, hangi cevherin kompleks hangisinin olmadığı konusunu belli eden özellikleri henüz ayırt edememiştir. Bu tür cevherlerin genel olarak kabul edilmiş ortak özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Kompleks cevherler, yüksek miktarda pirit içerir. Bu oran %90' a kadar çıkabilir.
- En az iki metal (bakır-çinko, bakır-kurşun, kurşun-çinko) mineralleri pirit yapısı yaygın bir tane boyutu arasında iç içe geçmiş bir şekilde dağılım gösterirler.
- Kesin bir düşünce olmamakla birlikte önemli oranda altın veya gümüş içerdikleri belirtilir.
- As, Sb, Bi gibi zararlı safsızlıkları diğer cevher tiplerine göre daha fazla içerirler.
- Çoğu cevherin oluşumu sualtı volkanizma faaliyetlerine bağlıdır. Ekzalatif sedimanter olarak yataklanmışlardır.
- Tavan ile taban uç noktarı kesin olarak ayırt edilebilinir.
- Rezerv olarak cevher yatakları başına birkaç 100.000 ton ile birkaç 1.000.000 ton arasında değişir. Tenör ve minerolojik dağılım oldukça düzensizdir.

Yüksek tenöre sahip Cu-Pb-Zn cevherlerini içeren yataklarının sayısının azalması nedeniyle düşük tenör içeren kompleks cevherlere sahip yatakların değerlendirilmesi gerekliliği artmıştır. Bu nedenle düşük tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesinde yeterli olamayan gravite yöntemlerinin yerine bu tür cevherleri daha verimli zenginleştirme özelliğine sahip flotasyon yönteminin önemi artmıştır.

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Cu-Pb-Zn içeren kompleks cevherler ile yapılan araştırmalar sonucunda bu tür cevherleri istenilen yüksek tenör ve verim oranları için sadece karışık konsantre üretim metotları kullanılarak zenginleştirilebileceği ortaya konulmuştur.

1.2. KOPLEKS CEVHER ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Konsantre üretim yönteminin belirlenmesinde en önemli ölçü birimi kardır. İşletme için karın en yüksek olduğu seçenek, kullanılan cevherin zenginleştirilebilmesi için istenilen seçenek olur. Bu sebeple detaylı araştırmalar yapılıp, ürünün zenginleştirme girdilerinin iyi hesaplanması gerekir.

Kompleks cevherlerin zenginleştirme işlemi ilk önce cevher hazırlama işlemleri ile başlar. Yapının içerisinde bulunan minerallerin fiziksel özellikleri dikkatte alınarak öncelikle gang

minerallerin ayrılmasını amaçlayan boyut küçültme işlemleri yapılarak metal bileşikleri konsantre ürünü içerisinde toplanması sağlanır. Bu tür cevherler için en önemli yöntem flotasyondur. Flotasyonda ayrılacak olan yapılar katı haldedir ve katı-katı ayrımı yapılmaktadır. Sülfürlü minerallerinin flotasyonunda uygun ayrımı sağlamak için toplayıcılar, köpürtücü görevini yapan ve farklı türlerde inorganik ile organik regülatör kimyasallar kullanılır.

Düşük tenöre sahip kompleks cevherlerin zenginleştirilmesi için yüksek seçiciliğe sahip flotasyon düzenleyicilerine ihtiyaç duyulur. Dikromat, siyanür, sülfit, hidrosülfit ve hipoklorit gibi genellikle kullanılan inorganik regülatör kimyasalları bu ihtiyacı karşılarlar. Ama bu kimyasalların kullanımı çevre için tehlike taşır. Sülfürlü cevher içeren madenler için selektif toparayıcı özelliğinde, çevreye zararsız polisakkaridler gibi doğal, kolayca bozunabilir, toksik olmayan düzenleyicilerin önemi artan düzeydedir.

Birden fazla cevher metali içeren karma düzendeki cevherlerden konsantre üretim seçeneklerini belirlemek için detaylı laboratuvar çalışmaları yapılması gerekir. Çünkü üretim seçenekleri tercihi fazladır. Bakır-Kurşun-Çinko cevherleri zenginleştirilmesinde cevherin mineralojik yapısı ve ergitme koşulları elverişli flotasyon yönteminin belirlenmesi için çok önemli bir etkiye sahiptir. Kompleks Cu-Pb-Zn konsantresi için uygulanan üretim seçenekleri aşağıda gösterilmiştir ;

a) Tamamıyla selektif Cu-Zn-Pb konsantreleri (Boliden, İsveç)

b) Seçimli Bakır-Kurşun-Çinko konsantreleri ve temizleme devresindeki artıklardan alınan balk konsantresi ile cevher üretilmesi (Brunswick. Kanada)

c) Seçimli Bakır konsantresi ve Kurşun-Çinko balk konsantre üretimi

1.3. SELEKTİF KONSANTRE ÜRETME YOLLARI

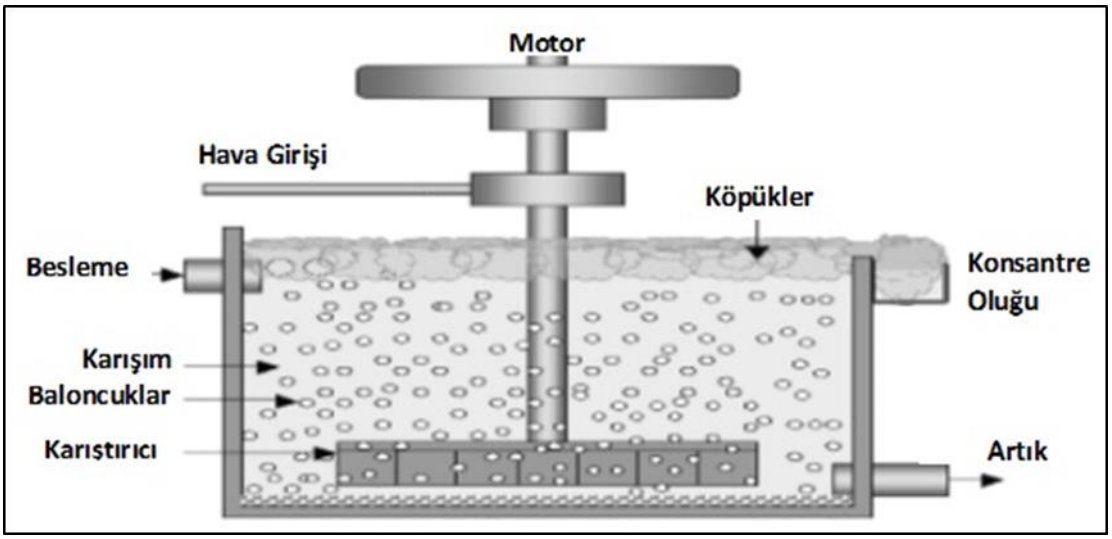
Birden fazla cevher metali içeren karma düzendeki cevherlerin (Cu-Pb-Zn) flotasyon işleminde en başta sfalerit ve pirit bastırılır. Daha sonra ilk flotasyon aşamasında bakır ile kurşun beraber yüzen kısımda bulundurulur. Bu sistemde batan kısım önce çinko devresine gönderilir ve çinko mineralinin canlandırılarak yüzdürülmesi sağlanır. Sonra çinko devresindeki batan kısım pirit devresine beslenir ve pirit konsantresi üretilir. İlk flotasyon kısmında alınan bakır ve kurşun selektif flotasyon yöntemiyle birbirinden ayrı konsantreler üretilmesi sağlanır.

2. BAKIR – KURŞUN - ÇİNKO KOMPLEKS CEVHERLERİNİN FLOTASYON İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

2.1. FLOTASYON NEDİR ?

Flotasyon ayrılması için çok ince tane boyut seviyelerine ihtiyaç duyulan mineraller için kullanılan bir zenginleştirme yöntemidir. Flotasyon yöntemi, üretilmesi istenen cevherin suyu sevme (hidrofilik) ve suyu sevmeme (hidrofobik) özelliklerininden faydalanarak sıvı bir ortamda baloncuk oluşturarak su üstünde durması veya sualtına batması ile diğer maddelerden ayrılmasını sağlar. Flotasyon ilk kullanıldığı yıllarda, bu yöntem bakır, kurşun, çinko minerallerinin zenginleştirilmesinde kullanılmıştır. Günümüzde ise aynı cevher yatağından, bu mineraller ile birlikte, diğer birçok kıymetli mineraller de flotasyon yöntemiyle kazanılır. Metalik mineraller dışında fosfat mineralleri, fluorit, feldspat, barit gibi pek çok endüstriyel mineraller flotasyonla zenginleştirilebilir.

Flotasyon yaş zenginleştirme yapan bir metottur. Bu metot, cevherlerin zenginleştirilmesi, mineral tanelerinin gang kısımdan ayırarak sıvı üzerine yükselen köpükte toplayıp, değersiz kısmı ise sıvı altında bırakma amacıyla yapılır. Şekil 1.2'de bir flotasyon hücresi gösterilmiştir.



Şekil 1.2. : Flotasyon Hücresi

Flotasyona uygun olan maksimum tane büyüklüğü, cevheri oluşturan tanelerin yoğunluğu, havaya yapışma kuvveti ve şekline bağlıdır. Kömür 1.6 – 1.0 mm boyutunda dahi köpüğe rahat bir şekilde yapışır. Metal sülfürleri için maksimum tane büyüklüğü ise 0.3- 0.2 mm' dir. Altın, hem yoğunluğu yüksek bir metal olduğundan, hem de köpüğe yapışma kuvveti zayıf olduğundan, sadece 0.15-0.1 mm altında flotasyon yöntemiyle kazanılır. Ortalama 5-10 mikrondan ince tanelerin flotasyonla kazanılması güçtür. Yüzmeyip batan kısımda bulunan gang mineraller genellikle daha sert ve dayanıklı olmaları nedeniyle, yüzen kısımlardan daha iri olurlar. Gangın fazla iri olması ise kolayca çökmesi, sistem borularında ve makine hareketlerini zorlaması ve aşındırmalara sebep olması nedeniyle zararlıdır.

Yüzdürme işlemi sadece su kullanılarak mümkün olmadığından flotasyon işlemi için malzeme içerisine reaktif kimyasalları eklenir. Bu reaktifler sırayla birlikte pH ayarlayıcı, bastırıcı, canlandırıcı, toplayıcı (kollektör), köpürtücülerdir.

Flotasyon prosesinin verimli olacağı tane boyutu 45 meshden büyük olmamalıdır. Flotasyon yönteminin uygulanabilirliği için aşağıda belirtilen koşul maddelerinin aynı zamanda oluşmuş olması gerekir.

- Cevher içerisindeki minerallerden bir tanesi havaya karşı yüzey direncine sahip olması gerekir.
- Suyu sevmeyen mineraller hava kabarcıklarına yapışarak taşınabilir özelliğine sahip olmalıdır.
- Flotasyon sıvısında, yüzey gerilimini aktifleştiren kimyasallar bulunmalıdır.

2.2.FLOTASYON REAKTİFLERİ

Reaktifler karışımda, katı halde, emülsiyon halinde veya sulu çözelti halinde sisteme aktarılır. Reaktifler tesis laboratuvarlarında kontrol edildikten sonra, çalışan cevhere en uygun cins, miktar ve reaksiyon zamanları bakılarak sistem için uygunluğu tespit edilir. Aynı tip cevhere sahip yataklar arasında bile kullanılmak istenen reaktiflerin cins ve miktarları arasında büyük farklılıklar vardır. Çünkü flotasyonu istenen kıymetli mineral aynı olmasına rağmen, gang mineralin cinsleri, cevher içerisindeki mineral tanelerin büyüklüğü, cevher yatağında bulunan

diğer yantaş minerallerin cinsi, oksitlenme derecesi her yatakta farklılık gösterebilir. Öğütme şartları ve mineral içeriği- yapısı değiştikçe, kullanılan reaktiflerin cinsleri ve miktarları da büyük oranda değişiklik gösterir. Cevher öğütmesi inceldikçe, yüzey alanı artacağından dolayı daha fazla reaktif yüzeyde çözünür ve gerekli reaktif miktarı artar.

2.2.1. Toplayıcı (Kolektör) Reaktifler

Toplayıcı özellikteki reaktif kimyasalları, mineral yüzeyine bağlanarak, yüzeyin hidrokarbon tabakası ile kaplar ve mineralin hava kabarcığına yapışarak yüzmelerini sağlayan kimyasal maddelerdir. Kolektörler iki grupta toplanabilirler;

- Anyon Grubu (Karbosilikatlar-Sülfatlar-Sülfonatlar-Merkaptanlar-Ksatatlar-Dithiofosfatlar)
- Katyon Grubu (Aminler)

Genellikle anyon aktif grubu sülfürlü cevherlerde, katyon aktif grubu ise oksit flotasyonlarında kullanılır.

2.2.2. Düzenleyici (Kontrol) Reaktifleri

Flotasyon karışımındaki tüm mineraller kolektörlerle kaplanarak flotasyona uygun yüzey özellikleri kazanmaları halinde, çeşitli mineralleri flotasyonla birbirinden ayırmak mümkün olmaz. Reaksiyonu oluşturabilmek için, başka iyonların yardımcı etkisine gerek vardır. Su içerisinde çözünmüş bulunan iyonlar kolektörle köpüğün kaplanmasını güçleştirir veya engel olabilirler. Bunların etkisini azaltan iyonların flotasyon karışımına katılmasına ihtiyaç duyulabilinir. Bu sebepten ötürü kolektörler dışında kontrol reaktifleri adında genellikle inorganik veya organik olan kimyasal reaktifler flotasyona katılabilir. Genellikle kullanılar kontrol reaktifleri aşağıda gösterilmiştir;

- **Bastırıcı Reaktifler:** Mineral yüzeyinde kolektör adsorpsiyonunu azaltan reaktiflerdir. En önemli bastırıcı siyanürdür.

- **Canlandırıcı Reaktifler:** Mineral yüzeyinde kolektör adsorpsiyonunu artıran reaktiflerdir. Bazı koşullarda, kolektörler mineral tanelerinin yüzeyini değiştirmek için yeterlilik göstermez. Buna benzer koşullarda mineral kazanım verim miktarını yükseltmek için canlandırıcılar kullanılması gerekir.

- **Ph Düzenleyiciler:** Flotasyon ortamında pH miktarının ayarlanması için ihtiyaç duyulur. Minerallerin su üstünde kalmaları veya batmaları sırasında pHın önemli bir etkisi olduğu için, flotasyon operasyonları sırasında sürekli kontrolü sağlanmalı ve düzenlenmelidir. Ph'ın düşürülmesi istendiğinde genelde sülfirik asit , yükseltilmesinde ise sodyum hidroksit kullanılır.

- **Köpürtücüler:** Flotasyonun temelini oluşturan köpük oluşumu sadece su kullanılarak yapılamaz. Bu nedenle köpük için köpürtücülerin kullanılması gereklidir. Temel görevi yüzey gerilimini azaltılmasını sağlamaktır. Köpürtücü yardımıyla oluşturulan kabarcıklar herhangi bir düzensizliğe uğramadan, istenilen tanecikleri yukarı taşımasını sağlar ve yukarıda taneleri biriktirir. Çam yağı önemli köpürtücü reaktiflerinden biridir.

2.3. FLOTASYONA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

- Tane boyutu ve yoğunluğu
- Hava kabarcık boyutu
- Koşullandırma Zamanı
- Çözeltinin pH
- Reaktiflerin yoğunluğu
- Karışım yoğunluğu
- Çalkalama yoğunluğu
- Bekleme süresi
- Reaktif çeşitleri
- Yıkama suyu miktarı

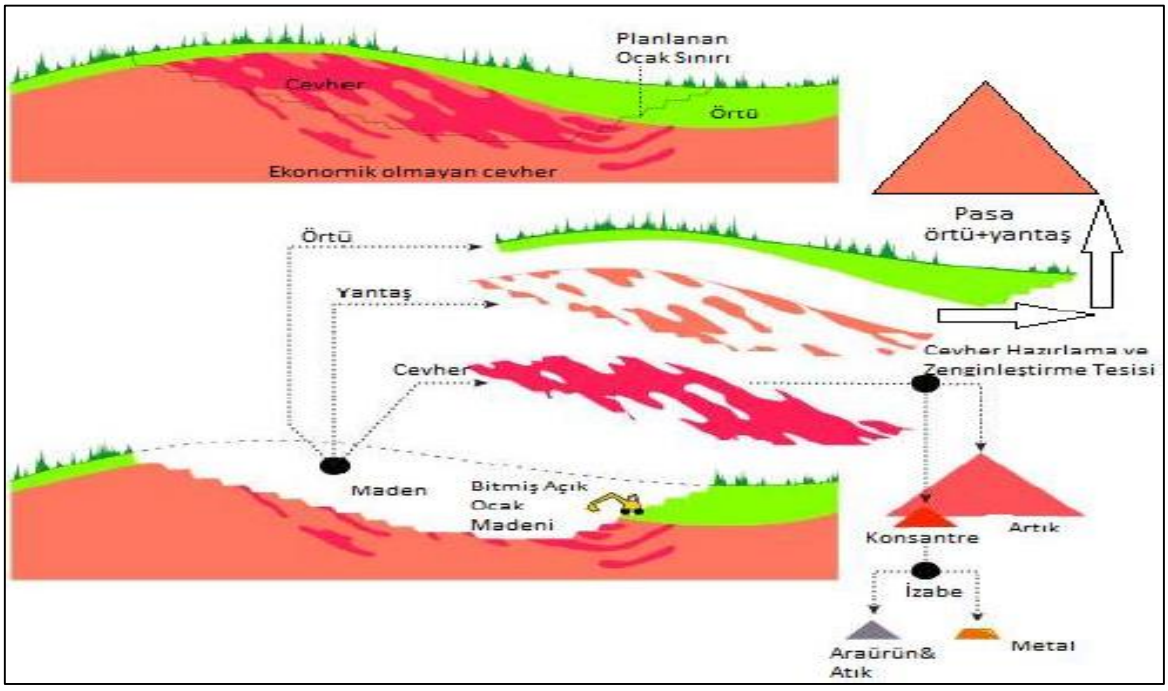
BÖLÜM 2: MADEN ATIKLARI VE ATIK YÖNETİMİ

Madencilik operasyonları sırasında ve sonunda oluşan malzemenin isimlendirilmesi amacıyla genelde ortak olarak kullanılan "artık" ve "atık" kavramları anlamlarını başlangıçta belirtmek gerekir.

Artık: Cevher zenginleştirme ve kömür hazırlama işlemi sırasında ayrılan ve herhangi bir ekonomik değere sahip olmaması nedeniyle atılan bölümdür. Örnek olarak lavvar tesisinde kömür şisti , flotasyon sonucundaki cevher alındıktan sonra kalan batan malzeme gösterilebilir. Fakat artık tamamıyla değersiz değildir; sadece üretildiği zaman herhangi bir ekonomik değer yoktur.

Atık: Herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan çevreyi fiziksel, kimyasal görsel olarak kirletme özelliği taşıyan maddelerdir. Madencilikte ise maden ocağı operasyonları ve metalürjik işlemlerden sonra oluşan herhangi bir ekonomik değere sahip olmayan maddelerdir.

Madencilik operasyonları sırasında oluşan pasa, artık ve izabe sonrasında oluşan atık şeklinde tanımlanan malzemeler ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.1 de bunlar gösterilmiştir (Coil ve diğ, 2012).



Şekil 2.1 :Madencilik Operasyonları

Atık yönetimi: Maden operasyonları sonucunda oluşan atığın toplanması, taşınması, geri kazanımı, bertaraf edilmesi, bertaraf sahalarının madencilik faaliyetleri bitiminden sonra kontrol altında tutulması ve bütün faaliyetlerin gözetilmesi, denetiminin yapılması ve izlenmesi işlemlerini ele alan bir faaliyetler bütünüdür. Şekil 2.2. de Avrupa Birliği atık önleme hiyerarşisi gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Atık Yönetim Hiyerarşisi (T.Ç.Ş.İ.M., 2011)

Avrupa Birliği Atık Önleme Hiyerarşisinin ilkelerinin açıklamaları aşağıda belirtilmiştir:

Atık Önleme; birincil hedef sıfır atık oluşması ve bertaraf edilmesi istenen atık miktarını gerektiğince en aza düşürülmesini sağlamaktır. Bu nedenle atıklar üretim aşamasında önlenmeli ve hem atık miktarı hem de tehlike düzeyinin azaltılması gerekmektedir.

Yeniden Kullanım; Atığın yapısını bozacak herhangi bir işleme sokmadan ilk üretim amaçları doğrultusunda onarılarak veya onarılmadan tekrar tekrar kullanılmasıdır.

Geri Dönüşüm; atık malzemenin yeni üretim malzemesine dönüştürerek kullanılmasıdır.

Enerji Geri Kazanımı; Atıkların yakıt veya enerji üretilmesi için hammadde olarak kullanılması, kullanılmış yağların işlemden geçirilip tekrar kullanılması gibi geri dönüşümden farklı olarak fiziksel ve kimyasal işlemler sonucunda tekrar hammadde olarak kullanılmasıdır.

Güvenli Bertaraf Edilmesi; Geri kazanım özelliği taşımayan atıkların çevreye zarar vermemek koşuluyla yakılarak veya güvenli bir şekilde depolanarak bertarafının yapılması.

2.1. ATIK YÖNETİMİ GENEL KOŞULLARI

- Atık ve atık üretiminin zararlı durumunun engellenmesi ve azaltılması,
- Atığın geri kazanımının sağlanması veya enerji hammaddesi olarak kullanılması,
- Atık yönetiminde çevre ile insan sağlığı için zararlı yönlerinin olmadığı yöntem ve proseslerin seçilmesi,
- Atıkların taşıma lisansına sahip tesisler tarafından etkisiz hale getirilmesi veya geri kazanılması,
- Atıkları etkisiz hale getirmek için yakın ve uygun tesisler seçilmeli,
- Bertaraf sırasında çevreye zarar vermeyen uyumlu teknolojik yöntemler kullanılması,
- Atıkların sebep olduğu zararlardan dolayı şirketlerin sahip olduğu sorumluluklar,

2.2. MADEN ATIKLARININ SINIFLANDIRILMASI

Maden atıkları aşağıdaki kategorilerden bir tanesine uygun olarak sınıflandırılır.

–Tehlikeli Atıklar

–İnert (ve/ veya kirletilmemiş topraklar) Atıklar

–Tehlikeli olmayan (inert olmayan) Atıklar

Tehlikeli Atık; Ekolojik dengeyi, insan ve diğer canlıların doğal sistemini fiziksel, kimyasal ve/veya biyolojik yönden olumsuz etkileyen atıkları ve atıklar tarafından kirlenmiş maddeleri içerir.

Atık bertaraf tesislerinin bazıları tehlikeli atık tesisi şeklinde sınıflandırılır ve bu tesislerin diğer bertaraf tesislerine göre daha yüksek seviyede kontrolünün sağlanması gerekir.

İnert Atık; Fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak yüksek seviyede değişim geçirmeyen, çözünmeyen, yanmayan, bulaştığı maddeleri çevreye ve insanlara zarar verir biçimde etki etmeyen, yerüstü ve yeraltı sularını kirletme tehlikesi göstermeyen atık maddelerdir. Aşağıda belirtilen kısımda inert atığın tehlikeli sınıfında bulunmaması için sahip olması gereken koşulları belirtilmiştir.

- Atık, çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilecek parçalanma veya çözünme özelliğine sahip olmamalı,
- Atığın içerisinde bulunan sülfür oranının %0,1 değerini geçmemiş olması gerekir
- Atığın kendi kendine yanma ihtimali olmamalı ve yanmaması gerekli,
- As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V ve Zn başta olmak üzere çevre veya insan sağlığı açısından zararlı olma ihtimali bulunmamalı ve ulusal tepe değerlerini veya ulusal düzeyde belli olan doğal seviyedeki oranları aşmamalıdır,
- Atık çıkarılma veya işlemesi sırasında kullanılan malzemelerin çevre veya insan sağlığına zararlı olabilecek tehlikede bulunmaması gerekir.

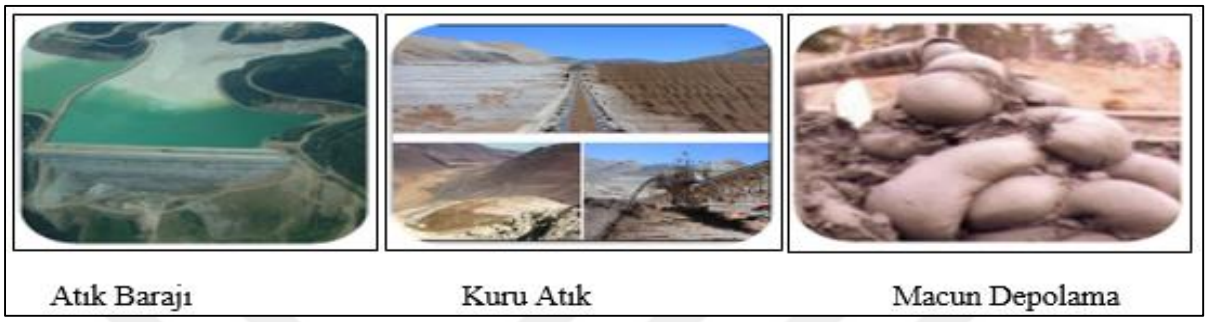
İnert Olmayan - Tehlikeli Olmayan Atıklar; Atıkların fiziksel etkileşimi ile ilgili, kimyasal olarak istikrarlı ancak fiziksel olarak duraysız olan atıklardır.

2.3. MADEN ARTIK BERTARAFI

Maden operasyonları sırasında oluşan maden artıkları uygun bir şekilde bertaraf edilmediği zaman doğa ve insan sağlığını tehdit edebilir. Bu sebeple maden artıkları kamuoyunun dikkatini fazlaca çeken tartışmalara neden olan bir konudur. İlk zamanlar, sadece yüksek tenöre sahip cevherler işletilirken günümüzde düşük tenörlü cevherlerde çıkarılabilmektedir. Bu nedenle artık miktarının günümüzde daha fazla olduğu görülmüş ve atık bertaraf yöntemlerinin önemi daha da artmıştır. Madencilik faaliyetlerinde kullanılmakta olan atık bertaraf yöntemleri genel olarak atığın türü, uygulanan yöntemin amacı, bulunduğu konum, yerleşimi, su deşarj durumlarına uygun olarak yerüstü, yeraltı ve sualtı olarak üç ana başlık altında sınıflandırılır (MMSD, 2002).

2.3.1. Yerüstü Bertaraf Yöntemleri

Setlendirilmiş baraj ve havuz yapıları, doğaya geri kazandırılmış kuru atık depoları, işlenmiş liç yığınları, açık ocak boşlukları, özel hazırlanmış çukurlar başlıca yerüstünde atıkların bertarafının sağlanacağı yerlerdir. Atık barajları, Kuru atık ve macun dolgu olmak üzere üç kısma ayrılır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Yerüstünde Maden Atıklarının Depolanması

Atık Barajları: Çoğunlukla vadilerde uygulanan yüksek hacime sahip barajlar klasik baraj tipi olarak adlandırılır. Bu tür barajlar işletmeler için yüksek yatırım maliyetine sahiptir. Şekil 2.4 de klasik baraj tipine örnek verilmiştir.



Şekil 2.4: Klasik Baraj Tipi

Set tipi barajlar çoğunlukla düz arazi koşullarında hazırlanırlar. Artıkların depolanacağı bölgenin evresi ilk olarak birkaç metrelik bir dolgu seti ile çevrilir. Kapasite dolması ile dolgu seti üzerine tekrardan dolgu yapılması ile kademeli bir şekilde kapasitesi arttırılır. Şekil 2.5 de set tipi baraj örneği verilmiştir.



Şekil 2.5: Set tipi baraj

Açık ocak içerisine depolama çoğunlukla su içeriği yüksek malzemenin madencilik işlemleri bitmiş ve doğal bir havuz olarak kullanılabilecek açık ocak çukurları içerisine depolanması olarak belirtilir. Herhangi bir baraj yapımına ihtiyaç duyulmaması büyük bir avantaj sağlar. Yeraltı suyunu kirletme riski olması nedeniyle de büyük bir dezavantaja sahiptir. Şekil 2.6 da açık ocak depolaması gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Açık Ocak Depolaması

Kuru atık depolama: Bu depolamada artıkların sahip oldukları su miktarı malzemenin sahip olduğu doğal nemine kadar düşürülür (%85 ve üzeri katı oranı) ve depolama yapılır. Bu seviyedeki malzemenin kuru olması nedeniyle nakledilmesi sırasında konveyör bantlar veya kamyonlar kullanılır. Şekil 2.7 da kuru atık depolama örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Kuru atık depolama

Bu yöntemin başlıca avantajları;

- Suyun önemli olduğu tesis performansını etkilediği kurak yerlerde suyun geri kazanımı açısından önemlidir.
- Herhangi bir harici destek ünitesine ihtiyaç duyulmaması ve malzemenin kendi kendini tutabilir olması sebebiyle sismik olarak hareketli bölgelerde sorunsuz bir şekilde depolanabilir (Davies ve Rice, 2001).
- Herhangi bir sızıntı su olasılığı yoktur ve yeraltı suyunu kirletmez.
- Filtrasyon ile artık içerisinde proses kimyasalları ayrılmaktadır.

Bu yöntemin dezavantajlarının başında yüksek proses ve nakliye giderleri gelmektedir. Ayrıca sülfürlü atıkların bu şekilde depolanması asit maden drenajı sebebiyle uygun değildir.

Yeryüzü Macun Bertaraf Yöntemi: Su içeriği alınmış artıkların yerüstünde bertaraf edilmesi konusunda öncü olarak Dr. Robinsky gösterilmektedir (Longo, 2007). Yerüstü macun dolgu yönteminin ilk uygulamalarından biri olarak 30 yıldan uzun süredir faaliyette olan Kanada'daki Kidd Creek Madeni gösterilir.

Normal yöntemlerde atık barajına içi su dolu bir çukura boşaltılması artığın akışkan bir yapıya sahip olmasına neden olur. Böylelikle artığın döküldüğü yerde tabanda gevşek yapıda çamur kıvamında tabaka oluşur. Şekil 2.8 ‘da yerüstü macun bertaraf yöntemine örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Yerüstü Macun Bertaraf Yöntemi

Macun kıvamına getirilmiş artıklar sahip oldukları yüksek viskozite nedeniyle, dağılmadan uzun mesafelere gidebilirler ve küçük bir eğimde dururlar. Bu eğim miktarı erozyon olmasını engelleyecek seviyededir ve bitki örtüsüne gerekli drenaj koşullarını da sağlar. Su oranı azaltılmış artıkların sahip oldukları özellik katıyı oluşturan taneciklerin birbirlerine yapışmasını sağlar, hem erozyon hem de tozlaşma miktarını azaltır (Robinsky, 1999a; Azam, 2004; Meggyes, 2006).

Macun sisteminde atık bertaraf bölgeleri, tesis yakınında bulunan düz bir arazi seçilir. Eğimli bir depolama isteniyorsa vadi tavanından veya yamacından doğru boşaltılabilir. Düz alanlarda ise eğimli bir rampa yardımıyla depolama yapılabilir.

Macunun yerüstü depolanmasında su içeriğine dikkat edilmesi gerekir. Su oranı fazla ise malzeme istenilen yerde durmayıp uzak mesafelere gidebilir. Su oranının az olması durumunda ise malzeme döküldüğü yerde hemen yığın oluşturacak ve istenilen yayılımı sağlamayacaktır. Şekil 2.9’da yerüstü depolamaya örnek gösterilmiştir.



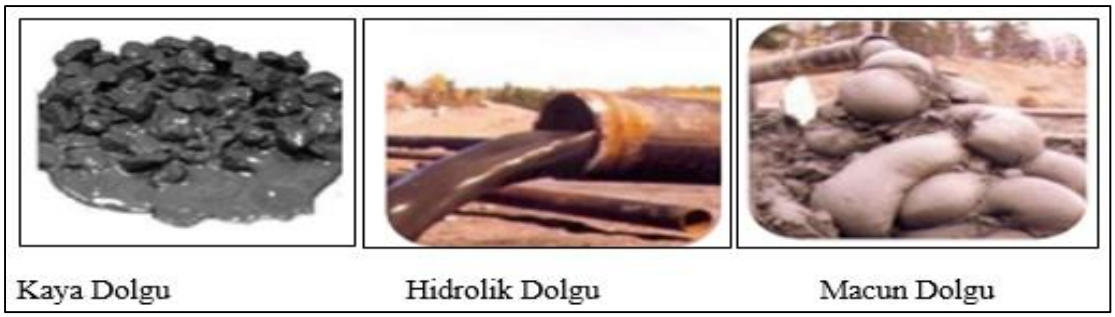
Şekil 2.9: Yerüstü Depolama

Yeryüzü macun bertarafının avantajları aşağıda belirtilmiştir (Nevvman vd, 2001; Meggyes, 2006).

- Büyük barajların inşasına ihtiyaç duyulmamasından dolayı yatırım maliyetinin düşük olması
- Oluşabilecek kazaların önlenmesi ile güvenliğin artması,
- Atık sahalarının üzerindeki kamuoyu negatif düşüncesinin azaltılması,
- Baraj sızıntı sularının olmaması nedeniyle su kaynaklarının korunması,
- Atık bertaraf alanlarının küçülmesi, reklamasyon şartlarında iyileşme sağlaması
- Atık baraj kazalarının önlenmesi sebebiyle harç ödemelerinde ve sigorta primlerinde azalma
- Eğim derecesi yüksek atık yüzeyi yardımıyla yağmur sularının kolayca ve hızlı bir şekilde drenajının sağlanması

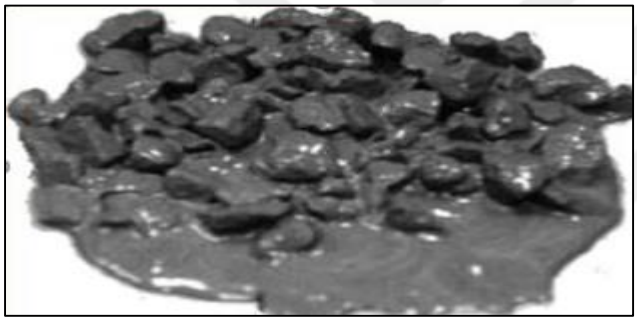
2.3.2. Yeraltı Ocaklarında Atık Bertarafı

Yeraltı maden ocaklarında cevheri alınmış boşlukları doldurmak için proses artıklarından yararlanılabilinir. Yeraltında atık bertarafı için kullanılacak üç yöntem vardır. Bunlar Şekil 2.10 ‘da belirtilmiştir.



Şekil 2.10: Yeraltı ocakları Atık Bertarafı

Kaya Dolgu: Büyük tane boyutlarına sahip malzemenin yeraltında üretim boşluklarına doldurulması ile yapılan dolgu türüdür. Dolgu malzemesi olarak cevher üretimi sonucu oluşan kayaçlar, patlatma ile oluşan taş parçaları açık ocak dekapaj malzemeleri iri boyutlu malzemeler fırın cürufları kullanılır. Kaya dolgusu gerekli durumlara göre yeraltı boşluklarına çimentolu olarak da yerleştirilir (Potvin, 2005) (Şekil 2.11).

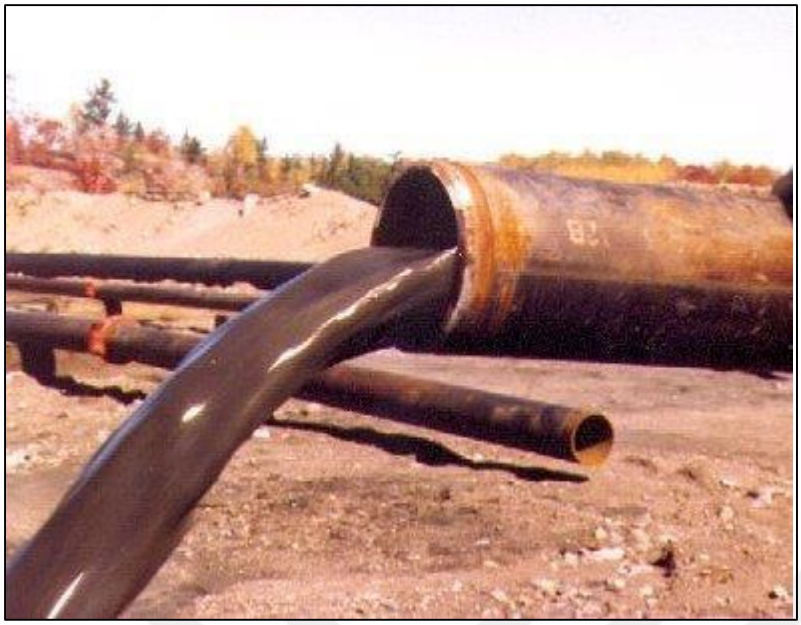


Şekil 2.11: Kaya Dolgu

Hidrolik dolgu: Hidrolik dolgu yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Şekil 2.12). Bu yöntem de yeraltı boşluklarının doldurulması için uygun olan kısımlara yüksek yoğunluğa sahip çamur gibi yoğunluğu yüksek karışımın boru hatlarıyla taşınması sağlanır. Dolgu içerisinde içinde yüksek miktarda su vardır ve bu sebeple dolgu yerleştirilmesinden sonra fazlalık olan suyun susuzlaştırılması işlemiyle bulunduğu yerden gönderilmesi gerekir. Dolgu malzemesi atığının bazı özelliklerde bulunması gerekir (Potvin, 2005). Hidrolik dolgunun özellikleri;

- Tane boyutunun çoğunlukla 1000 μm nin altında olması istenilir. Ayrıca tane boyutunun ağırlıkça %10'unun 10 μm dan az olması istenmeyen bir durumdur.

- Hidrolik dolgunun sahip olduğu hacimce katı oranının genellikle %40 ve %50 arasında olması istenir.



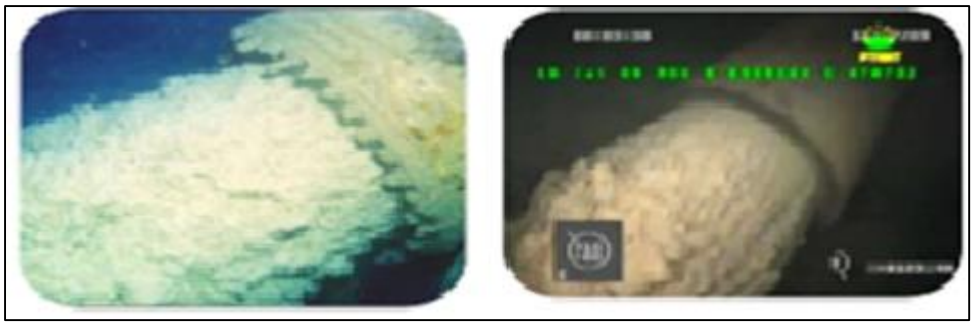
Şekil 2.12: Hidrolik dolgu

Hidrolik dolgu malzemesi ince taneli tesis atıklarından oluşmaktadır. Kum ve yüzeyde bulunan doğal ince boyutlu malzemeler ayrıca dolgu malzemesi olarak kullanılabilirdir.

Macun Dolgu: Cevher zenginleştirme artıklarının belli oranlarda çimento uçucu kül veya pulozonik malzeme ve suyla karıştırılması ile oluşturulur. Yeraltı boşluklarında dolgu olarak kullanılır. Detaylı açıklama ileriki başlıklarda verilmiştir.

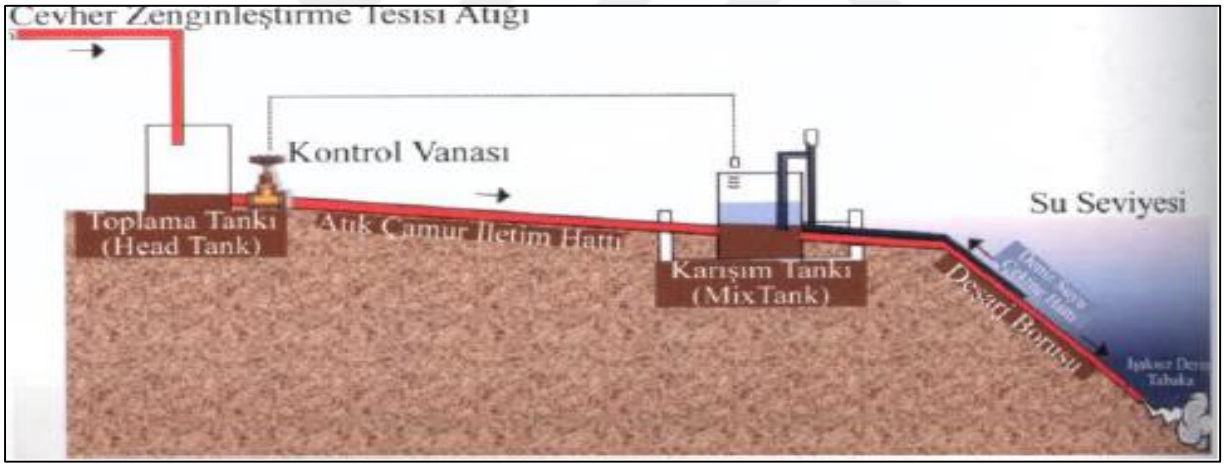
2.3.3. Derin Deniz, Nehir ve Göl Deşarjı Atık Bertarafı

Bu yöntemde cevher zenginleştirme tesislerinden çıkan atıkları doğrudan bertaraf etmek için kullanılır. Bu yöntemde atıklar deniz veya okyanusların derin su bölgelerine gönderilir. Denizin yakın ve derin, yağışın çok, buharlaşma miktarının az, diğer yerüstü yöntemlerin risk taşıdığı bölgelerde uygulanır. Çevresel açıdan büyük riskler arz etmektedir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: Su altında Atık Bertarafı

Madencilik faaliyetleri sonunda oluşan atık su miktarı fazla çamur halinde karadaki biriktirme tankından kıyıdaki karıştırma tankına borularla taşınır ve derin denize pompalanır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: Sualtı atık bertarafı

Yeraltı metal maden işletmelerinde çoğunlukla kullanılan dolgu türleri ile sahip olduğu özellikler Çizelge 2.1 de görülmektedir.

Çizelge 2.1: Başlıca dolgu tipleri ve özellikleri (Archibald vd. 2003)

Özellikler	Kaya Dolgu	Hidrolik Dolgu	Macun Dolgu
Katı oranı	% 100	% 60-75	% 70-85
Bağlayıcı	Çimentolu veya çimentosuz	Çimentolu veya çimentosuz	Yalnızca çimentolu
Su/çimento oranı	Su/çimento oranı düşük, bağlayıcı dayanımı yüksek	Su/çimento oranı yüksek, bağlayıcı dayanımı düşük	Su/çimento oranı düşük, bağlayıcı dayanımı yüksek
Sertlik	Yüksek	Düşük	Yüksek ve/veya düşük
Dayanım	Yüksek	Düşük	Orta
Barikat	Gerekli değil	Pahalı	Ucuz
Nakliye	Nakliye kuyusu ve Mobil ekipmanlar	Sondaj kuyusu ve Boru hattı	Sondaj kuyusu ve Boru hattı
Tane boyu	> 20 cm	> 20 µm (≥ %90)	< 20 µm (≥ %15)
Yerleştirme hızı	100-400 ton/saat	100-200 ton/saat	50-200 ton/saat
İlk yatırım gid.	Yüksek	Düşük	Yüksek
İşletme gideri	Yüksek	Orta	Düşük

2.4. YERALTI ÇİMENTOLU MACUN DOLGU YÖNTEMİ

Yeraltı maden ocaklarında cevher üretim sonucunda oluşan boşlukların uygun bir malzeme ya da karışım kullanılmasıyla doldurulması işlemine dolgu işlemi denir. Dolgu işleminin amaçları, atıkların bertarafının sağlanması, cevher tesis atıklarının kullanılması, kabul gören üretim yöntemlerinin yapılabilmesi için üretimi geliştirmek ve güvenli bir ortamda üretimi sağlamak olarak açıklanabilir (Archibald vd., 2003). Zemin kontrolünün sağlanmasında, bırakılan topukların geri kazılmasının sağlanmasında, kes-doldur yöntemlerinde kullanılabilirliğinden dolayı çoğu yer altı madencilik operasyonlarında başvurulan bir dolgu yöntemidir. Diğer bir taraftan, atıklarının yeryüzündeki çevreye karşı olumsuz yönlerini de azaltan bir yöntemdir (Weaver ve Luka, 1970). Ayrıca çevre için sahip olduğu avantajların yanısıra ekonomik olarak da avantajlara sahiptir. Doğru ve efektif kullanımı ile maliyetlerde önemli bir düşüş sağlayabilir (Nanthananthan, 2006).

Macun dolgu, içerisinde çeşitli özelliklerere sahip malzemeler olan kompleks bir yapıdır. İçerisinde fazla miktarda tesis atıkları, dolgunun durağanlığını sağlamasında gerekli olan

bağlayıcı maddeler ile hidratasyon işlemi ve yeraltına nakliyesini uygun kıvamda sağlamak için karışım suyundan oluşur (Brackebusch, 1994; Landriault, 1995). Macun dolgunun içerisindeki atık, bağlayıcı maddeler ve karışım suyu sahip olacakları fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri bakımından dolgu karışımının kısa ve uzun dönemdeki dayanım, durabilite ve deformasyon özelliklerini belirlemede ve yeraltı nakliyesinde önemli rol oynar (Benzaazoua, 1999; Kesimal vd, 2002; Kesimal vd, 2003).

Madencilikte ilk kez 1980 yılında Almanya'da Grund Madeni'nde kullanılmıştır.Verimli olmasından dolayı dünyada çoğunlukla tercih edilen dolgu yöntemlerinden bir tanesi konumundadır (Grice, T. 1998.). Günümüzde Lucky Friday Madeni, Louvicourt , Golden Giant Altın Madeni, Macassa Altın Madeni, ülkemizde bulunan Çayeli Bakır Madeni macun dolgu kullanan başlıca madenlerdir.

Maden atıkları genelde sert kaya sınıfına girerler. Su ve katı oranlarına göre 3 tip dağılım bölümü vardır. Bunlar kaba, orta ve ince atıklar olarak ayrılırlar ve (Landriault, 1995; Annor, 1999). Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2: Macun Dolgu Dayanım Sınıfları

Atık Grubu	20 µ Altı (ağırlıkça %)	17,78 cm Slamp'da Katı Oranı (ağırlıkça%)	Açıklama (su-çimento oranına göre)
Kaba Atıklar	15-35	78-85	Yüksek dayanıma sahip dolgu
Orta Ebatlı Atıklar	35-60	70-78	Nispeten iyi dayanıma sahip dolgu
İnce Atıklar	60-90	55-70	Düşük dayanıma sahip dolgu

2.4.2. Çimentolu Macun Dolgu Avantaj Ve Dezavantajları

Macun dolgu yöntemi kullanılarak atıkların imhası gerçekleştirebilir. Amaçları içerisinde oda topuk yöntemiyle işlem yapan yeraltı ocaklarında sonradan bırakılan topukların geri alınması sırasında kullanımı da gösterilebilir.

Avantajları

Macun dolgu ekonomik çevresel ve diğer açılardan fazlaca avantaja sahiptir. Aşağıda bu avantajlar sıralanmıştır.

1. Cevher proses atıklarının (sülfürlü, vb.) büyük bir kısmının çevreye zarar vermeyecek şekilde yeraltına bertarafı sağlanır.
2. Aynı çimento oranında daha yüksek dayanım kazanımı mümkündür.
3. Hidrolik dolguya kıyasla kısa süre içerisinde daha fazla dayanıma sahiptir.
4. Kaya dolgusuna kıyasla daha ekonomik yeraltı nakliyesine sahiptir (Brackebusch, 1994).
5. Hidrolik dolgunun aksine yalnızca kaba malzemeden ziyade sınıflandırılmamış atıklar da bu yöntem için uygundur.
6. İşletme maliyeti diğer yöntemlere göre daha ekonomiktir.
7. Diğer yöntemlerle aynı dayanım, macun dolgu ile daha kısa sürede elde edilebildiği için, ocağın döngü süresi daha kısa sürede yapılabilmektedir.
8. Macun dolgu sistemleri normal dolgulara göre daha az boşluk içerir. Bu nedenle yeraltına daha fazla tonajda artık depolanabilir.
9. Macun dolgu, homojen bir şekilde çökeldiği dolgunun dayanım özelliklerini tahmin etmek kolaylaşır.

Dezavantajları

Macun dolgu sistemi de diğer yöntemlerde olduğu gibi dezavantajlara sahiptir.

1. Macun dolgu yöntemi diğer yöntemlere göre daha fazla ilk yatırım oranı ister.
2. Artık tane boyut dağılımı ve su miktarı macun karışımının boru ile nakliyesi sırasında hassas öneme sahiptir.
3. Pompa basınçlarını kontrol edebilmek için, boru dağıtım ağı iyi bir tasarıma ihtiyaç duyar.
4. Her yeraltı madencilik yöntemine uygun değildir.

2.4.1. Çimentolu Macun Dolgu Dayanımı Etki Eden Faktörler

Macun dolgu dayanımını birçok faktör etkilemektedir. Bunlar iç ve dış etkenler olmak üzere sınıflandırılır (Benzaazoua vd, 2004). İç etkenler dolgunun içeriğini oluşturan her bir

malzemenin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri ile ilgilidir (Brackebusch, 1994; Landriault, 1995; Benzaazoua vd, 2002). Dış etkiler ise macun dolgu ile dolgusu yapılan yeraltı üretimi yapılan boşluğun yan kayaç ile ilişkisi, konsolidasyon etkisi, su boşaltım sistemi, patlatma sebepli titreşimler ve kür süresi boyunca etki eden koşullardır (Erçıkdı vd, 2003; Fall ve Samb, 2006; Yılmaz vd, 2006).

- Mineralojik Yapı

İç etkenler sınıfında en önemli etken atığın mineralojik yapısıdır. Atığın sahip olduğu sülfür içerikli mineraller (pirit gibi) su ve oksijen bulunan ortamda oksitlenerek asit ve sülfat oluşumunu sağlarlar. Oluşan sülfat, hidratasyon sonucunda meydana gelen kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$, portlandit) ile kimyasal tepkimeye girerek genleşme özellikli alçıtaşı ve etrenjit oluştumuna neden olurlar (Annor, 1999; Santhanam vd, 2001; Yılmaz vd, 2003). Genleşme özellikli bu maddeler, dolgu içerisinde çatlaklaklar oluşturarak dolgu dayanımını olumsuz yönde etkilerler (Landriault, 1995; Bakharev vd, 2002).

- Çimento Miktarı

İç etken sınıfında önemli olan bir diğer etken ise dolgu karışımında kullanılan çimento oranıdır. Karışımdaki çimento oranının artmasıyla dolgu dayanımı ve duraylılığı artmaktadır Fakat, portland çimento gibi kalsiyum oranı fazla olan bağlayıcılar sülfat atağına karşı dayanıksız olurlar (Neville, 2000). Bunun yanında fazla çimento kullanımı macun dolgu maliyetini arttıracağından dolayı önemlidir (Grice, 1998; Benzaazoua vd, 2005). Bu durumlara karşı daha stabil macun dolgu hazırlamak için karışıma uçucu kül, fırın cürufu ve silis dumanı gibi puzolanik özellikte katkılar eklenebilir.

- Konsodilasyon Etkisi

Dış etkenler sınıfında en önemli etki ise drenaj ve dolgunun sahip olduğu ağırlık ile oluşan konsolidasyon etkisidir (Wickland ve Wilson, 2005; Belem vd, 2006). Üretim boşlukaruna yerleştirilen dolgu, drenaj durumunun yetersiz olması ile yüksek porozite ve boşluk oranı nedeniyle düşük dayanım ve durabiliteye sahip olmaktadır (Benzaazoua vd, 2004).

- Su Miktarı

Macun içerisindeki fazla suyu dışarı atma özelliği dolgunun tane boyutu ile ilgilidir. Tane boyut dağılımı iri ise (malzemenin ağırlıkça %15-35'i < 20 μm) su drenajı daha kolay olurken ince boyut dağılımındaki (malzemenin ağırlıkça %60-90'ı < 20 μm) malzemede bu durum tam tersi olur (Fall vd 2005).

- Sıcaklık

Macun dolgu dayanımınında en önemli dış etkenlerden biri sıcaklıktır. Sıcaklık miktarının artmasıyla dolgu kür süresi azalır ve sülfat etkisinin görülmesine de sebep olabilmektedir (Fall vd. 2010). Çizelge 2.3 de iç ve dış etkenler gösterilmiştir.

Çizelge 2.3: Macun dolgu dayanımını ve duraylılığını etkileyen faktörler (Benzaazoua vd., 2002 ve Ouellet, 2006)

İç Etkenler	Dış Etkenler
Atık Malzeme Özellikleri • Tane Boyut Dağılımı • Tane Şekli • Özgül Ağırlık • Mineroloji • Asit ve Sülfat Etkisi	• Yerinde Koşullar • Kür Koşulları (sıcaklık nem) • Konsadilasyon • Drenaj Koşulları • Sıvılaşma • Yeraltı suyu Koşulları • Yan Kayaçla Etkileşim • Patlatma Kaynaklı Titreşimler • Dolgu Yerleştirme Şekli • Dolgu Barikatının Sağlamlığı
Bağlayıcı Özellikleri • Bağlayıcı tipi ve oranı • Mineral Katkı Maddesi • Kimyasal Katkı Maddesi Kullanımı	
Karışım Suyu Özellikleri • SO_4 Konsantrasyonu (mg/lt) • Ph	
Karışım Özellikleri • Su- çimento Oranı • Yoğunluk (% katı oranı)	

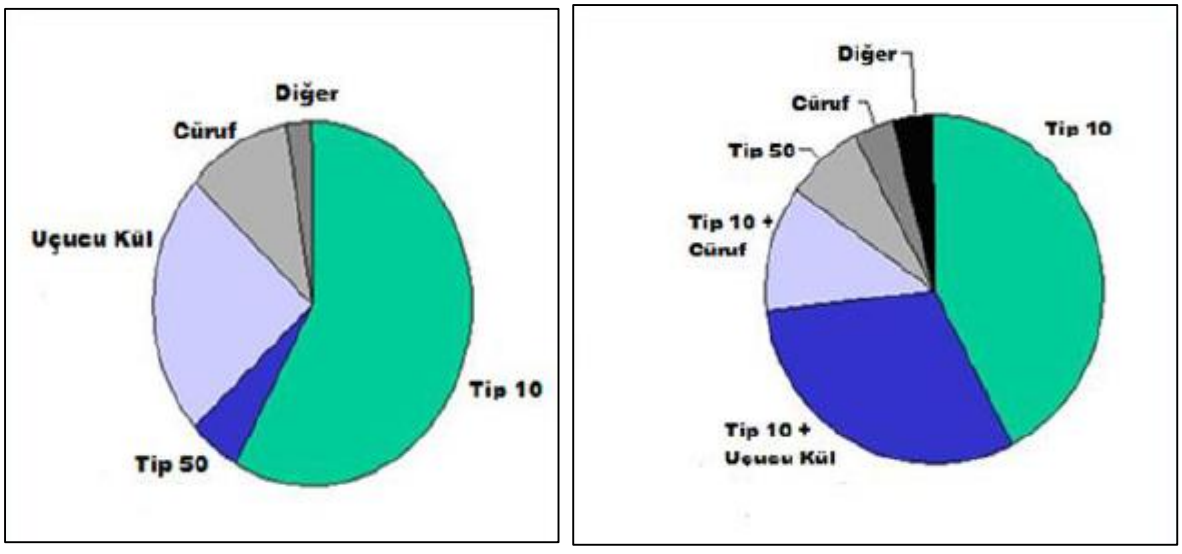
2.4.3. Çimentolu Macun Dolgu Karışım İçeriği

Macun dolgu içeriği ağırlıkça %75-85 proses atığı, su, bağlayıcı ve kimyasal katkı maddeleri içeren bir karışım olarak adlandırılır (Landriault ve Lidkea, 1993; Hassani ve Archibald, 1998; Pierce, 1998; Benzaazoua vd., 2002).

Atık malzemeye bağlayıcı madde ekonomiklik ve dayanım göz önünde bulundurularak karışım yapılır. Su ilavesi genelde toplam karışımda ağırlıkça %10-25 aralığında değişim gösterir. Macun dolgu sisteminde su kullanılmasının nedeni olarak bağlayıcılar ile kimyasal tepkimeye girmesi ve zamanla bağlayıcıların atık ile kimyasal bağ kurmasını sağlamak ve yeraltına pompalana bilirliğinin uygunluğunu sağlamaktır (Archibald vd., 2003).

Macun dolgu karışımında yer alan bağlayıcılar; portland çimento çeşitleri ve volkanik küllerdir (Douglas ve Malhotra, 1987). Çimento tek başına bağlayıcı olarak kullanılabilir. Fakat volkanik kül kullanılırken kireç eklemek gereklidir (Archibald vd, 2003).

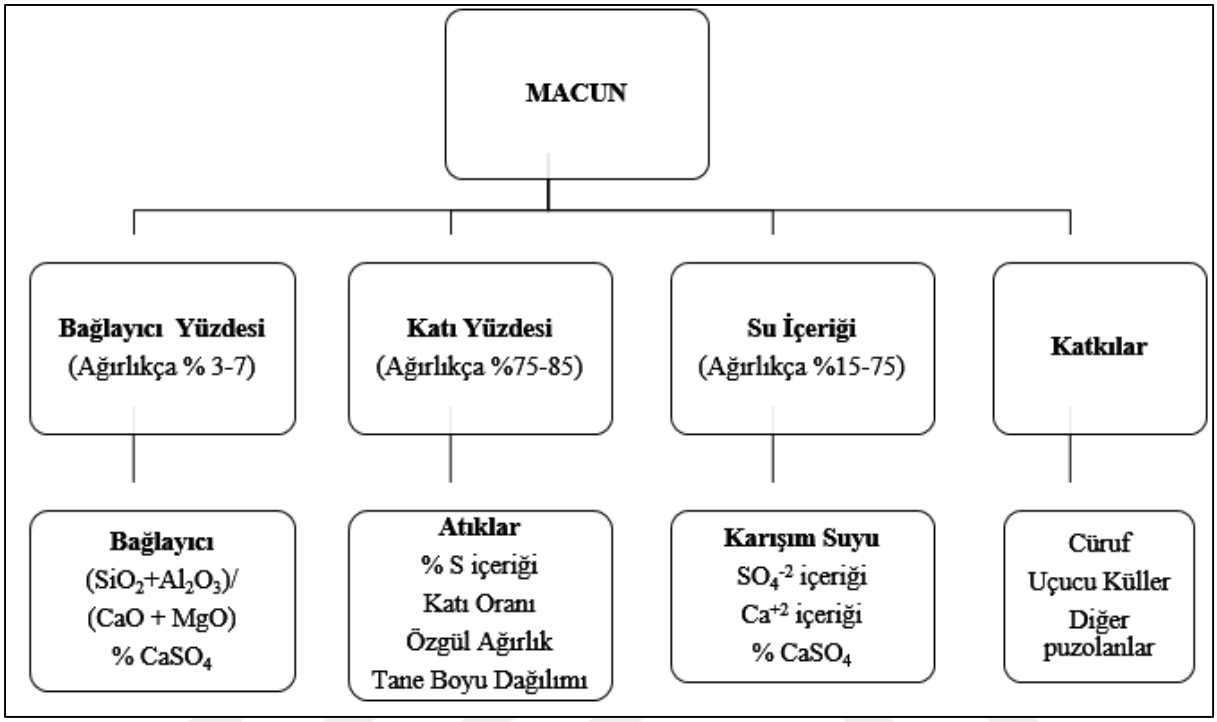
Dolgu karışımını hazırlarken seçilecek olan bağlayıcı maliyete ve uygulanacak dolgu türüne göre seçilir. Şekil 2.15' de Kanada madenlerinde macun dolgu hazırlanmasında kullanılan temel bağlayıcı çeşitleri ve bağlayıcıların dolgu üretiminde kullanım durumları görülmektedir.



Şekil 2.15 : Başlıca Kullanılan Bağlayıcı Tipleri Özellikleri

2.4.4. Çimentolu Macun Dolgu Karışım Özellikleri

Macun dolgunun yeraltında kolay bir şekilde transferinin gerçekleştirilmesi, bulunduğu yerde gerekli dayanımı sağlaması gerekir. Şekil 2.16' de macun dolgu bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 2.16 : Macun Dolgu Bileşenleri (Belem ve Benzaazou,2007)

Macun dolgunun yeraltına akışkan şekilde nakledilmesi ve sürtünmenin en az seviyede olması için 20 µm altı en az ağırlıkça %15 malzeme olması gerekmektedir (Landriault, 1995).

Yeraltı üretim boşluklarını doldurmak için kullanılan macun dolgu kullanılmak istendiği duruma göre tek eksenli basınç dayanım değerleri değişiklik gösterir. Erken kür sürelerine sahip dolgunun sıvılaşma olasılığını düşürmek ve barikatların zarar görmesini engellemek için 24 saatlik kür süresi sonunda yeraltındaki macun dolgunun en az 0,15 MPa dayanıma sahip olması istenir.(Bloss, 2002; Been vd, 2002; Roux vd, 2004). Kes-doldur yönteminde ise macun karışımının yeraltında durağanlığını oluşturabilmesi için 28 günlük bekleme süresi sonunda en az 0,7 MPa'lık dayanıma ulaşması gereklidir (Brackebusch, 1994; Landriault, 1995).

BÖLÜM 3: ÇALIŞMA ALANI

3.1. COĞRAFİ KONUM

Yeraltı maden ocağı Doğu Karadeniz Bölgesi Trabzon iline bağlı Yomra ilçesi Kayabaşı Köyü'nde bulunmaktadır. Yeraltı ocağı Yomra'nın 4 km güneyinde bulunur. Cevher zenginleştirilme işlemi ise Trabzon ilinin Sürmene ilçesine bağlı Çamburnu Beldesi Kutlular mevkiindeki tesiste gerçekleştirilmektedir. Yomra (Kayabaşı) - Sürmene (Çamburnu) arası mesafe 38 km'dir (Şekil 3.1). Cevher yatağında bulunan ana sülfürlü mineraller pirit, kalkopirit, sfalerittir.



Şekil 3.1 : Tesis Konumu

Cevher zenginleştirme tesisinde kırma, öğütme, flotasyon ve susuzlandırma birimleri bulunmaktadır. Bakır minerali ($CuFeS_2$) seçimli flotasyon ile diğer minerallerden ayrılmaktadır.

3.2. YOMRA KAYABAŞI CEVHER YATAĞININ MİNERALOJİSİ

Cevher yatağı masif ve stokvork sülfür tipte mineral karakterizasyonuna sahiptir. Ana sülfürlü mineraller Pirit (FeS_2), Kalkopirit ($CuFeS_2$) , Sfalerittir (ZnS). İkinci bakır minerali Bornittir (Cu_5FeS_4). Az miktarda bulunan sülfürlü mineraller ise galenit (PbS) ve tetrahedrittir. Cevherde yüksek miktarda pirit (FeS_2), kovellin (CuS), kalkozit (Cu_2S), çinko bulunmaktadır. Geri kalanı ise silikatlar ve baritten oluşmaktadır. Cevherde az miktarda kil ve arsenik minerallerinin varlığı görülmektedir. As, Sb gibi zararlı safsızlıkları diğer cevherlerden fazladır. Önemli oranda altın ve gümüş içerebilirler, oluşumları genelde sualtı volkanizmalarına bağlıdır.

Bölgedeki volkanojen masif sülfit yatağında genel olarak 3 tip cevherleşme görülür.Birinci olarak Silisli cevher; cevher zonunun en alt kesiminde yer alır, pirit ve kalkopirit içeren kuvars damarlarından ibarettir bu nedenle silisli cevher olarak da isimlendirilir, zonun tenörü düşüktür. İkinci olarak Sarı cevher; silisli cevherin üzerinde bulunur. Masif pirit ve kalkopiritten oluşur bu nedenle sarı cevher olarak da isimlendilir. Üçüncü olarak Siyah cevher; cevher zonunun en üst kısmında yer alır. Farklı oranlarda pirit ve kalkopirit ile birlikte galen, sfalerit ve barit içerir. Galen nedeniyle siyah cevher olarak da adlandırılırlar.

Cevher içerisinde yoğun olarak bulunan pirit bakır minerallerinin ve çinko mineral taneleri içerisinde 1-5 μm boyutlu olarak kapanmalar halinde bulunmaktadır. Bakır mineralleri daha çok piritle kenetli olarak bulunmaktadır. Bakır-Çinko ayrılmasında karşılaşılan güçlükler önemli ölçüde minerallerin birbirleri içerisinde çok ince girişimler halinde olmasına ve çinkonun başka minerali olan çinkoblendin bakır iyonları tarafından aktifleştirilmesine bağlıdır, aktifleşen çinkoblend yüzmekte ve bakır konsantresine karışmaktadır (MTA Raporları 1988).

3.3. REZERV DURUMU

Yomra'daki cevherden alınan kesitlere göre hesaplanan görünür ve muhtemel rezerv miktarları MTA tarafında yapılmıştır. Hesaplamalar ışığında, Yomra-Kayabaşı (Kanköy) bakır-çinko-kurşun yatağı Tenör : % 1.826 ,Cu Rezerv: 574.000 ton görünür rezerv, 640.000 ton muhtemel rezerv tespit edilmiştir. Ayrıca 990.000 ton daha cevher potansiyeli beklenmektedir (MTA maden potansiyeli 2010).

3.4. ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ

3.4.1. Kırma Ünitesi

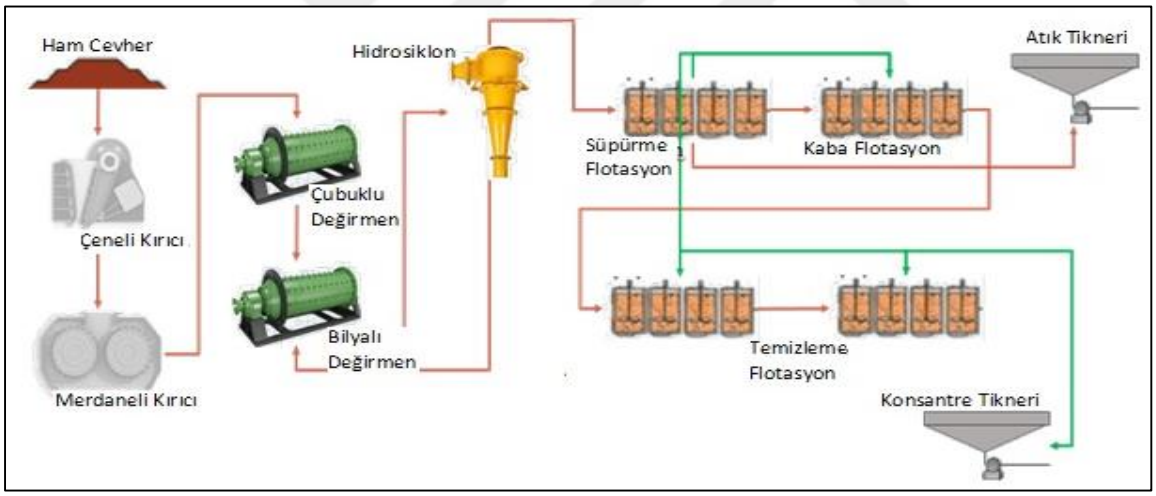
Kamyonlarla Yomra Kayabaşı'ndaki ocaktan çıkarılan cevher Sürmene ilçesine bağlı Çamburnu Beldesi'ndeki tesise getirilerek stok sahasına dökülür. Daha sonra, hidrolik ekskavatörle 25 t/s kapasiteli çift milli merdaneli kırıcıya besleme yapılır. Kırıcı özelliğinden dolayı besleme boyutu 17-20 cm arasında tutulur 17 cm den daha iri malzemeler ise 60 cm ağız açıklı çeneli kırıcıda hidrolik ekskavatör vasıtasıyla beslenip kırılarak boyutu -15 cm'ye düşürülür ve çift milli merdaneli kırıcıya beslenir. Kırıcıdan çıkan malzemenin boyutu d80 < 5 cm olarak çıkar, bu malzeme konveyör bantla paletli besleyiciye, oradan da çubuklu değirmene verilir.

3.4.2. Öğütme Devresi

Kırılan cevher çubuklu değirmene beslenir ve burada %65 pülp yoğunluğunda öğütülür. Çubuklu değirmende öğütülen malzeme daha sonra bilyalı değirmene beslenir. Bilyalı değirmene giren 5mm boyutlu cevher 30 μ'a kadar öğütülür. Değirmen ürünü bir pompa yardımıyla 4 adet hidrosiklondan meydana gelen siklon bataryasında sınıflandırılır ve hidrosiklon iri tanesi bilyalı değirmene beslenirken hidrosiklon incesi malzeme flotasyon birimine gönderilir.

3.4.3. Bakır Yüzdürme (Flotasyon) Devresi

Flotasyon devresine hidrosiklon üst akım beslenir ve su eklentisiyle yaklaşık olarak %30 katı pülp yoğunluğuna ayarlanarak ilk olarak kondisyonerde koşullandırılır. Burada köpürtücü (Metil izbobütil karbinol) ,3418 Aerophine,Sodyum silikat ile koşullandırılan pülp 3 adet 1.4 m^3 hacimli selüllerde kaba flotasyona tabi olur. Burada son selül perdesine 3418 Aerophine ilavesiyle paletlerle alınan köpükteki bakırın atığa geçmesi engellenmek istenir. Kaba flotasyonun batan kısmı 3 adet 5.6 m^3 hacimli kaba süpürme devresine gönderilir. Kaba süpürme selüllerinde atıktaki Cu kaçağını önlemek ve kazanmak için tekrar 3418 Aerophine ilave edilir. Kaba süpürmede yüzen malzeme ise 2 adet 1.4m^3 hacimli kaba temizlemeye gönderilir. Kaba temizlemedeki yüzen kısım tek olukta toplanarak son temizleme için 2 tane 0.7 m^3 hacimli selüllere gönderilir. Burada yüzen pülp ise 2 adet 0,7 m^3 hacimli selüllerde nihai temizleme flotasyonu işlemine girerler. Nihai temizleme selüllerinde yüzen bakır konsantresi susuzlandırma birimine gönderilir. Şekil 3.2 de tesis akım şeması gösterilmiştir.



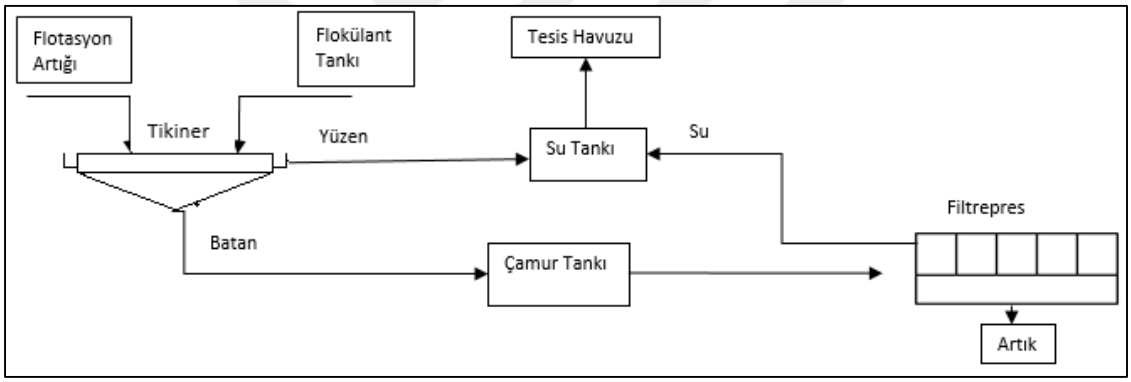
Şekil 3.2 : Çamburnu Cevher Hazırlama Tesisi Akım Şeması

3.4.4. Bakır Susuzlandırma Devresi (Konsantre Devresi)

Flotasyon ünitelerinden çıkan konsantre, konsantre tankına yollanır. Burada flokülant ilave edilmez. Doğal bir çökme sağlanır. Katı malzeme çökerken, tankın savaklarından alınan su ise su tankına yollanır. Konsantre tikinerinden malzeme Kurutma tamburuna beslenir. Tamburda pompa ile hava basılırken, seperatör ile tambur yüzeyine yapışan malzemenin suyu çekilir. Suyu çekilen tambur yüzeyindeki kuru malzeme ise bıçaklı sıyırıcı ile sıyrılır ve % 8,5 nem içeren konsantre elde edilir.

3.4.5. Atık Susuzlandırma Ünitesi

Flotasyondan çıkan atıksu 15 m³ hacimli hızlı karıştırıcı görevi yapan kondisyonlama tankına verilir buradan 150 m³ hacimli atık tikiner tankına giden atıksu flokulant ilavesiyle katı malzeme sıvı kısımdan ayrılarak çökelme işlemi sağlanır. Çöken malzeme yine 15 m³ lük ara tanka oradan da 2 adet çamur pompası vasıtasıyla 2 adet filtre prese basılır. Filtrepreslere alınan malzeme sıkıştırılarak katı madde plakalar arasında kek halinde üzeri kapalı ve sızdırmaz özelliği bulunan geçici pasa biriktirme alanında muhafaza edilir, suyu ise oluklar vasıtasıyla kare tanka oradan da havuzda dinlendirilerek geri dönüşüm suyu olarak tekrar tesise beslenmektedir. Filtrepreslere gelen malzemenin yoğunluğu 1.1 g/lt, katı oranı %10, tane aralığı 50-30 µm arasında olup %12-13 nem oranına sahip katı malzeme çıkartırlar.

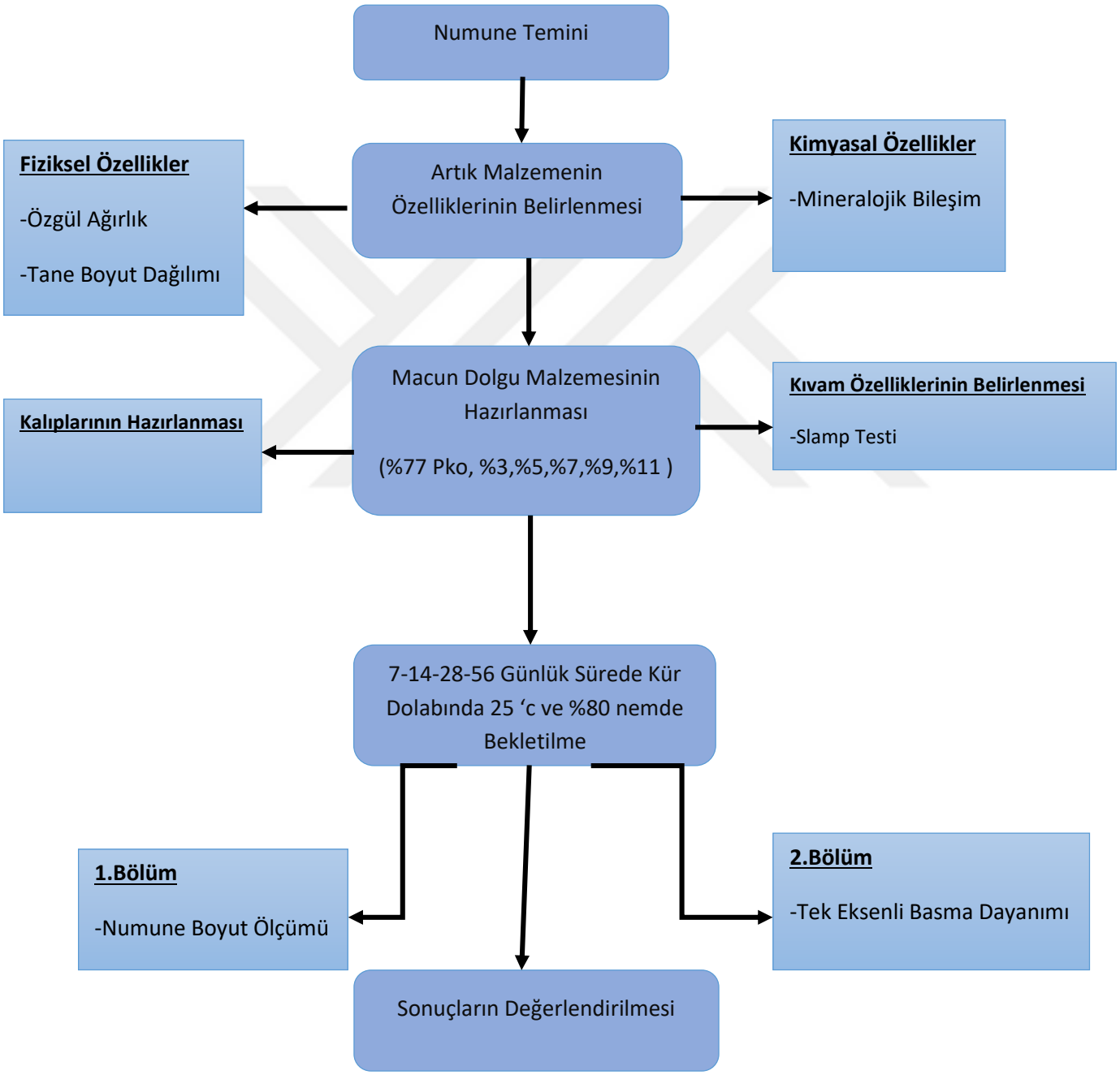


Şekil 3.3:Atık Susuzlandırma Ünitesi

BÖLÜM 4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Bu kısımda bakır zenginleştirme tesisinden alınan artık malzemenin yeraltında macun dolgu olarak kullanılabilirliğinin araştırılması için yapılan araştırmalar gösterilmiştir. Başlangıçta yapılan ön hazırlık çalışmaları ve izlenecek yol Çizelge 4.1 akım şeması gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Laboratuvar Çalışmaları Akım Şeması



4.1. MACUN DOLGU HAZIRLANMASINDA KULLANILAN ÇİMENTO MALZEMESİNİN KİMYASAL VE FİZİKSEL İÇERİĞİ

Macun dolgu karışımı hazırlanırken Akçansa Firmasına ait Portland Çimento CEM I 42,5 özelliğindeki çimento kullanılmıştır. Firma tarafından yapılan analizlere ait fiziksel ve kimyasal sonuçlar Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: Kullanılan Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Test Metodu : TS EN 196-2		
Kimyasal Analiz	**Standart**	**Analiz Sonucları (%)**
SiO_2 Çözünen	Maksimum 5.0	0,28
Al_2O_3		4,63
Fe_2O_3		3,46
CaO		62,50
MgO		2,76
SO_3	Maksimum 4,0	3,24
Kızdırma Kaybı	Maksimum 5,0	3,13
Cl	Maksimum 0,1	0,01
Mineralojik Kompozisyon %		
C_3S	58,33	
C_2S	10,76	
C_3A	6,42	
C_4AF	10,53	

Test Metodu : TS EN 196-3 ve TS EN196-6		
Fiziksel Özelllikler		**Sonuçlar**
Özgül Ağırlık gr/cm^3		3,13
Priz Süresi	Başlama (dk)	165
	Bitiş (dak)	220
Hacim Genişlemesi (mm)		1,5
Özgül Yüzey (cm^2/gr)		3558
45 mikron Elek Altı (%)		1,7

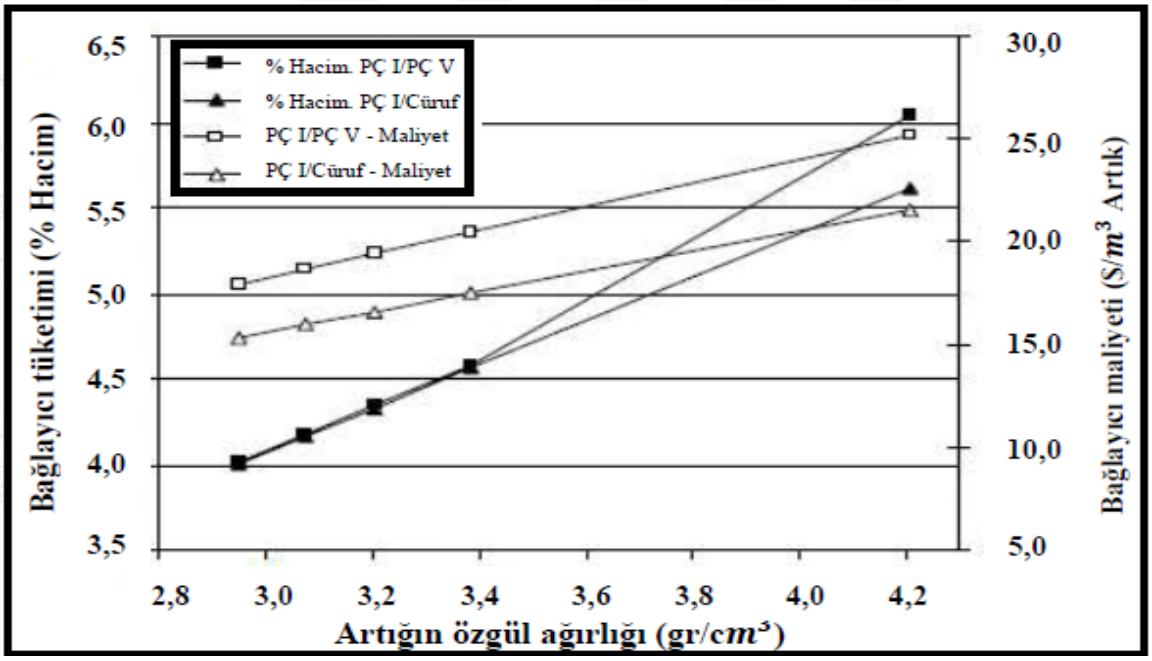
Macun dolgu karışımı hazırlarken portland çimentosunun hidratasyonu sonucu oluşan portlandit ($Ca(OH)_2$), ortamdaki sülfat (SO_4^{-2}) ile kimyasal tepkimeye girerek ikincil jips minerali oluşumuna, C_3A da ikincil jips minerali ile reaksiyona girerek etrenjit minerali oluşumuna yol açmaktadır. Bu minerallerin macun dolgu dayanımını düşürdüğü belirtilmektedir (Ouellet vd., 1998).

4.2.ARTIK MALZEMENİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Macun Dolgu sisteminde kullanılacak artık maddenin dayanımını etkileyen iç etmenlerde malzemenin fiziksel özellikleri önemli bir yer kaplar. Aşağıdaki kısımda malzemenin özgül ağırlık ve tane boyut dağılımı analiz sonuçları ve değerlendirmeleri açıklanmıştır.

4.2.1.Özgül Ağırlık

Karışım oranları ve jeoteknik değişkenlerin hesaplanabilmesi için artık maddelerin özgül ağırlığının (G_s) bilinmesi önemlidir (Yılmaz 2010). Artık malzemenin sahip olduğu özgül ağırlık ile dolgu dayanımı birbirleriyle doğru orantılı bir şekilde ilişkilidirler. Artığın fazla özgül ağırlığa sahip olması aynı bağlayıcı oranında dolgunun daha yüksek bir mukavemete sahip olmasını sağlar. Artığın özgül ağırlığının artması ile hacimsel bir artış meydana gelir ve bu artış daha fazla bağlayıcı tüketimine neden olur. Böylece dayanım artar aynı zamanda dolgu maliyeti de artar (Şekil 4.1). Sonuç olarak yüksek oranda bağlayıcı kullanımı, macun dolgu dayanımını artırır (Fall ve diğ. 2005).



Şekil 4.1 : Artık malzemesinin özgül ağırlığının bağlayıcı tüketimine ve maliyetine etkisi (Fall ve diğ., 2005).

Deneyde kullanılmış olan artığın özgül ağırlığı Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda Quantachrome Ultrapyc 1200e Helyum Piknometresinde 3 defa tekrarlanarak

yapılmıştır. 3 ölçümün ortalaması olan Gerçek Yoğunluk ve Gerçek Hacim değerleri aşağıdaki Çizelge 4.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : Artık malzeme yoğunluk miktarı

Numune	Kütle (gram)	Hacim (cm^3)	Yoğunluk (g/cm^3)
	10,7360	2,947	3,6422

Fall ve diğ., (2005)'e göre proses artıkların özgül ağırlığı 2,8 $gr/cm^3 < G_s < 4,2\ gr/cm^3$ aralığındadır. Bu duruma ek olarak artığın özgül ağırlığının artması slamp değerini azaltmaktadır (Fall ve diğ., 2008). Yapılan deneyde artığın özgül ağırlığı 3.64 g/cm^3 olarak bulunmuş ve bu değerin de dolgu için uygun olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.2. Tane Boyut Dağılımı

Macun dolgu malzemesi olarak kullanılan artık malzemenin tane boyut dağılımı dolgu dayanım özelliklerini etkileyen önemli etkenlerden biridir (Yılmaz, 2003). Hazırlanan kürün macun oluşturabilmesi için 20 µm altı tane içeriğinin ağırlıkça en az %15 ya da daha yüksek olması gerekir (Erçıkdı, 2009).

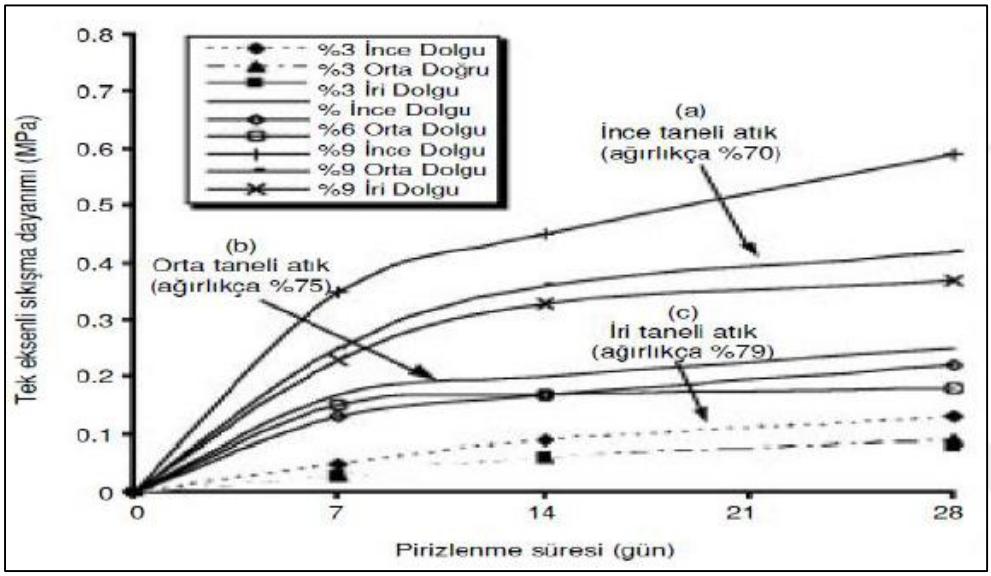
Kullanılan artık maddenin tane boyut dağılımı , dolgu nakliyesi için de önemlidir (Erçıkdı vd., 2003; Yılmaz vd., 2005). Boyut dağılımı iyi olmayan dolgunun nakliyesi sırasında daha fazla pompa gücüne ihtiyaç duyulur. Ayrıca dolgu boşluklara homojen bir şekilde dağılmayıp sıvılaşma potansiyeline sahip olacaktır. Bu durumda dolgu dayanımı ve stabilitesi düşer (Yılmaz, 2003).

Dolgu sisteminde kullanılan maden artıkları iri, orta ve ince atıklar olarak sınıflandırılır (Kesimal vd., 2002) (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 : Macun dolgu karışımının boyuta göre sınıflandırılması (Kesimal vd., 2002).

Atık grubu	20 µm altı miktar, (ağ. %)	7" slamp'da katı oranı, (ağ. %)	Açıklama (su/çimento oranına göre)
İri taneli	15-35	78-85	Yüksek dayanımlı dolgu
Orta taneli	35-60	70-78	Nispeten iyi dayanımlı dolgu
İnce taneli	60-90	55-70	Düşük dayanımlı dolgu

İri taneli atık malzeme kullanılarak üretilen macun dolgu karışımlarında verilen bir çimento içeriği için yüksek katı içeriği, iyi bir su/çimento oranları mümkün kılmakta ve hidrolik dolguyla kıyaslandığında yaklaşık iki kat daha fazla dayanım kazancı vermektedir. Orta taneli atıklardan, genellikle iyi bir macun dolgu örneği elde edilebilir fakat yüksek su/çimento oranından dolayı iri taneli atıklardan daha düşük dayanım üretirler. İnce taneli atıklar ise 20 µm altı malzeme içeriği çok olmasından dolayı yüksek su tutma kapasitesine sahiptirler. Ayrıca bu atıklar yeraltı akış nakliyesi için iyi bir macun dolgu karışımı sağlarlar fakat yüksek su/çimento oranında daha az dayanım üretirler (Thomas, 1981; Yılmaz, 2003) (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Tane boyutunun tek eksenli basınç dayanımına etkisi (Yılmaz vd., 2003).

Dolgu karışımı iyi bir tane boyut dağılımına sahip değil ise macun daha fazla bağlayıcıya ihtiyaç duyar. Böylece maliyet artar. Uygun dağılıma sahip dolguda ise ince taneler, iri taneler arasındaki boşluklara yerleşerek az çimento içeriklerinde yüksek dayanıma sahip olurlar. Boyutun küçülmesiyle yüzey alanı artar ve bağlayıcı madde ile etkileşim artar. Macun dolgunun dayanımını etkileyen diğer bir etkende macun içindeki boşluklardır. Dolgu iyi bir boyut dağılımına sahip olursa boşluklar azalır ve tanelerin yük taşıma potansiyeli artacağı için dayanımı da artar (Yılmaz vd. , 2003)

Macun dolgu karışımının tane boyut dağılımını hakkında bilgi edinmek için genellikle üniformluk katsayısı (Cu) ve eğrilik katsayısı (Cc) kullanılmaktadır. İyi bir tane boyut dağılımına sahip olan dolgular için Cu değeri 4-6, Cc değeri ise 1-3 arasında kabul edilmektedir (Terzaghi ve Peck (1996). Buradaki değerler aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{30}}$$ (üniformluk katsayısı)

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{60}\,x\,D_{10}}$$ (Eğrilik katsayısı)

D_{10}, toplam malzemenin % 10'nun elek altına geçtiği boyut;
D_{30}, toplam malzemenin %30'nun elek altına geçtiği boyut
D_{60}, toplam malzemenin %60'nun elek altına geçtiği boyut miktarlarını göstermektedir.

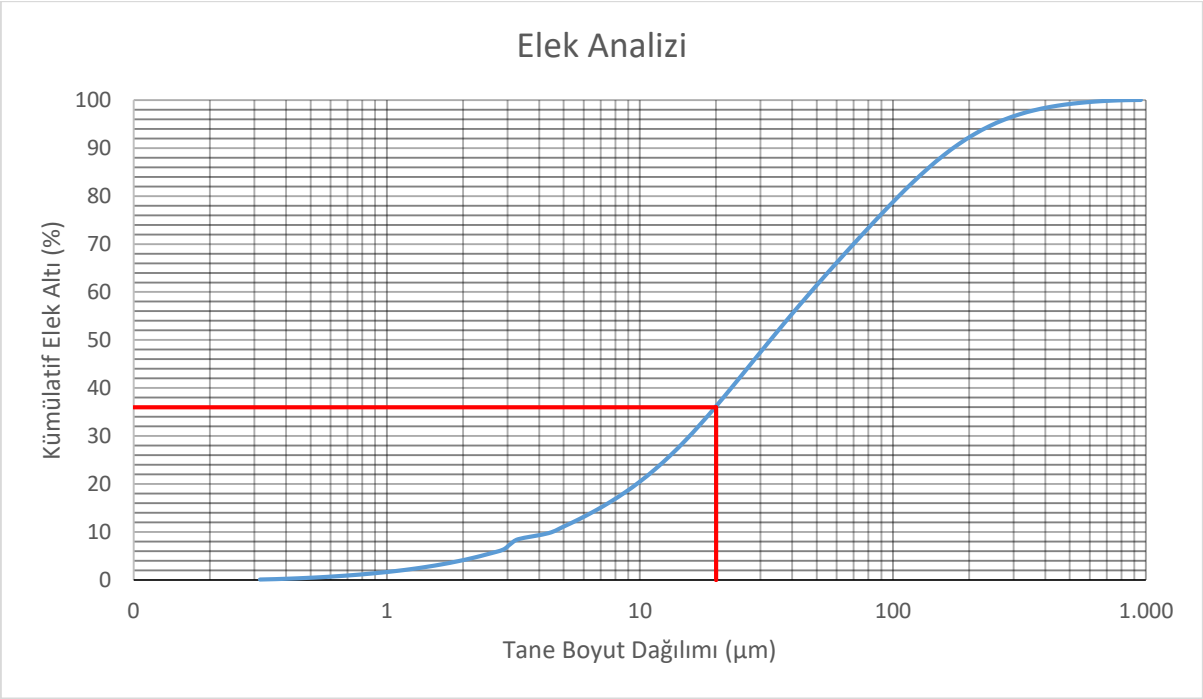
Cu üniformluk katsayısı tane boyut dağılımı eğrisinin eğim değerini gösterir, üniformluk katsayısı eşit çapta olan küre taneler için 1 olacak, çok sayıda farklı çapta tane içeren karışımda sonsuza gidecektir.

Cc eğrilik katsayısı üniform veya düzgün tane dağılımlı bir ortamda bazı boyutların eksik veya fazlalığını gösteren katsayıdır.

Üniformluk katsayısının küçülmesi halinde içerisindeki suyun süzülme imkânı artar. Bu durumda dolgunun içinde fazlaca boşluk bulunmasına yol açacağından iyi bir dolgu olarak nitelendirilmez. Dolgu malzemesinde fazla ince olması durumunda fazla suyun katı tanecikler üzerindeki yüzdürme etkisine benzer etki yaparak tanecikleri birbirinden uzaklaştırarak boşluk oranını artırır. Diğer bir taraftan katsayının artmasıyla boşluklar homojen olarak ince tanelerle dolacak olduğundan dolgunun yoğunluğu ve yük taşıyabilme kapasitesi artar.

Bu çalışmada kullanılan artık malzemenin elek analizi Çizelge 4.5 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 : Atık elek analizi



Yukarıda ki grafikte de görüldüğü gibi ağırlıkça 20 µm altı malzeme %36.5 olarak bulunmuştur. Bu değer literatürde geçen 20 µm altı malzeme %15 ten fazla olması durumuna uygun olduğu gözlemlenmiştir ve macun dolgu için uygunluğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.6' da artık malzemenin elek analizi grafiği kullanılarak bulunan üniformluk katsayısı ve eğrilik katsayısı için gerekli olan değerler birlikte gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 :Uniforluk katsayısı ve eğrilik katsayısı

D_{10}	D_{30}	D_{50}	D_{60}	D_{90}	Cu	Cc
4	13	22	38	190	9,5	1,1

Çizelge 4.6' de de görüldüğü gibi Cu değeri normal koşullarda 1-6 arasında bir değer olması istenirken 9.5 olarak bulunmuştur. Macun dolgunun düzenli bir tane boyut dağılımına sahip olmadığı ve çok sayıda farklı çaplara sahip tanelerin olduğu sonucunu ortaya çıkartılır. Bu durum malzeme dayanımını olumsuz etkiler. Cc değeri ise istenilen aralıktadır.

4.3.ARTIK MALZEMENİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Macun dolgu sistemini oluşturan her bir unsurun doğal özellikleri dolgunun mekanik özelliklerini kısa ve uzun dönemlerde etkileme açısından büyük öneme sahiptirler (Cihangir ve diğ. 2012). Bazı mineraller, sülfat artışı ile bağlantılı olarak uzun süreli dayanım kaybına neden olabilir (Yılmaz 2010). Bu özellikte olan artıklardan yapılmış macun dolguya, yer altı dolgusu olarak kullanılmadan önce kısa ve uzun süreli dayanıklılık testleri yapılmalıdır. Bu bölümde macun dolgu sisteminde kullanılacak olan atığın kimyasal analiz sonuçları gösterilmiştir.

Çimentolu macun dolguda kullanılacak olan artık maddenin kimyasal analizi İstanbul Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Artık malzemenin kimyasal özellikleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7: Artık Malzemenin Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Bileşim	**(%)**
Na_2O	0,16
MgO	0,4
Al_2O_3	6,31
SiO_2	24,67
P_2O_5	0,01
K_2O	1,11
CaO	0,94
TiO_2	0,09
MnO	0,01
Fe_2O_3	14,87
SO_3	27,01
As_2O_3	0,11
BaO	1,28
Cl	0,01
CuO	0,79
PbO	0,05
SeO_2	0,01
SrO	0,01
ZnO	0,19
LOI	21,99

Atığın kimyasal içeriğinde görüldüğü gibi Atık malzemenin kimyasal bileşiminde Demir (III) oksit (Fe_2O_3) , kuvars (SiO_2) , kükürt trioksit (SO_3) bileşikleri yoğun olarak bulunmaktadır. Artık içerisindeki Fe ve S elementlerinin oluşturduğu pirit minerali içeriği fazla olduğu söylenebilinir. Sülfat ve asitlerin beton dayanım ve duraylılığını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Macun dolgu malzemesi olarak kullanılan sülfürce zengin atık malzeme, su ve oksijen varlığında oksitlenerek asit ve sülfat oluşturmaktadır. Macun dolguda kullanılan atıkların çoğunlukla ince tane boyutuna sahip olması ve kür işlemlerinin yeraltında yüksek nemli ortamlarda gerçekleşmesi, sülfürlü minerallerin oksidasyon derecesini artırmaktadır (Erçıkdı, 2009; Hassani ve Archibald, 1998).

4.4. MACUN DOLGUNUN KIVAM ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Macun dolgu kıvamını belirlemek için yaygın olarak kullanılan slump testi yapılmıştır. Slump malzemenin kıvamı ve akışkanlığı hakkında bilgi verir. Yeraltında borularla nakliyeyi kolaylaştırmak için uygun olan macun dolgu slump değerleri 150 mm (6 inç) ile 250 mm (10 inç) arasındadır (Belem ve Benzaazoua, 2007; Yılmaz, 2010; Ercikdi ve diğ., 2017; Ouattara ve diğ., 2017). Çimentolu macun dolgu sisteminde ideal ve en sık kullanılan slump değeri 18 cm'dir (Tariq ve Nehdi, 2007; Fall ve Pokharel, 2010; Ghirian ve Fall, 2016).

Malzemenin kimyasal bileşimi, tane özgül ağırlığı ve tane boyutu slump yüksekliğini doğrudan etkilemektedir. Dolgu karışımında su miktarı arttıkça karışımın slump değeri artmaktadır. Fakat fazla su miktarı bulunan karışımın kür süresi uzar ve dolgu dayanım ve durabilitesi azalır. (Erçıkdı, 2009). Bu tez çalışmasında slump deneyi TS EN 12350-2 standart koşullarına uygun olarak yapılmıştır. Şekil 4.3 de slump testinde kullanılan malzemeler gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Slump Testinde kullanılan malzemeler

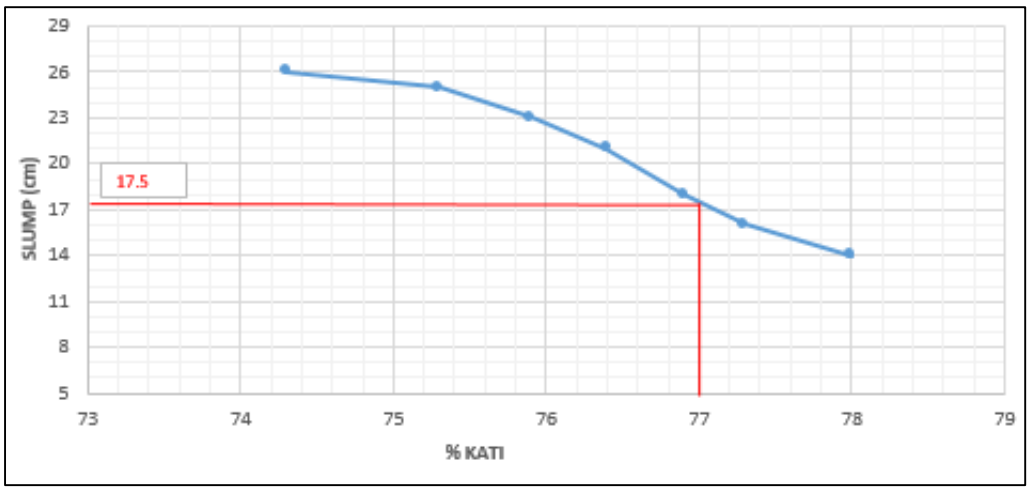
Slamp testinde yüksekliği 30 cm, taban çapı 20 cm ve üst çapı 10 cm olan tepe kısmı kesik koni şeklinde metal bir kalıp ile 60 cm uzunluğunda ve 16 mm çapında şişleme çubuğu kullanılmıştır. Başlangıçta Huni kulplarından basılarak huninin sabit kalması sağlanır. Huninin 1/3'ü atık malzeme ile doldurduktan sonra 25 defa şişleme yapılır. Aynı işlem her 1/3 lük kısım dolana kadar 2 defa daha tekrarlanır. Huninin ağzındaki malzeme düzlendikten sonra huni düz bir şekilde ve yavaşça yukarı doğru çekilir. Kalıbın çekilme işlemi 5 saniye ile 10 saniye arasındaki sürede tamamlanmalı, kalıp sabit hızda çekilmeli, bu esnada beton kütlesine yanal hareket veya burulma hareketi yaptırılmamalıdır. Çekilen huni kalıptan çıkan malzemenin yanına koyularak koninin üst kısmı ile malzemenin üst kısmı arasındaki fark ölçülür. Slamp deneyi, betonun kalıba doldurulmaya başlanılmasından, kalıbın çekilerek alınmasına kadar hiçbir kesinti olmadan 150 saniyede bitirilmelidir. Şekil 4.4 de Slump Testi örneği gösterilmiştir.

.



Şekil 4.4: Slump test örneği

Farklı slump değerlerine sahip dolgu karışımlarından örnekler alınmıştır. Bu örnekler 24 saat boyunca etüvde bekletilerek dolgu içeriğindeki su miktarı belirlenmiştir. Deney sonunda ulaşılan sonuçlar grafikte gösterilmiştir. Ulaşılan sonuçlarda bu tez kapsamında kullanılacak olan karışımın 17,5 cm slump değerinde katı miktarı %77 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.5 'de slump oranı grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Slamp Testi Grafiği

4.5.MACUN DOLGU REÇETELERİNİN VE NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Macun dolgu karışımında bulunan artık, su ve çimento laboratuvarda bulunan beton mikserinde 5 dakika boyunca homojen olarak karıştırılmıştır. Karışım daha önce yapılan slump testine uygun olarak %77 katı miktarına bağlı kalınarak hazırlanmıştır. Bağlayıcı olarak Akçansa CEM I 42,5 r çimentosu kullanılmıştır. Çimentolu macun dolgu numuneleri %3, %5, %7, %9,%11 çimento oranları ile birlikte her orandan 5 er numune olmak üzere 7,14,28 ve 56 günlük kür süreleri boyunca %80 nem ve 20 °C ayarındaki kür dolabında tutulmuştur. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan mikser Şekil 4.6 da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Deneyde Kullanılan Beton Mikseri

Her bir çimento oranına ve kür süreleri için 3 er adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 50 mm çapında, 120 mm yüksekliğinde kalıplara konularak kür süreleri için beklemeye alınmıştır. Toplam 100 adet numune kalıbı hazırlanmıştır. Numune kalıpları ve kullanılan malzemeler Şekil 4.7 de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : Numune Kalıplarının Hazırlanması

4.6.TEK EKSENLİ BASMA DAYANIMI

Maden artıklarının yeraltında dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesi için bazı fiziksel testler yapılması gereklidir. Bu testler içerisinde önemli bir yeri bulunan Tek eksenli basma dayanımı testidir. TEBD testinin amacı kaya malzemelerinin üzerlerine uygulanan belirli bir basınç altında kırılmadan önce ne kadar yüke dayandığını belirlemektir.

Daha önce yapılan araştırmalarda, dolgu dayanım miktarının %95'i 28 günlük kür süresi sonunda kazanılmaktadır (Potvin vd., 2005). Erken kür sürelerine sahip dolgunun sıvılaşma olasılığını düşürmek ve barikatların zarar görmesini engellemek için 24 saatlik süresi sonunda yeraltındaki macun dolgunun en az 0,15 MPa dayanıma sahip olması istenir. 28 günlük kür süresi geçiren dolgu malzemesinin dayanımları 0,7 – 4 MPa arasında değişmesi istenilen bir durumdur. Özellikle dolgu karışımının taban olarak kullanıldığı, işçilerin ve iş makinalarının dolgu üzerinde çalıştığı koşullarda dolgu dayanımının 4 MPa seviyelerine sahip olması istenilmektedir (Grice, 1998).

Macun dolgunun yeraltındaki konumuna ve kullanılacağı işe göre literatürde geçen dayanım değerleri Çizelge 4.8'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8 : Literatürde Geçen Dayanım Değerleri

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

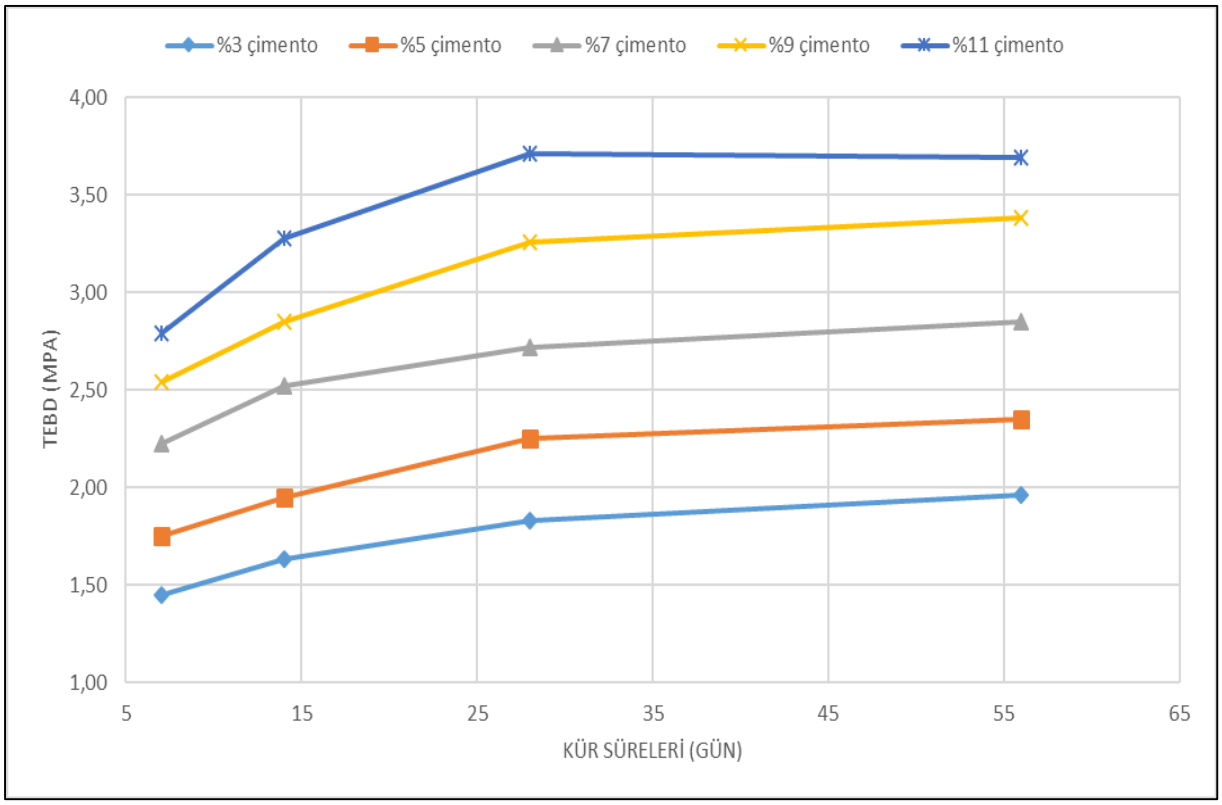
Tek eksenli basınç dayanımı testi daha önce belirlenen çimento oranlarına göre hazırlanan silindirik numuneler üzerinde yapılmıştır. Hazırlık aşamasında belirlenen bekleme sürelerine ulaşan numuneler 20 ton yükleme kapasitesine sahip 1 mm/dk sabit yükleme hızında otomatik kontrollü preste kırılmıştır. Dayanım değerleri her bir çimento oranı için 7, 14, 28 ve 56 günlük kür süresinde bulunan numuneler için hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9'de macun dolgu için hazırlanan numunelerin kür süreleri ve farklı çimento oranlarına göre tek eksenli basma dayanım sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 :Farklı kür sürelerine ve çimento oranına sahip numunelerin TEBD sonuçları

Çimento Oranları	Kür Süresi (Gün)	Ortalama TEBD (MPa)	7 ve 56 günler arası TEBD (%) artışı
3%	7	1,45	35,2
	14	1,63	
	28	1,83	
	56	1,96	
5%	7	1,75	34,3
	14	1,95	
	28	2,25	
	56	2,35	
7%	7	2,23	28
	14	2,52	
	28	2,72	
	56	2,85	
9%	7	2,54	33
	14	2,85	
	28	3,26	
	56	3,38	
11%	7	2,79	32,3
	14	3,28	
	28	3,71	
	56	3,69	

28 günlük kür süresi sonundaki dayanım sürelerine bakıldığında numunelerden hiçbiri yeraltı üretiminde tavanı tutmak için gerekli olan 4 MPa 'lık değeri karşılamamıştır. Bu süre içerisinde en düşük dayanım 1.45 MPa ile % 3 çimento oranında ölçülmüştür. En yüksek dayanım ise 3.69 MPa ile % 11 çimento oranında ölçülmüştür. Numunelerin 28 günlük dayanımları arakatlı dolgu için gerekli olan 0.7 MPa lık değeri karşılamışlardır. Şekil 4.8'de numunelerin kür süreleri sonundaki dayanım değerleri grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Numunelerin kür süreleri sonundaki TEBD değerleri

56 günlük kür süresine sahip numunelerin dayanım değerlerinde büyük oranda bir artış görülmemiştir. Fakat %11 çimento değerine sahip numune 56 gün sonunda 28 güne göre dayanım kaybı göstermiştir. Böyle az miktarda düşüşün temel nedeni artık malzemesinde bulunan pirit miktarının fazla olması ile su ve çimento içindeki bileşiklerle girdiği reaksiyon sonucu oluştuğu söylenebilir.

Şekil 4.9’da % 11 ve %9 çimento oranındaki numunelerin 56 günlük bekleme süresinin ardından yapı olarak karşılaştırması gösterilmiştir.



Şekil 4.9: %9 ve %11 çimento oranındaki numunelerin 56 günlük kür süresi sonundaki durumları

TARTIŞMA VE SONUÇ

Madenlerin cevher hazırlama tesislerinde zenginleştirilmesi sonucunda oluşan atık malzeme içerdiği yüksek orandaki sülfür nedeniyle çevre ve insan sağlığı açısından tehlike arz etmektedir. Bu tür cevher atıklarının zararlarının önlenmesi için bertarafının sağlanması gerekir. Bertaraf yöntemleri arasındaki macun dolgu yöntemi artık malzemenin zararlarını engelleyen bir yöntemdir. Macun dolgu, pasa adını taşıyan maden tesis atıklarının macun dolgu tesislerinde makul miktarda su veya bağlayıcı malzemeler ile (çimento veya silis dumanı, cüruf, uçucu kül benzeri puzolan malzemeler) homojen bir şekilde hazırlanan bir karışımdır. Özellikle sülfür içeren maden artıklarının atmosferik koşullarda bozunması sonucu oluşabilecek asit maden drenajı gibi zararlı durumları önlemesi veya minimize etmesi açısından çevresel etki olarak diğer dolgu yöntemlerine göre daha faydalıdır. Zemin kontrolünün sağlanmasında, bırakılan topukların geri kazılmasının sağlanmasında, kes-doldur yöntemlerinde kullanılabilirliğinden dolayı çoğu yer altı madencilik operasyonlarında başvurulan bir dolgu yöntemidir.

Bu tez kapsamında Trabzon ilinde bulunan bakır zenginleştirme tesisinden alınan artık malzemenin yeraltında depolanabilirliğinin araştırılması kapsamında laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Bu süreçte CEM I 42,5 R cinsindeki çimento bağlayıcı olarak kullanılarak, en uygun bağlayıcı oranını belirlemek amacıyla farklı bağlayıcı oranlarında (%3, %5, %7, %9 ve %11) ve 17.5 cm (%77) slamp değerlerine sahip macun dolgu numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin kür süreleri sonunda sahip oldukları dayanım özelliklerini belirlemek için TEBD testi yapılmıştır.

Macun dolgu karışımında kullanılan artık malzemesi Fall ve diğ. (2005)'e göre proses artıkların özgül ağırlığı 2,8 gr/cm³ < Gs < 4,2 gr/cm³ aralığındadır. Yapılan deneyde artığın özgül ağırlığı 3.64 olarak bulunmuş ve bu değerin de dolgu için uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Macun dolgu malzemesi olarak kullanılan artık malzemenin tane boyut dağılımı dolgu dayanım özelliklerini etkileyen önemli etkenlerden biridir (Yılmaz, 2003). Hazırlanan kürün macun oluşturabilmesi için 20 μm altı tane içeriğinin ağırlıkça en az %15 ya da daha yüksek olması gerekir (Erçıkdı, 2009). Kullanılan artık malzemenin ağırlıkça 20 μm altı malzeme oranı %36.5 olarak bulunmuştur. Bu değer literatürde geçen 20 μm altı malzeme %15 ten fazla olması durumuna uygun olduğu gözlemlenmiştir ve macun dolgu için uygunluğu belirlenmiştir.

Macun dolgu karışımının tane boyut dağılımını hakkında bilgi edinmek için genellikle üniformluk katsayısı (Cu) ve eğrilik katsayısı (Cc) kullanılmaktadır. Homojen bir boyut dağılımına sahip olan dolgular için Cu değeri 4-6, Cc değeri ise 1-3 arasında kabul edilmektedir (Terzaghi ve Peck, 1996). Malzemede Cu değeri normal koşullarda 1-6 arasında bir değer olması istenirken 9.5 olarak bulunmuştur. Macun dolgunun düzenli bir tane boyut dağılımına sahip olmadığı ve çok sayıda farklı çaplara sahip tanelerin olduğu sonucunu ortaya çıkartılır. Bu durum malzeme dayanımını olumsuz etkiler. Cc değeri ise istenilen aralıktadır.

Dolgu karışımı için kullanılanacak artık malzemesinin kimyasal analiz sonuçlarına göre yüksek oranda SO_3 (% 27,01) içerdiği gözlemlenmiştir. Sülfür ile bağlayıcı olarak kullanılan çimento içerisindeki hidratasyon ürünleri arasında oluşan ve beton içerisinde hacim genişleşmesine sebep olarak betonun durağanlığını bozan (Na_2SO_4 çözeltisi) veya donmuş çimento hamurunun yumuşamasına sebep olan ($MgSO_4$ çözeltisi) seri bir karmaşık kimyasal reaksiyonlar serisi olarak tanımlanabilen sülfat atağına neden olabilir. Sodyum sülfat bulunan ortamda betonlardaki hasarın oluşması, çimento oksitlerinden C_3A'nın hidratasyonu sonucunda üretilen kalsiyum alüminat hidrate (CA-H) ile sülfat iyonlarının oluşturduğu kimyasal tepkime sonucunda oluşan etrenjit ($3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.32H_2O$) oluşumudur.

Yeraltında kullanılacak olan çimentolu macun dolgu malzemesinin tek eksenli basınç dayanım testi verilerine göre 28 günlük kür süresi sonunda sadece arakatlı kazı ve dolgu işlemleri yapılacak olan işletmelerde geçerli olan ≥ 1MPa dayanım şartı (Belem ve Benzaazoua, 2007; Kesimal ve diğ., 2012; Li ve Fall, 2016) tüm çimento oranlarında sağlanmıştır. Tavanı tutma özelliği için istenen dayanım ise ≥ 4MPa (Kesimal ve diğ., 2012) olup bu şartı ise tüm çimento oranlarındaki numuneler sağlamamıştır.

56 günlük kür sürelerinde yüksek oranda dayanım artması gözlemlenmiştir. Fakat % 11 çimento içeren karışımda 28 günlük kür süresi ile 56 günlük kür sürelerini karşılaştırıdığımızda az bir miktar düşüş görülmüştür. Bu durumun sebebi olarak artık malzemenin içeriğindeki pirit yoğunluğu ve SO_3 miktarındaki fazlalığın çimento içerisindeki C_3A ile etkileşime girerek sülfat atağı oluşturması düşünülebilinir. Ayrıca dolgu içerisindeki pirit mineralinin fazlalığı su ve oksijenin ile reaksiyona girerek ortamda sülfat oluşumuna neden olur ve dayanım kaybı yaşanır.

Macun dolgu karışımında kullanılan Cem I 42.5 R çimentosunun sahip olduğu yüksek oranda C_3S (% 6,47)ve C_3A (% 58,3) içerdiği görülmektedir. Bu durum hazırlanan numunelerin sülfat ve asit direncine karşı zayıf olmasına yol açabilir. Sülfata karşı dirençli olan CEM I SR ibareli çimentolar ile CEM III B ve CEM III C tipi çimentolar dolgu bağlayıcısı olarak kullanılabilir. Ayrıca mineral katkıların (uçucu kül, yüksek fırın cürufu, metakaolin vs.) %10-20 Aralığında kullanımı CH tüketimini sağlar ve sülfat saldırısının önüne geçecektir.

KAYNAKLAR

Aldhafeeri, Z., M. Fall, M. Pokharel and Z. Pouramini, 2016, Temperature dependence of the reactivity of cemented paste backfill, *Applied geochemistry*, 72: 10-19.

Annor, A.B., 1999; "A Study of the Characteristics and Behaviour of Composite Backfi ll Material", PhD Thesis, McGill University, Montreal, 396 s.

Archibalt , J. Gange, D.D., Nantel, J., Hassani, F.(2003).Underground Mine Backfill, Vol. 1
ASTM (1995) ASTM C143, Standard Test Method For Slump of Hydraulic Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 04.02.

ASTM C 39., 2002, Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, Annual Book of American Standard of Testing Materials Standards, United States.

Azam S., 2004; Thickening of mine waste , Geotechinical News, December, 40-43 backfill technology, *Geotechnical and geological engineering*, 26(2): 147-174

Bakharev, T., Sanjayan J.G., and Cheng, Y.B., 2002. Sulfate attack on alkali-activated slag concrete. Cement and Concrete Research, 32 (2), 211-216.

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.

Başçetin, A. and S. Tüylü, 2017, "Application of Pb-Zn tailings for surface paste disposal: geotechnical and geochemical observations, *International journal of mining, reclamation and environment*, 1-15.

Been, K., Brown, E.T. ve Hepworth, N., 2002; "Liquefaction Potential of Paste Fill at Neves Corvo Mine, Portugal", Mining Technology: IMM Trans. Sec. A, **111 (1)**, 47-58.

Belem T., Harvey A., Simon R. ve Aubertin M.,2004; "Measurement and Prediction of Internal Stresses in an Underground Opening During its Filling with Cemented Fill", Proc. of 5th International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction, Perth, Australia, 619 – 630.

Belem, T. and Benzaazou, 2007,Design and aplication of underground mine paste backfill

Belem, T., Aatar, E.O., Bussiere, B., Benzaazoua, M., Fall, M. ve Yilmaz, E., 2006; " Characterization of Self-Weight Consolidated Paste Backfi ll", Proceedings of the 9th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Limerick, Ireland, 333-345.

Belem, T., Benzaazoua, M., Bussiere, B. Ve Dagenais, A.M., 2002; "Effects of Settlement and Drainage on Strength Development Within Mine Paste Backfi ll", Proceedings of the 9th International Conference on the Tailings and Mine Waste, Fort Collins, Colorado, 139-148.
Benzaazoua, M., Belem, T. ve Bussiere, B. (2002). Chemical factors that influence the performance of mine sulphidic paste backfill. Cement and Concrete Research, Quebec, Canada.

Benzaazoua, M., Fall, M. ve Belem, T., 2004; "A Contribution to Understanding the Hardening Process of Cemented Pastefi ll", Min. Eng, **17(2)**, 141-152.
Benzaazoua, M., Fall, M., Ouellet, S., Bussiere, B., Belem, T. (2004). Contribution to understanding the mechanism of cementedpastefill hardening. Minerals Engineering, PDMIW.

Benzaazoua, M., Ouellet, J., Servant, S., Newman P. ve Verburg, R., 1999; "Cementitious Backfi ll with High Sulfur Content Physical, Chemical, and Mineralogical Characterization", Cem. and Conc. Res, **29 (5)**, 719-725.

Bloss, M., 2002; "Below Ground Disposal (Mine Backfi ll)", In: Jewell, Fourie, Lord, editors, Paste and Thickened Tailings: A Guide, University of Western Australia, 103–26.

Brackebusch, F.W., 1994; "Basics of Paste Backfi ll Systems", Mining Engineering, **46(10)**, 1175–1178

Cayouette, J., 2003; "Optimization of the Paste Backfi ll Plant at Louvicourt Mine, CIM Bulletin, **96 (1075)**, 51-57. *cemented paste backfill using the cuaps apparatus*, Phd Thesis, Universite Du Quebec En Abitibi-Temiscamingue. cemented paste backfills, *Cement and concrete composites*, 33(6): 702-715.

Cihangir, F., B. Ercikdi, A. Kesimal, A. Turan and H. Deveci, 2012, Utilisation of alkaliactivated blast furnace slag in paste backfill of high-sulphide mill tailings: effect of binder type and dosage, *Minerals engineering*, 30: 33-43.

Çetiner, E. G., B. Ünver, M. A. Hindistan, 2006, Maden atıkları ile ilgili mevzuat: Avrupa birliği ve türkiye, *Madencilik*, 45: 11.

Douglas, E. and Malhotra, V.M. (1987). A Review of the Properties and Strength Development of Non-ferrous Slag - Portland Cement Binders. Supplementary Cementing Materials for Concrete. V.M. Malhotra (editor) Canmet, SP 86-8E, Chapter 7, pp. 371-428 *Engineering geology*, 168: 23-37. *engineering*, 18(1): 41-44.

Erçıkdı, B. (2009). Mineral ve Kimyasal Katkı Maddelerinin Macun Dolgu Performansına Etkisi. (doktora tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Fall, M. and M. Pokharel, 2010, Coupled effects of sulphate and temperature on the strength development of cemented tailings backfills: portland cement-paste backfill, Cement and concrete composites, 32(10): 819-828

Fall, M. ve Benzaazoua, M., 2005; "Modeling the Effect of Sulphate on Strength Development of Paste Backfi ll and Binder Mixture Optimization", Cem. Conc. Res, **35 (2)**, 301-314.

Fall, M., and Samb, S.S., 2006. Influence of curing temperature on strength, deformation behaviour and pore structure of cemented paste backfill at early ages. Construction and Building Materials, uildmat.2006.08.010.

Fall, M. and M. Pokharel, 2010, Coupled effects of sulphate and temperature on the strength development of cemented tailings backfills: portland cement-paste backfill, *Cement and concrete composites*, 32(10): 819-828.

Fall, M., D. Adrien, J. C. Célestin, M. Pokharel and M. Touré, 2009, Saturated hydraulic conductivity of cemented paste backfill, *Minerals engineering*, 22(15): 1307-1317.

Fall, M., M. Benzaazoua and E. G. Saa, 2008, Mix proportioning of underground cemented tailings backfill, *Tunnelling and underground space technology*, 23(1): 80-90.

Fall, M., M. Benzaazoua and S. Ouellet, 2005, Experimental characterization of the ınfluence of tailings fineness and density on the quality of cemented paste backfill, *Minerals*

Ghirian, A. and M. Fall, 2016, Long-term coupled behaviour of cemented paste backfill in load cell experiments, *Geomechanics and geoengineering*, 11(4): 237-251.

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

Grice, T., 1998; "Underground Mining with Backfi ll", The 2nd Annual Summit on Mine Tailings Disposal Systems, Brisbane, Australia, 5-15.

Hassani F. And Bois (1992). Economic and technical feasibility for backfill desing in Quebec underground mines. Final report ½ , Canada-Quebec Mineral Devolopment Agreemnet, Research & Devolopment in Quebec Mines.Contract no.EADM 1989-1992, File no. 71226002

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

Kesimal, A., Erçıkdı, B. ve Yılmaz, E., 2003; "The Effect of Desliming by Sedimentation on Paste Backfi ll Performance", Miner. Eng**, 16(10)**, 1009–1011.

Kesimal, A., Yılmaz, E., Erçıkdı, B., Alp, İ., Yumlu, M., ve Özdemir, B., 2002; "Çimentolu Macun Dolgunun Laboratuvar Testi", Madencilik, **41 (4)**, 11-20.

Kitula, A. G. N., 2006, "The environmental and socio-economic impacts of mining on local livelihoods ın tanzania: a case study of geita district, *Journal of cleaner production*, 14(3- 4): 405-414.

Kumari, S., Udayabhanu, G., Prasad, B., 2010, Studies on environmental impact of acid mine drainage generation and its treatment: an appraisal. Indian, *J. environ. prot.*, 30 (11), 953e967.

Landriault, D.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., 1995; "Paste Backfi ll Mix Design for Canadian Underground Hard Rock Mining", In: Proc. of the 97th Annual General Meeting of the CIM Rock Mechanics and Strata Control Session, Halifax, Nova Scotia, s. 652.

Landriault, D.A., 1995; "Paste Backfi ll Mix Design for Canadian Underground Hard Rock Mining", In: Proc. of the 97th Annual General Meeting of the CIM Rock Mechanics and Strata Control Session, Halifax, Nova Scotia, s. 652.

Longo, S., 2007; Using paste technology to support environmental goals. Mining Environmental Management, Oct., 17-19

Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs 2005, Ankara Madencilikte Sıfır Atıklı Üretim A.İ. Arol Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara)

Meggyes, T. and Debreczeni, A., 2006. Paste technology for tailings management. Land Contamination& Reclamation, 14 (4).

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.

MMSD (Mining, Minerals and Sustainable Development), 2002. Mining for the Future Appendix A: Large Volume Waste Working Paper. 31, 18–19.

MTA maden potansiyeli 2010, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi merkezi/maden_potansiyel_2010/Trabzon_Madenler.pdf

MTA Raporları, Trabzon-Yomra-Kayabaşı (Kanköy) Ve Kömürcü Köyleri Yöresindeki Pontid Tipi Masif Sülfit Yatağının (Cu-Zn-Pb-Au-Ag-Pirit) Maden Jeolojisi, 1988

Nanthananthan, N. (2006). *Backfill Optimization Using Mine Tailings for Improved Ground Stability in Underground Mines*. (yüksek lisans tezi), Dalhousie University, Canada

Neville, A.M., 2000; "Properties of Concrete", Prentice Hall, London, England. Bakharev, T., Sanjayan J.G. ve Cheng, Y.B., 2002;"Sulfate Attack on Alkali-Activated Slag Concrete", Cem. Concr. Res. **32 (2)**, 211-216.

Newman, P., Cadden, A., White, R., 2001. Paste - The Future of Tailings Disposal?" Securing the Future. In: International Conference on Mining and the Environment. Skelleftea, Sweden, 594 – 603.

Ouellet, J., Bidwell, T.J. ve Servant, S., 1998; "Physical and Mechanical Characterization of Paste Backfi ll by Laboratory and In-Situ Testing", Proceedings of 6th International Symposium on Mining with Backfi ll. Brisbane, Australia, 249-1253.

Ouellet, S., 2006. Mineralogical characterization, microstructural evolution and environmental behaviour of mine cemented paste backfills. PhD Thesis, Quebec University, Canada.**Pierce, M.E.,**

Potvin, Y. (2005). Pastefill in Australia, Handbook on Minefill 2005 pp. 101-108.

Revell, M.B., 2004; "Paste-How strong is it?", Proceedings of the 8th International Symposium on Mining with Backfi ll, Beijing, China, 286-294

Robinsky, E.I., 1999. Thickened Tailings Disposal in the Mining Industry. E.I. Robinsky Associates Ltd., Toronto, Canada. 210 p.

Roux, K.A., Bawden, W.F. ve Grabinsky, M.F., 2005; "Field Properties of Cemented Paste Backfi ll at the Golden Giant Mine", IMM Mineral Technology, **114 (2)**, 65-86.

Roux, L.K., Bawden, W.F. ve Grabinsky, M.W., 2004; "Liquefaction Analysis of Early Age Cemented Paste Backfi ll", Eighth International Symposia on Mining with Backfi ll (Minefi ll 2004), Beijing, pp. 233-241

Santhanam, M., Cohen, M.D. ve Olek, J., 2001; "Sulfate Attack Research Whither Now?", Cem.and Conc. Res, **31 (6)**, 845-851. technology,Geotechnical and geological engineering, 26(2):147-174.

Tariq, A. and M. Nehdi, 2007, Developing durable paste backfill from sulphidic tailings, Proceedings of the institution of civil engineers - waste and resource management, 160(4): 155-166

TS 25, 1975. Tras. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS, 2002. Çimento deney metotlar›. Türk Standartlar› Enstitüsü, Ankara.

Weaver, W.S. and Luka, R. (1970). Laboratory Studies of Cement-Stabilized Mine Tailings. CIM Bulletin, 63(701), September, pp. 988-1001

Wickland, B.E. ve Wilson, G.W., 2005; "Self-Weight Consolidation of Mixtures of Mine Waste Rock and Tailings, Can. Geotech. J., **42**, 327–339.

Yılmaz, E., 2010, Investigating the hydrogeotechnical and microstructural properties of cemented paste backfill using the cuaps apparatus, Phd Thesis, Universite Du Quebec En Abitibi-Temiscamingue

Yılmaz, E., Kesimal, A. ve Erçıkdı, B., 2003; **"**Macun Dolgu Dayanımını ve Duraylılığını Etkileyen Faktörler", Yerbilimleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Hacettepe Üniversitesi, **28(2)**, 155-169.

Yilmaz, E., M. Benzaazoua, T. Belem and B. Bussière, 2009, Effect of curing under pressure on compressive strength development of cemented paste backfill, *Minerals engineering*, 22(9-10): 772-785.

Yilmaz, E., T. Belem, B. Bussière and M. Benzaazoua, 2011, Relationships between microstructural properties and compressive strength of consolidated and unconsolidated cemented paste backfills, Cement and concrete composites, 33(6): 702-715**.**

Yilmaz, T., B. Ercikdi, K. Karaman and G. Kulekci, 2014, Assessment of strength properties of cemented paste backfill by ultrasonic pulse velocity test, *Ultrasonics*, 54(5): 1386- 1394.

Yilmaz, E., T. Belem and M. Benzaazoua, 2014, Effects of curing and stress conditions on hydromechanical, geotechnical and geochemical properties of cemented paste backfill, *Engineering geology*, 168: 23-37.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ömer Hami KAVLU
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	11.09.1993
Uyruğu	TC.
E-Posta Adresi	omer.hami@gmail.com



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Hacettepe Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölüm	Maden Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2016

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul-Cerrahpaşa Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Maden Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2020