



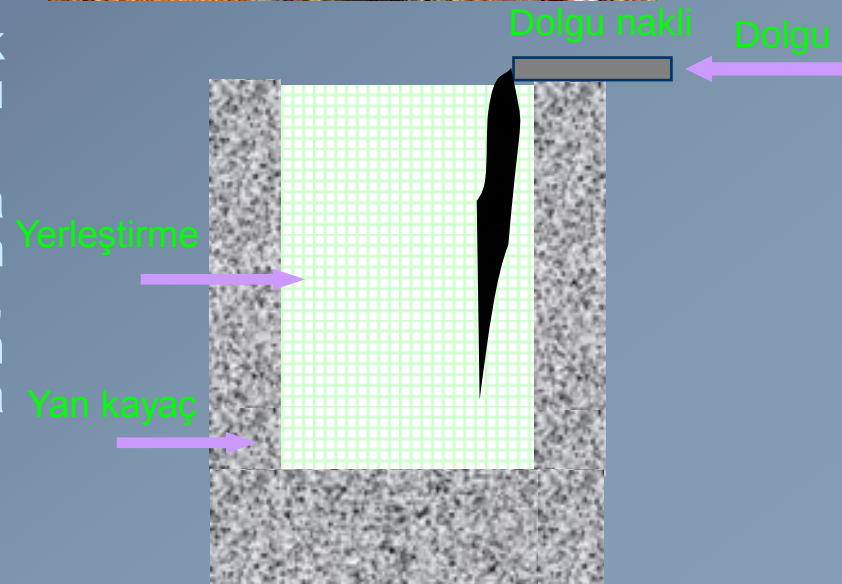
ÇEVREYE DUYARLI MACUN DOLGU TEKNOLOJİSİ VE UYGULAMALARI

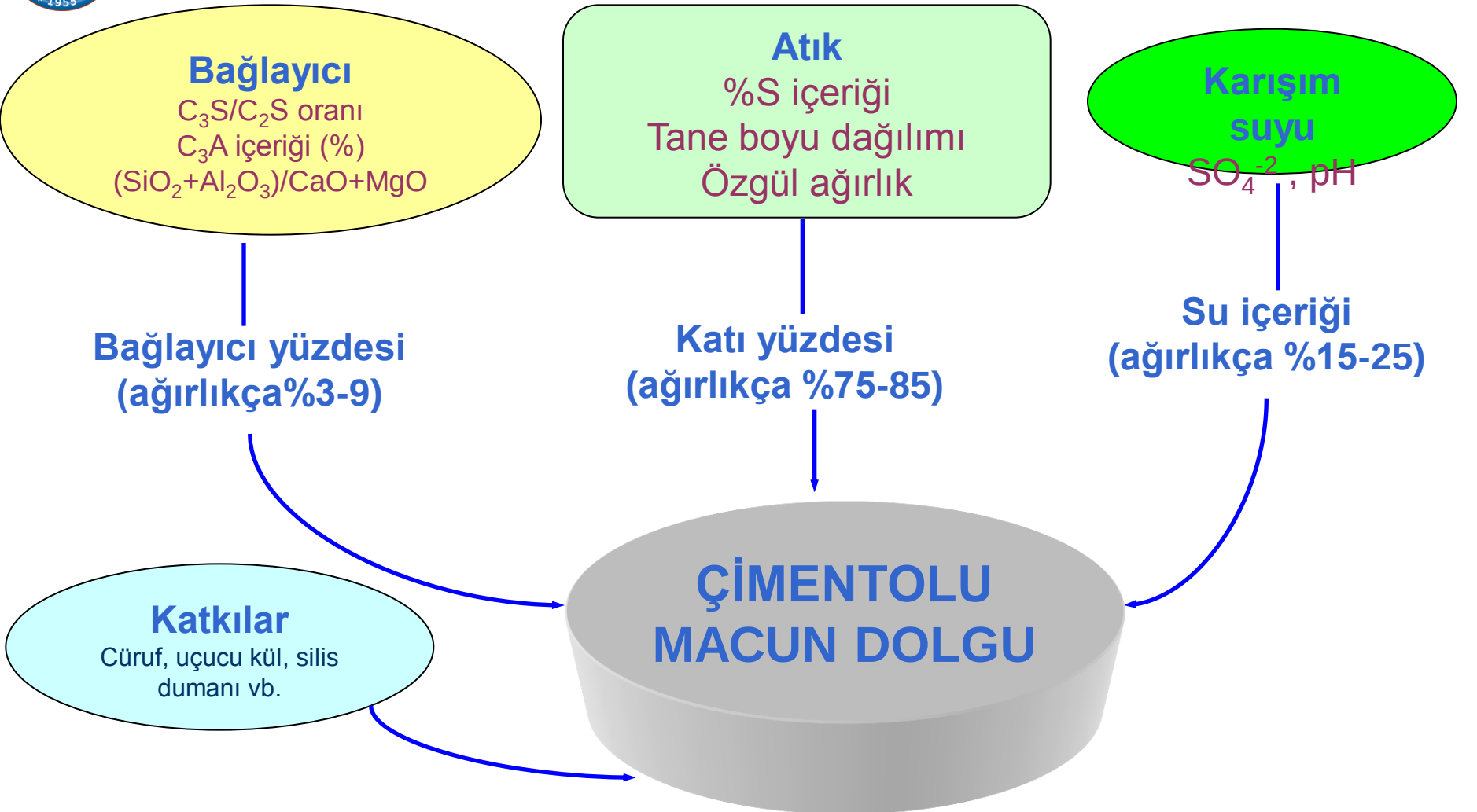
Ayhan KESİMAL*, Bayram ERÇIKDI*, Ferdi CİHANGİR*, Hacı DEVECİ*
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

- Madencilik faaliyetleri ve cevher zenginleştirme işlemleri sonucu açığa çıkan maden atıklarının uygun olmayan bir şekilde çevreye bırakılması, birtakım çevresel problemlerin (AMD oluşumu vb.) oluşmasına neden olmaktadır.



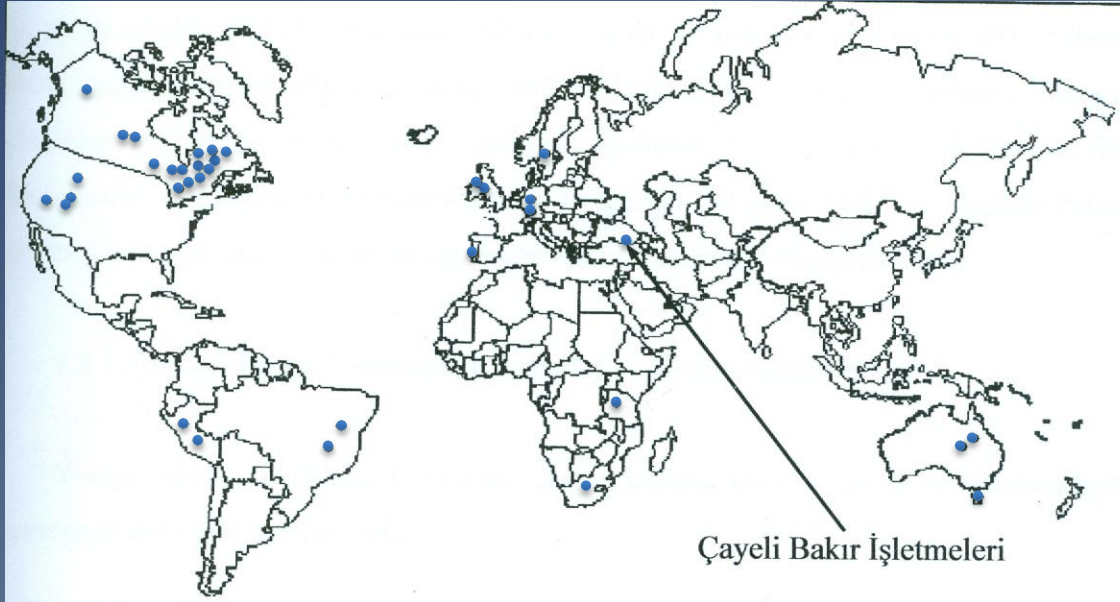
- Bu tür çevresel problemleri önlemek için maden atıkları, günümüzde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.
- **Dolgu;** yeraltı maden ocaklarında cevher üretimi sonucu oluşan boşlukların tavan tahkimatı, topukların kazanımı ve maden atıklarının depolanması amacıyla yapılan işlemdir.





- **Çimentolu macun dolgu**; atık (20 mikron altı boyut en azından %15 olmalı), bağlayıcı ve karışım suyunun başarılı bir karışımıdır.
- Macun dolguyu oluşturan bileşenlerin her birinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliği dolgunun kısa ve uzun dönemde dayanım ve duraylılığını etkilemektedir.

Dünyada Çimentolu Macun Dolgu İşletmeleri



Ülkemizde Kurulum Aşamasındaki işletmeler

- Eti Bakır A.Ş. Küre-Kastamonu
- TÜPRAG Efem Çukuru Altın Madeni-İzmir

Çimentolu Macun Dolgu ➤ Avantajları:



- Alternatif dolgu malzemesi doğal kaynakların (kaya, çakıl, vb.) tüketilmesi azalmakta
- Tesis atıklarının (sülfürlü, vb.) büyük bir kısmının emniyetli bir şekilde yeraltında depolanmasına imkan tanımakta
- Yerüstü atık depolama ve rehabilitasyon maliyetlerinde azalma sağlamakta

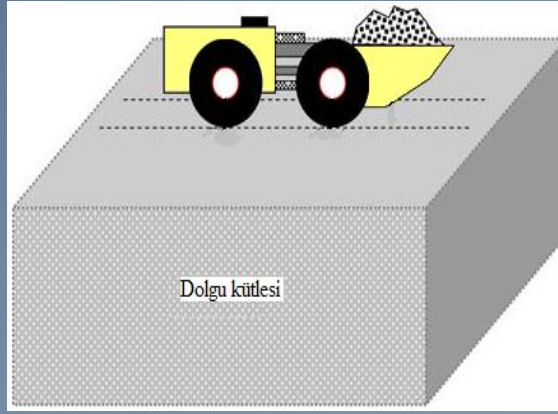
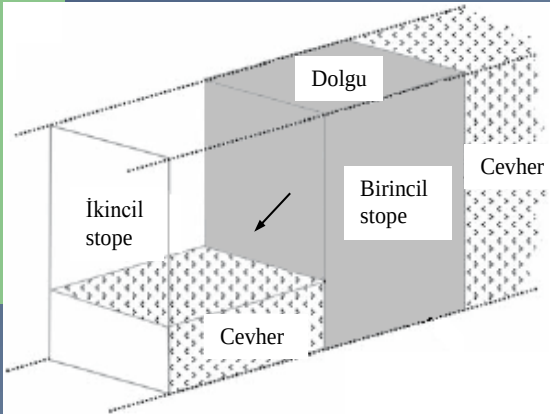


➤ Dezavantajları:

- İlk yatırım maliyeti yüksek
- Sülfürlü atıklar kullanıldığı durumda uzun dönemde dayanım ve duraylılık kaybı oluşabilir ancak uygun karışım dizaynı yapılarak engellenir.

1. Dayanım ve Duraylılık

- Macun dolgunun mekanik performansı, pratikte **tek eksenli basınç testi** ile değerlendirilmektedir.
- Sıvılaşma riskinin oluşmaması ve macun dolgu barikatlarının zarar görmemesi için macun dolgunun 3 günlük kür süresi sonunda **en az 0,15 MPa**,
- Macun dolgunun kendi stabilitesini sağlaması için 28 günlük kür süresi sonunda en az **1 MPa**,
- Tavan tahkimatı amacıyla yerleştirilen macun dolgunun ise 28 günlük kür süresi sonunda en az **4 MPa** dayanıma sahip olması gerekmektedir.



Macun dolgunun dayanım ve duraylılığını etkileyen faktörler

İÇ ETKENLER

Atık malzeme özellikleri

- Tane boyut dağılımı
- Tane şekli
- Özgül ağırlık
- Mineraloji (kil varlığı vb.)
- Asit ve sülfat etkisi

Bağlayıcı özellikleri

- Bağlayıcı tipi ve oranı
- Mineral katkı maddesi (puzolan) kullanımı
- Kimyasal katkı maddesi kullanımı

Karışım suyu özellikleri

- SO_4^{2-} konsantrasyonu (mg/lt)
- pH

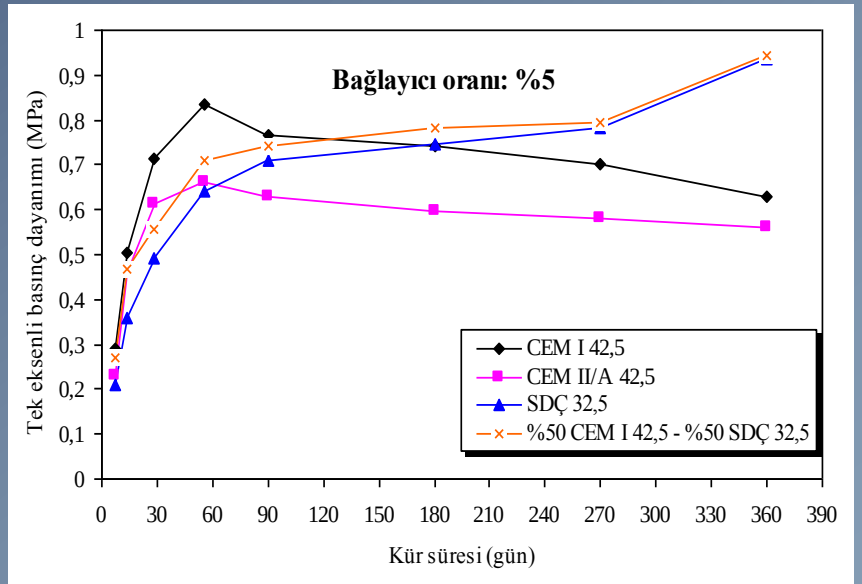
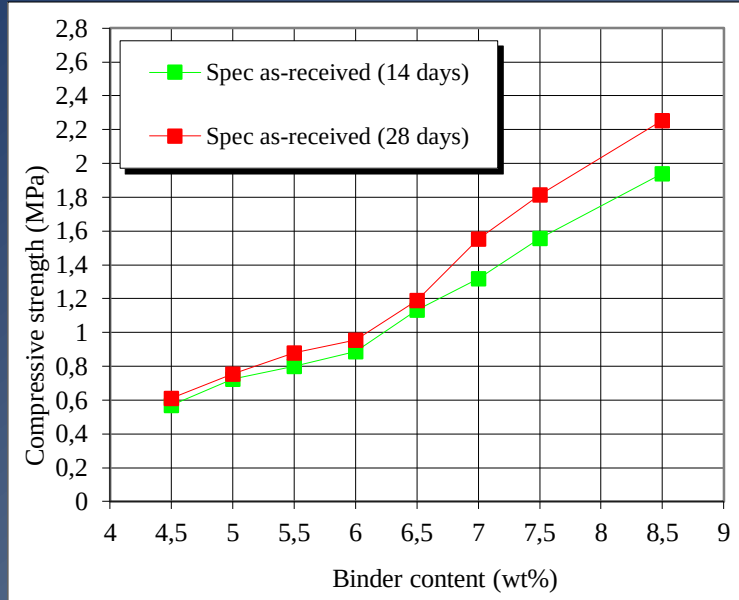
Karışım özellikleri

- Su:çimento oranı
- Yoğunluk (% katı oranı)

DIŞ ETKENLER

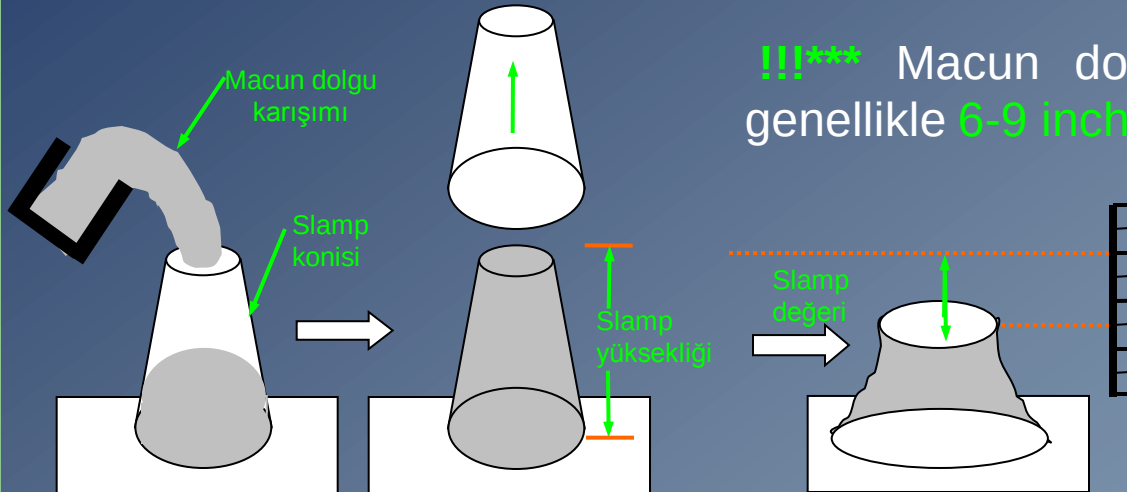
Yerinde koşullar

- Kür koşulları (sıcaklık, nem)
- Konsolidasyon
- Drenaj koşulları
- Sıvılaşma (liquefaction)
- Yeraltısuyu koşulları
- Yan kayaçla etkileşim (yanal basınçlar, çatlak vb.)
- Patlatma kaynaklı titreşimler
- Dolgu yerleştirme şekli (kademeli vb.)
- Dolgu barikatının sağlamlığı



2. Reoloji

- **Reoloji**, bir malzemenin akışkanlık özelliğini ifade etmekte olup, genellikle **slamp testi** ile değerlendirilmektedir.
- **Slamp**, bir karışım malzemesinin koni şeklindeki kaygan bir kalıptan serbest bırakıldığında boydaki düşmenin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır.

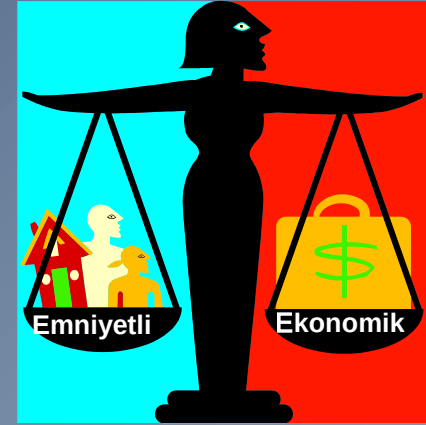


!!!*** Macun dolgu uygulamalarında slamp genellikle 6-9 inch arasında seçilir.



3. Ekonomi

- Kullanılan çimento, macun dolgu işletme maliyetlerinin %50-75'ini oluşturmaktadır.
- İstenilen dayanım ve duraylılığı sağlayacak en uygun bağlayıcı tipi ve oranının belirlenmesi, işletme maliyetlerinin azaltılması açısından önemlidir.
- Puzolanik özelliğe sahip mineral katkı maddeleri ve su azaltıcı özelliğe sahip kimyasal katkı maddeleri ile işletme maliyetleri azaltılabilmektedir.
- Macun dolgunun en önemli ekonomik avantajı işletme maliyetlerinin diğer dolgulara (kaya, vb.) kıyasla düşük olmasıdır.

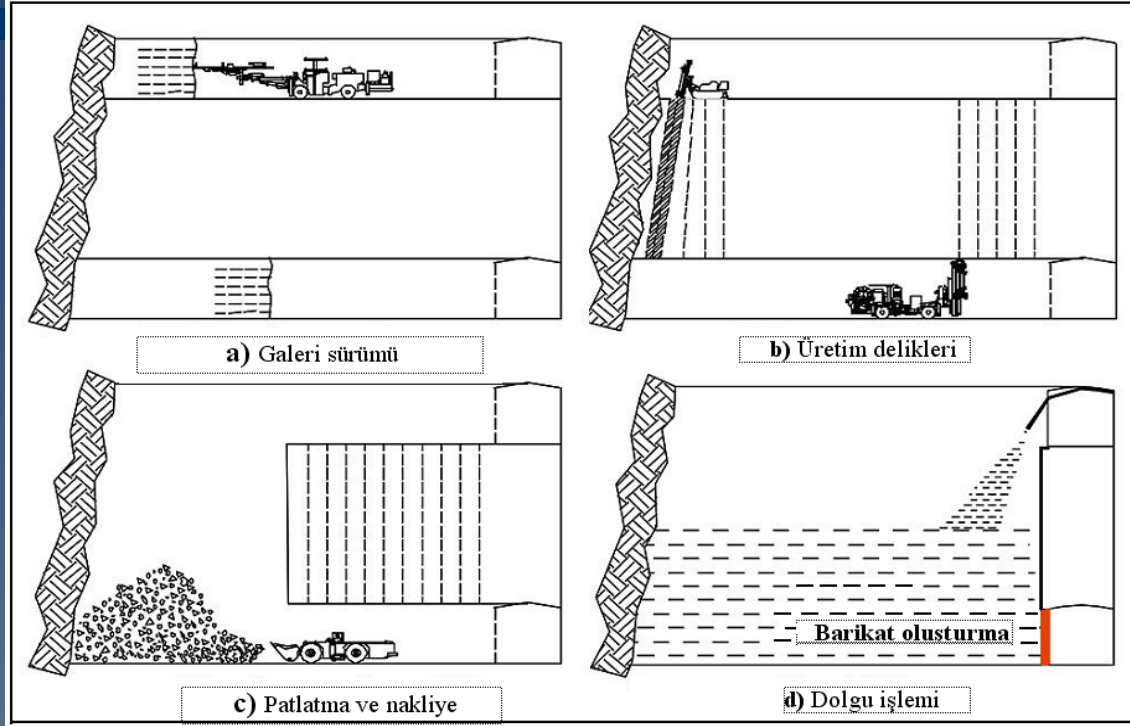


ÇBi Yeraltı İşletmesinde Dolgulu Çalışma



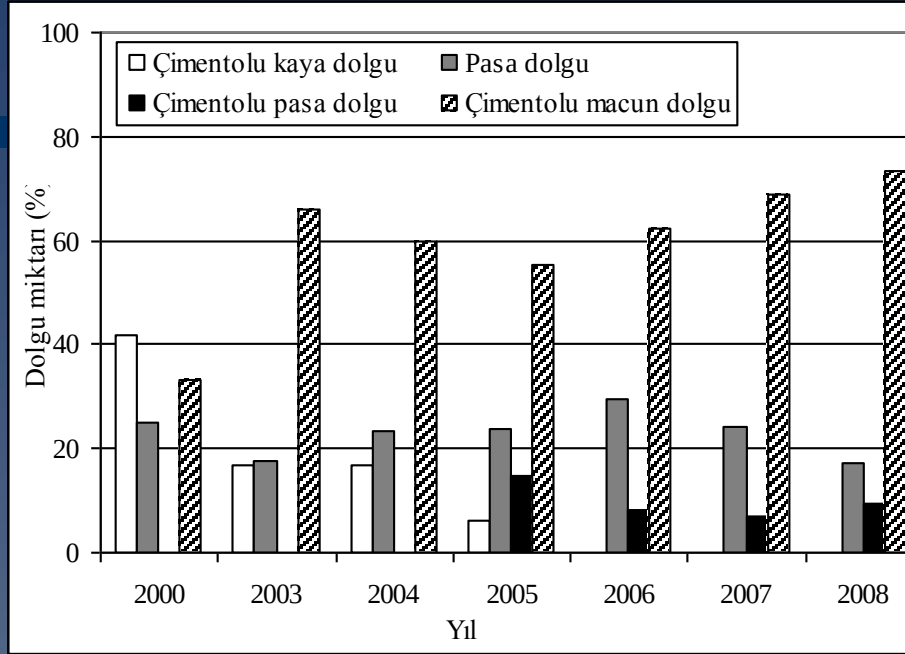
- Çayeli Bakır İşletmeleri ülkemizin en modern yeraltı bakır ve çinko madenidir.

ÇBİ Yeraltı İşletmesinde Dolgulu Çalışma



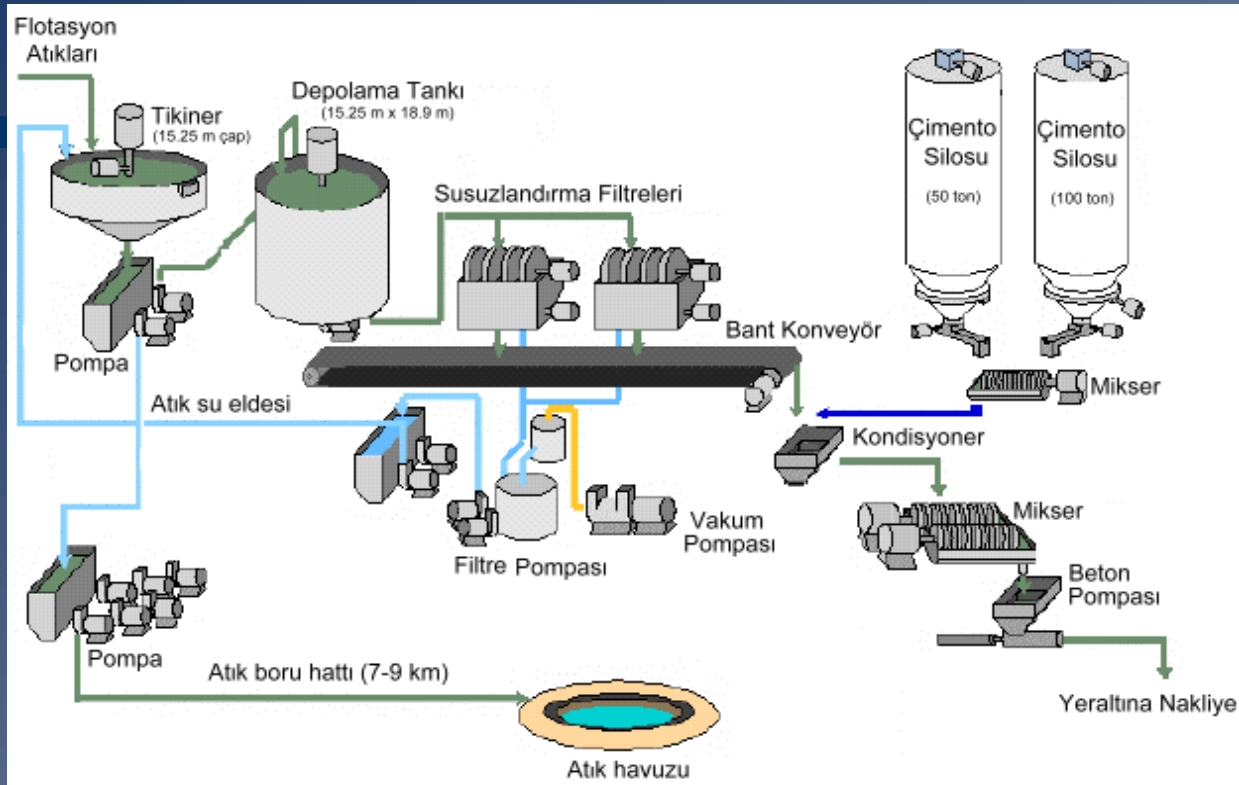
- ÇBİ'de Üretim, arakatlı kazı metodu ile yapılmaktadır.
- ÇBİ, çevreye duyarlı macun dolgu teknolojisini 1999 yılından itibaren başarıyla uygulamaktadır.
- Tesis atıklarının %75'lik kısmı, macun dolgu teknolojisi ile yeraltı üretim boşluklarında depolanmaktadır.

ÇBİ Yeraltı İşletmesinde Dolgulu Çalışma



- İşletmede çimentolu pasa dolgu, pasa dolgu ve çimentolu macun dolgu yöntemi ile **yılda ortalama 250,000 m³ dolgu** yerleştirilmektedir.
- Çayeli Bakır İşletmelerinde 2008 yılında yeraltına yerleştirilen toplam dolgunun **%73.3'ü MACUN DOLGU** yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.
- **ÇBİ'de dolgu başlıca;** topuk işlevi görerek yan cevherin üretilmesini sağlamak, çalışma zemini oluşturmak, tavan tahkimatı sağlamak, emniyetli çalışma koşulları tesis etmek ve işletmede açığa çıkan atıkları depolamak amacıyla uygulanmaktadır.

ÇBi Yeraltı İşletmesinde Dolgulu Çalışma



- Macun dolgu tesisi, %82 katı oranına sahip ve saatte 45 m³ macun üretme kapasitesine sahiptir.
- Hazırlanılan macun dolgu karışımlarının akışkanlığı 7-8 inch arasındadır.
- İşletmede düzenli olarak slamp ölçümü ve tek eksenli basınç dayanımı testi yapılmaktadır.

ÇBİ Yeraltı İşletmesinde Dolgulu Çalışma

Barikat inşası tipik olarak, kalas, sunta, ribar ve püskürtme beton ile yapılmaktadır.

Dolgu kademeli olarak yerleştirilmekte ve dolgu işlemi esnasında alt kat, üst kat ve aynı katta patlatma yapılmamaktadır.

Dolgu dağıtım sistemi (nakil hattı), macun dolgu uygulamasından önce ve sonra su ve basınçlı hava ile temizlenmektedir.

Bağlayıcı oranı, birincil stoplarda %7-9, ikincil ve üçüncül üretim boşluklarında %5-9'dur.



Sonuçlar

- Çevreye duyarlı macun dolgu teknolojisi, tesis atıklarının tamamına yakınının yeraltı üretim boşluklarında emniyetli ve güvenli bir şekilde depolanmasına imkan sağlamaktadır.
- Çayeli Bakır İşletmeleri, ülkemizde atıkların depolanması ve kontrolü konusunda çevreye duyarlı macun dolgu teknolojisini uygulayan örnek bir maden işletmesidir. Etibakır ve Tüpraş tesis kurulum aşamasında işletmelerdir.
- Macun dolgu teknolojisinin yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi, ülkemiz madenciliğinin atıklar konusunda yaşadığı sıkıntıları bertaraf ederek çevresel problemlere çözüm üretecektir.

Bölümümüzde Macun Dolgu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Uygulama Projeleri

- Optimization of test results obtained from different size slumps with varying cement contents for Cayeli mine's clastic and spec ore tailings, KTÜ Döner Sermaye Projesi, **Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. (2002).**
- Optimization of paste backfill performance for different ore types in Cayeli Copper Mine, KTÜ Döner Sermaye Projesi, **Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. (2010).**
- Etibakır A.Ş. Kastamonu Küre tesis ve atık barajı atıklarının macun dolgu malzemesi olarak etüdü (**devam ediyor**)

Araştırma Projeleri

- Çevresel açıdan zararlı sülfürlü maden atıklarının macun dolgu olarak yeraltına depolanması ve macun dolgunun fiziksel, kimyasal, mineralojik özelliklerinin ve duraylılığının kısa ve uzun dönemde incelenmesi, T.C. Devlet Planlama Teşkilatı (**DPT**) Projesi, Ankara, **(2008).**
- Macun dolgu dayanımı üzerinde etkili olan faktörlerin laboratuvar ortamında detaylı olarak analizi ve irdelenmesi, KTÜ Bilimsel Araştırma Projesi, Trabzon, **(2008).**
- Mineral ve kimyasal katkı maddelerinin sülfürlü atıklardan üretilen macun dolgunun kısa ve uzun dönemdeki performansına etkisinin araştırılması, **TÜBİTAK** Projesi, Ankara, **(2010).**
- Aktifleştirilmiş yüksek fırın cürufunun macun dolguda çimento yerine bağlayıcı olarak kullanılabilirliği ve duraylı dolgu üretimi, KTÜ Bilimsel Araştırma Projesi, Trabzon, **(2012).**
- Atık Tane Boyutunun Macun Dolgu Performansına Etkisinin Araştırılması, KTÜ Bilimsel Araştırma Projesi, Trabzon, **(devam ediyor).**

Bölümümüzde Macun Dolgu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Tamamlanan Doktora ve Yüksek Lisans Tezleri

- **Bayram ERÇIKDI**, Mineral ve Kimyasal Katkı Maddelerinin Macun Dolgu Performansına Etkisi”, **Doktora Tezi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran 2009, 141 sayfa, Trabzon.
- **Ferdi CİHANGİR**, Aktifleştirilmiş Yüksek Fırın Cürufunun Macun Dolguda Bağlayıcı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, **Doktora Tezi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Temmuz 2011, 206 sayfa, Trabzon.
- **Erol YILMAZ**, Sülfür İçeren Maden Atıklarının Hazırlanan Çimentolu Macun Dolgu Örneklerinin Dayanım Özelliklerinin İncelenmesi, **Yüksek Lisans Tezi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Aralık 2003, 117 sayfa, Trabzon.

Kazanılan Ödüller

- **Mehmet Kemal DEDEMAN** Araştırma ve Geliştirme Proje Yarışması 2005, İkincilik Ödülü, Çevresel Açıdan Zararlı Sülfürlü Maden Atıklarının Dolgu Malzemesi Olarak Yeraltında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Macun Dolgu Teknolojisinin Detaylı Olarak İncelenmesi, Geliştirilmesi ve Ülkemiz Madenciliğinde Kullanımının Yaygınlaştırılması, Dedeman Holding, İstanbul, (2006).
- Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı **2004 Yılı Yüksek Lisans Tez Ödülü**, İstanbul, Sülfür İçeren Maden Atıklarının Hazırlanan Çimentolu Macun Dolgu Örneklerinin Dayanım Özelliklerinin İncelenmesi, İstanbul, (2004).
- Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı **2010 Yılı Doktora Tez Ödülü**, Mineral ve Kimyasal Katkı Maddelerinin Macun Dolgu Performansına Etkisi, İstanbul, (2011).

Bölümümüzde Macun Dolgu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Bilimsel Yayınlar

- **9 adet yurtdışı SCI kapsamındaki dergilerde makale**
- **6 adet yurtiçi dergilerde makale**
- **13 adet yurtdışı sempozyumlarda bildiri sunumu**
- **6 adet yurtiçi sempozyumlarda bildiri sunumu**
- **Yaptığımız bilimsel çalışmalara yaklaşık 200 adet uluslararası atıf**

LABORATUVARLAR



DENEYSEL ÇALIŞMALARIMIZ



Numunelerin hazırlanması: karışım (a); sıkılama (b); kür alma (c) dayanım testi (d)