

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL MADENCİLİĞİNDE YERALTI AÇIKLIKLARI İÇİN MACUN
DOLGU MALZEMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Faruk UĞURLU

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cüneyt Atilla ÖZTÜRK

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL MADENCİLİĞİNDE YERALTI AÇIKLIKLARI İÇİN MACN DOLGU
MALZEMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ömer Faruk UĞURLU
505111008**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cüneyt Atilla ÖZTÜRK

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505111008 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ömer Faruk UĞURLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**METAL MADENCİLİĞİNDE YERALTI AÇIKLIKLARI İÇİN MACUN DOLGU MALZEMESİNİN ARAŞTIRILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yard. Doç. Dr. Cüneyt Atilla ÖZTÜRK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Erkin NASUF**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN
İstanbul Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Cüneyt Atilla ÖZTÜRK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **03 Haziran 2013**

Sevgili Aileme,

ÖNSÖZ

“Metal Madencilğinde Yeraltı Açıklıkları İçin Macun Dolgu Malzemesinin Araştırılması” isimli bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalardan atık özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler, İTÜ Maden Fakültesi Jeokimya Laboratuvarları’nda yapılmıştır. Dolgu numunesi hazırlama işlemleri ve dolgu mekanik performansı tayini deneyleri İTÜ Maden Fakültesi Kaya Mekaniği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Yüksek Lisans çalışmalarının yürütülmesi ve sonuçlandırılmasına kadar olan her aşamada bilgi, deneyim, destek ve görüşlerini benden esirgemeyen, bana hoca gibi değil bir abi gibi yaklaşan değerli danışman hocam Yard. Doç. Dr. Atilla Cüneyt ÖZTÜRK’e sonsuz teşekkürlerimi, minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tez süresi boyunca yaptığım çalışmalarda beni yönlendiren, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, yapıcı eleştirileriyle beni destekleyen, laboratuvar çalışmalarında gecelere kadar özverili bir şekilde benden yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Ozan BAYRAM’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Özellikle laboratuvar çalışmalarında yardımlarını benden esirgemeyen Arş. Gör. Emre ÖNSEL’e, mineral kimyası konusunda değerli bilgilerini benimle paylaşan Arş. Gör. Burak KARABEL’e, Jeokimya Laboratuvarı çalışanlarından Uzman Serena UZAŞCI’ya, Teknisyen Mehmet ÖZDEMİR’e, Öğrenci-Asistan Alev KAN’a ayrı ayrı teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Atık özelliklerinin belirlenmesinde laboratuvarları kullanmama izin veren Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK’e ve Prof. Dr. Mustafa KUMRAL’a, Boya Laboratuvarı çalışanlarından Arş Gör. Dr. Fırat KARAKAŞ’a ve Behzad Vaziri HASSAS’a yardımlarından dolayı ayrı ayrı teşekkür ederim. Ayrıca Prof. Dr. Işık ECE’ye katkılarından dolayı teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Bu çalışmaya yapmış olduğu katkılardan dolayı Eczacıbaşı ESAN Balya İşletme Müdürü Sayın Ali TÜRKİSTANLI’ya ve özellikle arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen, Eczacıbaşı ESAN Balya Kurşun-Çinko İşletmesi Yeraltı Üretim Müdürü Engin DOĞAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, 37-144 No’lu İTÜ Bilimsel Araştırma Projesi ve Eczacıbaşı ESAN firması tarafından yüksek lisans tezi projesi olarak desteklenmiştir.

Bu çalışmayı, yüksek lisans öğrenimim boyunca beni her konuda destekleyen, çalışmalarım nedeniyle kendileriyle yeterince ilgilenemediğim değerli aileme ithaf ederim.

Haziran 2013

Ömer Faruk UĞURLU
Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	23
2. YERALTINDA KULLANILAN DOLGU MALZEMELERİ	25
2.1 Giriş.....	25
2.2 Macun Dolgu Dışındaki Dolgu Türleri	26
2.2.1 Kaya dolgusu.....	26
2.2.1.1 Kaya dolgusu yönteminin avantajlar.....	28
2.2.1.2 Kaya dolgusu yönteminin dezavantajları	28
2.2.2 Hidrolik dolgu	28
2.2.2.1 Hidrolik dolgu yönteminin avantajları	31
2.2.2.2 Hidrolik dolgu yönteminin dezavantajları	31
2.3 Macun Dolgu	31
2.3.1 Macun dolgunun kullanım amaçları, avantaj ve dezavantajları.....	32
2.3.1.1 Macun dolgunun avantajları.....	34
2.3.1.2 Macun dolgunun dezavantajları	34
2.3.2 Macun dolgunun hazırlanışı, uygulaması ve olası aksaklıklar	35
2.3.2.1 Macun dolgu içeriği	35
2.3.2.2 Macun dolgunun uygulanması ve örnek uygulama	38
2.3.2.3 Macun dolgu uygulaması sırasında karşılaşılabilecek aksaklıklar	45
2.3.3 Macun dolgu dayanımını etkileyen parametreler.....	47
2.3.3.1 İç etkenler	47
2.3.3.2 Dış etkenler	48
3. Balya Kuruşun-Çinko Yeraltı Maden İşletmesi.....	51
3.1 Coğrafi Konum.....	51
3.2 Maden Yatağının Jeolojisi.....	52
3.2.1 Jeolojik yapı	52
3.2.2 Mineraloji.....	54
3.2.3 Cevherleşme tipleri	54
3.2.3.1 Damar tipi cevherleşme.....	54
3.2.3.2 Saçılmış-dissemine tip cevherleşme	55
3.2.3.3 Kontakt tipi cevherleşme.....	55
3.3 Rezerv Durumu	55
3.4 Hazırlık Galerileri.....	56
3.4.1 Hazırlık galerilerinin geometrik özellikleri.....	56
3.4.2 Hazırlık galerilerinin kazı, tahkimat ve nakliyat işleri.....	57
3.5 İşletmede Uygulanan Üretim Yöntemleri	58
3.5.1 Arakatlı dolgu üretilen üretim yöntemi.....	58
3.5.2 Arakatlı göçertmeli üretim yöntemi	59
3.5.3 Uygulanan üretim yöntemi.....	59
3.5.3.1 Cevher kazısı ve galerilerin konumu.....	60
3.5.3.2 Delme ve patlatma işleri.....	62

3.5.3.3 Nakliyat	62
3.5.3.4 Tahkimat.....	63
3.5.3.5 Havalandırma	65
3.6 Cevher Hazırlama-Zenginleştirme Tesisi Bilgileri.....	65
3.7 Yeraltında Dolgu Uygulaması	67
4. ZENGİNLEŞTİRME TESİS ATIĞININ MACUN DOLGU OLARAK KULLANIMININ İNCELENMESİ	71
4.1 Atığın Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması	71
4.1.1 Atığın fiziksel özelliklerinin tayini	71
4.1.2 Kimyasal özelliklerin tayini	72
4.1.3 Değerlendirme.....	72
4.2 Numune Karışımında Kullanılan Suyun Özellikleri	76
4.2.1 Değerlendirme.....	77
4.3 Macun Dolgu Karışımında Kullanılan Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	78
4.4 Macun Dolgu Karışım Reçetelerinin Oluşturulması	79
4.5 Macun Dolgunun Mekanik Özelliklerinin Tayini	80
4.5.1 Teorik bilgiler.....	80
4.5.2 Karışımlar ve numune hazırlama	80
4.5.3 Deneysel çalışmalar.....	88
4.5.4 Deneysel çalışma sonuçları özeti	91
4.5.5 Değerlendirme.....	98
4.6 Kullanılabilir Macun Dolgu Tasarımı	100
5. MACUN DOLGU UYGULAMA PROJE ÖRNEĞİ.....	101
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	103
KAYNAKLAR.....	105
EKLER.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	135

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
CEM I 42,5	: Portland Çimentosu
C_C	: Eğrilik Katsayısı
C_U	: Uniformluk Katsayısı
XRF	: XRay Floresans
XRD	: X-Işını Difraksiyonu
ÇBİ	: Çayeli Bakır İşletmeleri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Başlıca dolgu tipleri ve özellikleri (Archibald vd., 2003)	26
Çizelge 3.1: Püskürtme beton malzemeleri ve malzeme miktarları.....	64
Çizelge 3.2: 1 m ³ dolguda yer alan malzemeler.....	67
Çizelge 4.1: A tipi numunesi için tane boyut dağılımı ve piknometre yöntemiyle hesaplanan atık malzemesinin yoğunluk değerleri.....	74
Çizelge 4.2: B tipi numunesi için tane boyut dağılımı ve piknometre yöntemiyle hesaplanan atık malzemesinin yoğunluk değerleri	74
Çizelge 4.3: Atık malzemelerinin kimyasal özellikleri.....	75
Çizelge 4.4: Karışım suyunun kimyasal özellikleri	77
Çizelge 4.5: Karışım çimentosunun kimyasal özellikleri	79
Çizelge 4.6: Macun dolgu karışım reçeteleri	79
Çizelge 4.7: Tez kapsamında hazırlanan numune sayıları	83
Çizelge 4.8: Numune tanımlamaları	84
Çizelge 4.9: Numune tanımlamaları	85
Çizelge 4.10: 7 günlük kür süresi sonucunda katı yükleme cihazı deney verileri	91
Çizelge 4.10: 7 günlük kür süresi sonucunda katı yükleme cihazı deney verileri	92
Çizelge 4.11: 14 günlük kür süresi sonucunda katı yükleme cihazı deney verileri ...	93
Çizelge 4.12: 28 günlük kür süresi sonucunda katı yükleme cihazı deney verileri ...	94
Çizelge 4.12: 28 günlük kür süresi sonucunda katı yükleme cihazı deney verileri ...	95
Çizelge 4.13: 42 günlük kür süresi sonucunda katı yükleme cihazı deney verileri ...	96
Çizelge 4.14: 56 günlük kür süresi sonucunda katı yükleme cihazı deney verileri ...	97

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Kaya dolgusu	27
Şekil 2.2: Hidrolik dolgu (Archibald vd., 2003)	29
Şekil 2.3: Hidrolik dolgu üretim ve uygulama şeması (Archibald vd., 2003)	30
Şekil 2.4: Hidrolik dolguda barikat (Archibald vd., 2003)	30
Şekil 2.5: Kanada metal madenlerinde macun dolgu kullanım amaçları ve sıklığı ...	33
Şekil 2.6: Başlıca bağlayıcı tipleri ve kullanım şekilleri (Archibald,2003)*	36
Şekil 2.7: Macun dolguda kullanılan katkı maddeleri (Archibald vd., 2003).....	37
Şekil 2.8: Macun dolgu uygulaması parametreleri	39
Şekil 2.9: Macun dolgu üretimi ve uygulaması (Archibald,2003;Erçikdi, 2009).....	40
Şekil 2.10: Barikat malzemeleri	41
Şekil 2.11: Barikat yapım aşamaları	42
Şekil 2.12: Macun dolgu görüntüleme sistemi-ÇBİ.....	43
Şekil 2.13: ÇBİ – Macun dolgu tankı ve çöktürme üniteleri	44
Şekil 2.14: Macun dolgu filtreleme ünitesi ve macun dolgu tesisi görünümü.....	45
Şekil 2.15: Kanada’da 2001 yılında meydana gelen hataların detaylı görünümü.....	45
Şekil 2.16: Macun dolgu dağıtım sisteminde sıkça görülen aksaklıklar (Archibald vd., 2003).....	46
Şekil 2.17: Yaygın olarak kullanılan 3 farklı dolgu türünün karşılaştırılması (Archibald vd., 2003)	49
Şekil 3.1: Balya kurşun-çinko madeni yer bulduru haritası ve uydu görüntüsü	52
Şekil 3.2: Balya bölgesi jeolojik haritası (Dönmez, 2011)	53
Şekil 3.3: Balya Pb-Zn(Ag-Au) madeni 3 boyutlu cevher modellemesi Micromine programı görüntüsü	56
Şekil 3.4: Hazırlık galerisi kesiti AutoCad çizimi (cm).....	57
Şekil 3.5: Balya Esan kurşun-çinko madeni batı galerilerinde dolgu uygulaması (Avcı, 2010)	58
Şekil 3.6: Klasik bir “Yatay dilimli dolgulu yöntem” görünümü (Avcı, 2010).....	59
Şekil 3.7: Ana nakliyat galerisi kesiti AutoCad görünümü (cm).....	60
Şekil 3.8: Ana nakliyat galerisi ve diğer galerilerin perspektif olarak AutoCad görünümü	60
Şekil 3.9: Ana rampa ve üretim galerileri AutoCad görünümü	61
Şekil 3.10: Tahkimat uygulaması AutoCAD çizimi (cm).....	63
Şekil 3.11: Cevher hazırlama ve zenginleştirme akım şeması	66
Şekil 3.12: Kurşun-Çinko depoları ve yeni cevher hazırlama tesisi	67
Şekil 3.13: İşletme bünyesindeki beton santrali ve dolguda kullanılan kalın agrega	68
Şekil 3.14: İşletme bünyesindeki beton santrali ve mikserden kamyonu dolgu malzemesi boşaltımı	68
Şekil 4.1: a) Malvern Mastersizer Hydro 2000 MU b) Piknometre deneyi c) Likit Limit Deneyi	72
Şekil 4.2: a) Leco SC-144DR b) Bruker S8 TIGER c) Bruker D8 Advance.....	72
Şekil 4.3: A tipi atık malzeme tane boyut dağılımı grafiği	73

Şekil 4.4: B tipi atık malzeme tane boyut dağılımı grafiği	73
Şekil 4.5: A tipi atık malzemesinin XRD sonuçları ve mineralojik analizi	76
Şekil 4.6: B tipi atık malzemesinin XRD sonuçları ve mineralojik analizi	76
Şekil 4.7: Atomik absorpsiyon spektrofotometresi ve pH ölçer cihaz	77
Şekil 4.8: Karışım çimentosunun tane boyut dağılımı	78
Şekil 4.9: Numune boyu ölçümü.....	80
Şekil 4.10: a) Etüv b) 60 lt kapasiteli planet mikser	81
Şekil 4.11: Slamp ekipmanları ve yüksek slamlı karışım	81
Şekil 4.12: Macun dolgu karışımlarının katı oranı slamp değişimi grafiği.....	82
Şekil 4.13: Numune kapları.....	83
Şekil 4.14: A ve B atıklarından oluşan numunelerin görünüşleri.....	86
Şekil 4.15: Başlık kalınlığı.....	84
Şekil 4.16: Eritme potası ve başlıklama işlemi	87
Şekil 4.17: Numune hazırlama ve deneysel çalışmalar	88
Şekil 4.18: İki farklı açıdan katı yükleme cihazı görünümü	88
Şekil 4.19: Katı yükleme cihazı ayarlama paneli ve Test Work 4 görünümü.....	89
Şekil 4.20: A tipi ve B tipi numunelerinin karşılaştırılması.....	95
Şekil 4.21: A tipi ve B tipi numunelerinin karşılaştırılması.....	95
Şekil 4.22: Deformasyon – Dayanım grafikleri	96
Şekil 4.23: Deformasyon – Dayanım grafikleri	96
Şekil 4.24: Kullanılabilir macun dolgunun dayanım-kür süresi grafiği	97
Şekil 5.1: Macun dolgu tesisi şematik görünümü	102

METAL MADENCİLİĞİNDE YERALTI AÇIKLIKLARI İÇİN MACUN DOLGU MALZEMESİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Günümüz madenciliğinin en büyük problemlerinden biri olan atık bertarafı birçok ekonomik ve çevresel olumsuzluklara neden olmaktadır. Özellikle metalik sülfürlü cevherlerin üretimi sonucu sülfür içeriği yüksek atığın meydana geldiği durumlarda, su ve oksijen varlığında sülfürlü minerallerin oksidasyona uğraması, asidik su oluşumuna ve atık içindeki metallerin çözünmesine neden olarak çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bunun yanı sıra atıkların yeryüzünde veya deniz derinliklerinde depolanması ekonomik olarak maden şirketleri için külfet olmaktadır. Günümüzde nispeten yeni ve kullanımı Avustralya ve Kanada’da yaygın olan, macun dolgu sistemi yardımıyla, atıklar yer altında kontrollü bir şekilde depolanabilmektedir. Bu sistem sayesinde atıkların tamamına yakını çevre kirliliğine yol açmadan yeraltına güvenli bir şekilde yerleştirilmektedir. Ayrıca macun dolgu sistemi yeraltında güvenli çalışma ortamları sağlaması ve yeryüzündeki meydana gelen tasman hareketlerini en aza indirmesi açısından da büyük önem arz etmektedir. Tanım olarak macun dolgu, cevher hazırlama tesisinden atık olarak elde edilen ve pasa olarak da adlandırılan, sınıflandırılmamış tesis atığının, macun dolgu tesisinde belirli oranlarda su ve bağlayıcı maddeler eklenerek karıştırılması sonucu oluşan ve yeraltı boşluklarını doldurmaya yarayan homojen dolgu malzemesidir. Macun dolgu içeriğini %70-85 arasında atık, su, bağlayıcı ve kimyasal katkı maddeleri oluşturur. Eczacıbaşı ESAN’a ait Balya Kurşun-Çinko madeni tesis atığının macun dolgu olarak kullanılabilirliği üzerine araştırmalar bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak atığın fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla piknometre, tane boyut dağılımı, Atterberg limit deneyleri ile XRD ve XRF gibi deneyler yapılmıştır. Daha sonra atığın yeraltında dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğine ilişkin olarak, laboratuvar ortamında 12 farklı reçeteye bağlı karışımlar hazırlanarak 340 adet numune hazırlanmış ve dolgu malzemesinin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu araştırmanın temel amacı, macun dolgu olarak kullanılması düşünülen atığın yeraltı açıklıklarının doldurulmasında başarılı bir şekilde uygulanabilirliğinin anlaşılmasıdır. Farklı kür süreleri sonucunda dolgu malzemeleri üzerinde tek eksenli basınç dayanımı ve elastik modül deneyleri gerçekleştirilerek yeraltında uygulanabilir en uygun karışımın tasarımı yapılmıştır. Buna ek olarak macun dolgu kullanılan maden işletmelerinden uyarılama yaparak örnek macun dolgu tesisi planlanmıştır.

THE RESEARCH OF PASTEFILL MATERIAL FOR UNDERGROUND OPENINGS OF METAL MINES

SUMMARY

Nowadays, waste disposal which is the most crucial problem for mining leads to not only environmental, but also economical problems. Especially, the high sulfur content of waste from the production of metallic sulphide ores causes environmental pollution. Moreover, storage of waste in the depths of the earth or the sea is the economic burden for mining companies. Last three decades, waste can be stored in the ground in a controlled manner by pastefill which is common to use in Australia and Canada, even though it is a relatively new system.

The main purpose of this study is the understanding of applicability of the pastefill which is used to fill underground openings successfully.

In the underground metal mining, paste fill which consists of dimensionless waste of mineral processing plants, waste of power plants, sand or aggregate, water, binders and various chemicals is a mixture of fluid consistency. Definition of pastefill according to Brackebusch is typically a low permeability, high density solids mixture of aggregate solids and water containing at least 15% by weight fines material at sizes ranging between minus 20 μm to 45 μm content. Pastefill is created %70-85 of waste, water and chemical additives. Generally, portland cement is used as a binder in the mixture of paste fill. If the rate of sulphate which leads to reduce the long period performance of paste fill is high, sulphate resisting portland cement should be used as a binder. Artificial or natural pozzolans such as fly ash can be used in the mixture of paste fill as a binder so as to decrease the cost of cement, because it is the most vital part of the operating cost.

Through this system, almost all waste can be disposed underground safely without causing environmental pollution. In addition, underground paste backfill system to provide safe working environments and minimize the movement of the earth subsidence occurred.

Field of study operating in a Lead-Zinc Mine belongs to Eczacıbaşı Group in Balya, Balıkesir. According to official records, the area of mine is 2.900 hectares. Mining operation in Balya Lead-Zinc Mine began production in 2009. Average 240.000 tons crude ore are produced per year. 30.000 tons of crude ore is produced as a ore concentrate.

The samples of Balya Metal Mine on bright sections under a microscope show that respectively galena, pyrite, sphalerite, chalcopyrite, tetrahedrite, magnetite, pyrrhotite, stibnite, arsenopyrite, boulangerite, jamesonite, bismutite can be seen. Amount of galena, which is the most common mineral in that mine, increases towards

the upper levels. The result of researches, proven and probable reserve of lead and zinc are calculated as an approximately 3.043.300 tons. Average grade is calculated as 9,1%.

Sublevel filling Method is applied to the western galleries. Ore which is seperated by 15 meter pieces is produced by 5 meter slices. 35-meter galleries are excavated so as to get 5-meter vertical distance. All excavated galleries are filled with fillers. When the production of ore is completed in these galleries, if there is another gallery under these galleries, these galleries are filled with 8% filler. Depending on the width of the ore, if a gallery will be excavated next to the completed gallery, completed gallery are filled with 6% filler. If there are not any gallery next to the completed gallery, completed gallery are filled with waste or is not filled.

Transportation of the ore which is blasted is maintained by shovels and trucks. Ore arrives from underground to surface approximatly 30-45 minutes.

Shotcrete and rock bolt (split set) are used in Balya Lead-Zinc Metal Mine in order to increase the resistance of the floor and prevent probable accident.

There is a mineral processing plant in Lead-Zinc Mine. That plant is used for flotation of lead and zinc. An excavated ore is tranported with the band to the crushers. A jaw crusher and two cone crushers are used in order to crush. Two ball mills are used for grinding.

This thesis is about the availability of the plant waste for using pastefill material. First of all, 2 different wastes were transported from Balya Metal Mine to the Rock Mechanics Laboratory at Mining Faculy in Istanbul Technical University. Next step is to define characteristics of these wastes. Grain size distribution tests were done for 2 different wastes multiple times so as to determine physical characteristics of them. Average value of these tests are demonstrated in this thesis as size distrubition graphics. Likewise, pycnometer tests were done for them 5 times in order to determine their density. Moreover, Atterberg Limit Tests, such as Liquit Limit and Plastic Limit Tests, were done so as to realize their physical behaviour. All of those tests were done at Rock Mechanics Laboratory of Mining Faculty in Istanbul Technical University. All results of those experiments are shown at tables in this thesis.

Besides determining physical characteristics, some experiments were done in order to determine chemical characteristics of 2 different wastes at Geochemistry Laboratory of Mining Faculty in Istanbul Technical University. XRF experiments were conducted so as to determine their chemical characteristics multiple times. Average value is shown on tables. Furthermore, XRD tests were conducted for 2 different wastes to investigate their minerological properties. Results of tests are shown as graphics in this thesis.

After determining physical, chemical and minerological characteristics by experiments, 12 different prescriptions were prepared for each wastes. Every prescription has a different cement ratio and slump value. Totally 24 prescriptions were prepared and also 5 different curing time were decided, respectively 7, 14, 28,

42 and 56 days. Then, 340 mixtures were prepared depend on 24 different prescription in order to investigate mechanical properties and determine Uniaxial compressive stress tests results and elastic modulus. Thus, it can be designed the most suitable mixture depends on prescriptions. Before preparing specimens, all waste were dried with drying oven for 24 hours at 105°C. After that, waste, cement and water were weighed with balance. Then balanced materials were mixed with mixer until having a homogeneous mixture. After that, all homogeneous mixtures were tested so as to determine slump value. If the slump value is suitable for prescription, these mixtures are filled with scoop in a sampling vessel. Before filling pastefill into the sampling vessel, sampling vessel must be lubricated. Before curing time, sample must take out from the sampling vessel in order to prepare Uniaxial compressive stress test. All samples were encoded one by one. Before the uniaxial compressive stress tests, all samples were capped with cylinder capping test set. Capping materials are mixtures of 70% sulphur and 30% graphite. These mixtures were prepared in a melting pot. After capping, at the end of the appropriate curing times, all samples were done Uniaxial compressive stress tests with a stiff test machine. After these experimental studies, results are demonstrated as graphics with the help of the Ms Excel and also all results are shown as tables. Before and after the tests, photos of samples were taken for archiving.

At the end of the 340 tests, the best prescription was chosen depends on the results of stiff test machine. Furthermore, pilot pastefill plant is design by some metal mines in the world which are used pastefill system.

Some machines are necessary for preparing pastefill such as storage mechanism, dewatering equipments (cyclones and filter disks), weight belt, fluidization silo, mixer and mixing screw, binder silo ,hopper, pump mechanism – pipeline – borehole. All machines must be new technology.

Pastefill should checked after preparing it with quality control system. Quality control is so vital for pastefill system. Lack of this system might lead to some problems such as wrong paste concentrations, barricade problems and transportation problems.

Even though pastefill system has some drawbacks, its advantages outweigh its disadvantages. For example, although capital cost of pastefill is expensive, operating cost of pastefill is cheaper than other systems. If we think about processing for five years, cost of pastefill will be cheaper than other filling system and storage of waste on surface. Binder content can also be reduced with pastefill system. Moreover, almost all waste can be disposed underground safely without causing environmental pollution.

It can be clearly seen that pastefill is both an environmental friendly system and also beneficial economically for mining industry. Pastefill system will be more economic with the help of the advanced technology. Therefore, scientists should make more research about pastefill system.

1. GİRİŞ

İnsanlık için olmasa olmaz nitelikte olan madencilik faaliyetleri Açık İşletme yöntemi için çevreyi tahrip ettiği, Yeraltı Maden İşletme yöntemi içinse tasman oluşturduğu ve meydana gelen atıklarla çevreyi kirlettiği iddialarıyla kötü imaja sahiptir. Özellikle Yeraltı Madenciliği'nin sahip olduğu bu kötü imajı yok etmek için Macun Dolgu uygulaması tam olarak bir ilaç niteliğindedir. Macun dolgu sayesinde atıklar yerüstü yerine güvenli ve sistemli bir şekilde yeraltında depolanarak, atıkların çevreye zarar vermesi engellenmekte, ayrıca yeraltı boşluklarının doldurulmasıyla ise tasman oluşumu engellenerek, daha güvenli bir çalışma ortamının oluşması da sağlanmaktadır.

Macun dolgu, yeraltı madenciliğinde boyutlanmamış tesis atığı, santral atıkları, kum ya da agrega gibi atık malzemeler ile su, bağlayıcı ve çeşitli kimyasallardan oluşan akıcı kıvamda bir karışımdır. Bu karışımda bağlayıcı olarak genellikle portland çimentosu, sülfürü yüksek, uzun dönemlerde bağlayıcı performansını düşürücü atıklarda ise sülfata dayanıklı portland çimentosu kullanılmaktadır. Macun dolgu işletme maliyetlerinin en önemli kısmını oluşturan çimento maliyetini azaltmak içinse uçucu küller gibi yapay veya doğal puzolanlar kullanılmaktadır (Archibald vd., 1999; Benzaazoua vd., 2002; De Souza vd., 2003).

Bu tezde yapılan çalışmalarla;

- Yeraltı açıklıklarının doldurulmasında kullanılabilir uygun macun dolgu tasarımının elde edilmesi,
- Cevher zenginleştirme tesis atıklarının yeraltında güvenilir ve sürdürülebilir olarak depolanması,
- Eczacıbaşı ESAN'a ait Balya Kurşun-Çinko yeraltı maden ocağında kullanılabilir bir macun dolgu tesisi tasarımına ait bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır.

2. YERALTINDA KULLANILAN DOLGU MALZEMELERİ

2.1 Giriş

Yeraltı maden ocaklarında cevher üretimi sonucu oluşan boşlukların uygun bir malzeme veya malzeme kombinasyonu kullanılarak doldurulması işlemine dolgu işlemi denir. Yeraltı boşluklarında atıkların depolanması, cevher hazırlama tesis atıklarının kullanılması, istenilen üretim metodlarının uygulanması amacıyla üretimi geliştirmek ve güvenli bir şekilde üretimi sürdürmek için dolgu işlemi uygulanır. (Archibald vd., 2003). Zemin kontrolü, topuk kazanımında yer altı tahkimatı, kes-doldur gibi kullanımlarından dolayı çoğu yer altı madencilik uygulamalarında tercih edilen madencilik yöntemidir. Ayrıca, tesis zenginleştirme atıklarının yeryüzünden uzaklaştırılması yönüyle çevreye verilen olumsuz etkiyi azalmaktadır (Weaver ve Luka, 1970). Bununla birlikte çevresel avantajlarının yanısıra ekonomik avantajlar da sağlamaktadır. Doğru ve efektif dolgu sistemi ile madencilik maliyetlerinde azalma görülmektedir (Nanthanathan, 2006).

Dolgu, cevheri alınmış bölgelere yerleştirilmek için genellikle belirli oranlarda kimyasallar (bağlayıcı maddeler, akışkanlaştırıcı, priz hızlandırıcı gibi) ve su ile karıştırılıp hazırlanır. Dolgu malzemesi olarak tesis atıkları, kum, çeşitli boyutlarda agrega ve iri kayaç parçaları kullanılmaktadır. Bunun yanısıra bağlayıcı kullanılan dolgularda, bağlayıcı olarak çimento ile birlikte silis dumanı, cüruf ve uçucu kül gibi puzolanik malzemeler kullanılmaktadır (Archibald vd., 2003). Yeraltı metal madenlerinde kullanılan başlıca dolgu türleri ve özellikleri Çizelge 2.1 de görülmektedir. Bunlardan başka yerel olarak kullanılan (Norveç'te buz dolgusu gibi) dolgu çeşitleri de mevcuttur. Çizelge 2.1'de en yaygın kullanılan dolgu çeşitleri mevcuttur. Bu çizelgede yeralan dolgu çeşitleri dışında da birkaç dolgu çeşiti mevcuttur.

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

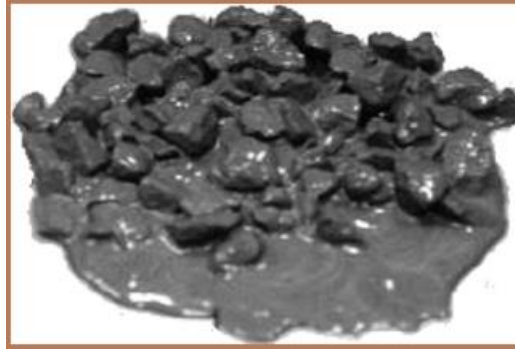
Özellikler	Kaya Dolgu	Hidrolik Dolgu	Macun Dolgu
Katı oranı	% 100	% 60-75	% 70-85
Bağlayıcı	Çimentolu veya çimentosuz	Çimentolu veya çimentosuz	Yalnızca çimentolu
Su/çimento oranı	Su/çimento oranı düşük, bağlayıcı dayanımı yüksek	Su/çimento oranı yüksek, bağlayıcı dayanımı düşük	Su/çimento oranı düşük, 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

2.2 Macun Dolgu Dışındaki Dolgu Türleri

Yeraltı metal madenlerinde macun dolgu dışında kullanılan başlıca dolgu türleri; kaya dolgusu ve hidrolik dolgudur.

2.2.1 Kaya dolgusu

Üretim sonucu oluşan boşlukların büyük tane boyutlu malzeme ile doldurulması işlemidir. Kaya dolgu malzemesi olarak; üretim sonucu oluşan yan kayaç, patlatma sonucu oluşan taş ocağı artıkları ve agrega, açık işletme üretimi için kaldırılan dekapaj, cevher hazırlama tesis atığı olan büyük boyutlu malzemeler, çeşitli fırın cürufaları, metal yığın liçi işlemi sonucu oluşan kaya artığı ve doğal nehir çakılı kullanılmaktadır. Kaya dolgusu (Şekil 2.1) ihtiyaca göre boşluklara çimentolu veya çimentosuz olarak yerleştirilebilmektedir (Potvin, 2005).



Şekil 2.1 : Kaya dolgusu

Kaya dolgusu nispeten ucuz maliyetli bir sistem olmasının yanısıra, hazırlaması ve uygulaması kolay ve hızlı bir sistemdir. Kaya dolgusu birçok farklı şekilde uygulanmaktadır. Atığın tek başına kullanıldığı uygulamalarla birlikte, belirli boyutlarda ve belirli oranlarda agrega veya kum ile karıştırılıp bağlayıcı olarak çimento ve benzeri malzemelerin kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur (Archibald vd., 2003).

Kaya dolgusu genellikle yeryüzünde hazırlanarak, yeraltında uygulanacağı bölgeye taşınır. Bu nakliye işlemi genellikle iki farklı yöntem kullanılarak yapılmaktadır. İlk ve en efektif yöntem, kuru malzemenin sondaj delikleri vasıtasıyla yeryüzünden yeraltına gönderilmesi işlemidir. Bu yöntemde saatte nakledilecek malzeme miktarına ve malzemenin tane boyut dağılımına dikkat edilmesi gerekmektedir. Sondaj çapı göz önünde bulundurularak, malzeme nakli gerçekleştirilir. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken bir diğer hususta, sondaj deliğinin tıkanmaması gerektiğidir. Kaya dolgusu nakliyesinde en çok kullanılan yöntem ise, maden nakliye araçlarıyla dolgunun taşınması işlemidir. Bu işlem için maden kamyonları veya bant konveyörler kullanılmaktadır (Darling, 2011).

Kaya Dolgusu uygulama alanına taşındıktan sonra uygulanacağı bölgeye göre farklı şekillerde yerleştirilir. Eğer dolgu yukarıdan aşağıya dökme şeklinde yerleştiriliyorsa, dolgu ağırlığı nedeniyle yapılan işlemde herhangi bir zorlukla karşılaşma ihtimali düşüktür ve uygulama süresi kısadır (Darling, 2011). Eğer kaya dolgusu yatay biçimde yerleştiriliyorsa, çeşitli maden makinaları yardımıyla dolgu sıkıştırılmak suretiyle işlem yapılır. Bu uygulamada operatörün becerisi ön plana çıkmaktadır.

2.2.1.1 Kaya dolgusu yönteminin avantajlar

Kaya dolgusu yönteminin birçok çevresel, teknik ve ekonomik avantajları mevcuttur (Archibald vd., 2003);

- Yerüstü atık depolamayı azaltarak, atık depolama maliyetlerini azaltmakta ve bununla birlikte atık maddelerin çevresel etkilerinin önüne geçilmektedir.
- Yeraltı açıklıklarını doldurarak güvenli çalışma ortamı sağlamaktadır.
- Basit hazırlama sistemine sahip olmakta ve susuzlandırma gibi ek işlemlere gereksinim duymamaktadır.
- Çimento ile karıştırıldığında nispeten yüksek dayanımlar sağlamaktadır.

2.2.1.2 Kaya dolgusu yönteminin dezavantajları

Kaya dolgusu yönteminin bazı dezavantajları bulunmaktadır (Archibald vd., 2003).

- Taşocağından üretilen kaya malzemesi kırma işlemi gerektirdiği için, üretim ve nakliye maliyeti artmaktadır.
- Dolgu içindeki boşluklar nedeniyle, dayanımı arttırmak için, kum ve benzeri ince malzeme ve çimento gibi bağlayıcılar kullanılmalıdır.
- Kaya dolgusu homojen bir yapıya sahip olmadığı için, ince malzemelerin bulunduğu bölgelerde dayanım düşmektedir.

2.2.2 Hidrolik dolgu

Hidrolik dolgu (Şekil 2.2), en yaygın dolgu tiplerinden biri olan, yeraltı çalışmaları için yüksek yoğunluklu çamur benzeri karışımın sondaj kuyuları ve boru hatları yoluyla uygun bölgelere sevk edilmesi işlemidir. Dolgu karışımı içinde yüksek oranda su bulunur ve bu nedenle dolgu yerleştirilmesinden sonra fazla suyun susuzlaştırma işlemiyle bölgeden uzaklaştırılması gerekmektedir. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak atığın belirli özelliklere sahip olması gerekir (Potvin, 2005).

Hidrolik dolgunun karakteristik özellikleri;

- Azami tane boyutu genellikle 1000 μm nin altında olması istenir. Buna ek olarak asgari tane boyutunun da ağırlıkça %10'unun 10 μm dan az olması istenmez.
- Hidrolik dolguda hacimce katı oranı genellikle %40 ve %50 arasında değişmektedir.

- Hidrolik dolgu çimentolu yada çimentosuz olarak uygulanabilir.



Şekil 2.2 : Hidrolik dolgu (Archibald vd., 2003)

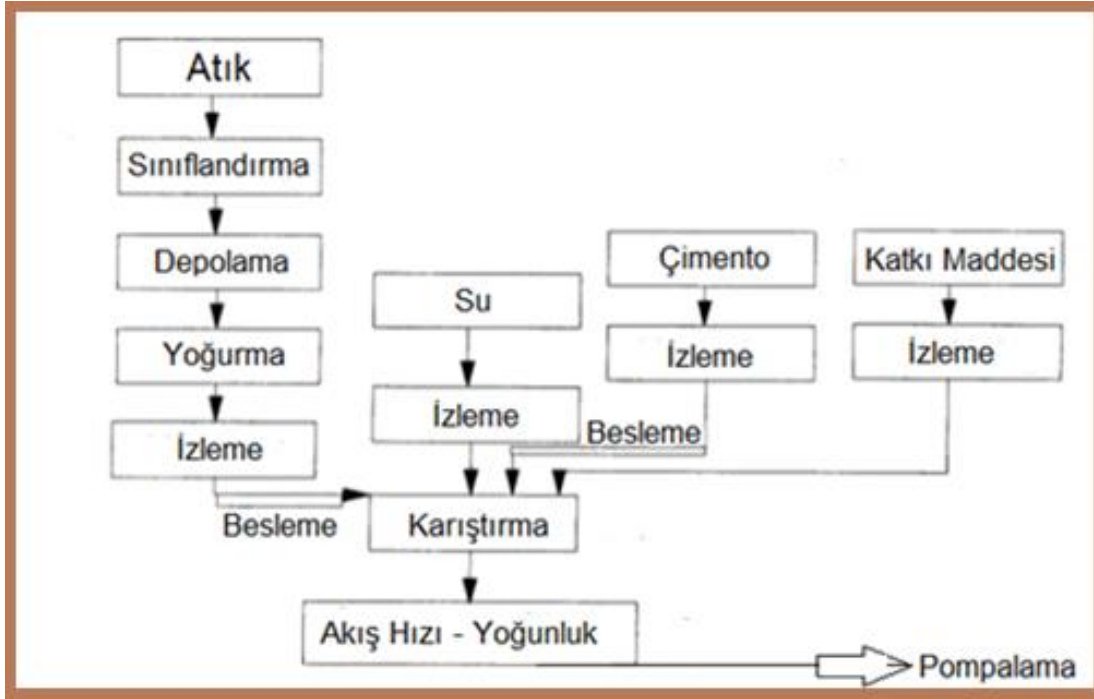
Hidrolik dolgu malzemesi olarak en çok ince taneli tesis atığı kullanılmaktadır. Ayrıca kum ve yüzeyde bulunan doğaı ince boyutlu malzemeler de dolgu hazırlanma işleminde kullanılmaktadır.

Hidrolik dolgu uygulaması için atığın susuzlaştırılması, ince boyutlu malzemelerin uzaklaştırılması ve uygun malzemenin hazırlanması için dolgu tesisine ihtiyaç vardır.

Hidrolik dolgu yeraltı uygulamasında, dolgunun yapıldığı bölgeden suyun drenajı, dolgulu yerin barikat ile kapatılması ve benzeri konularda, projeler üretilerek, dolgu uygulamasının en uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir.

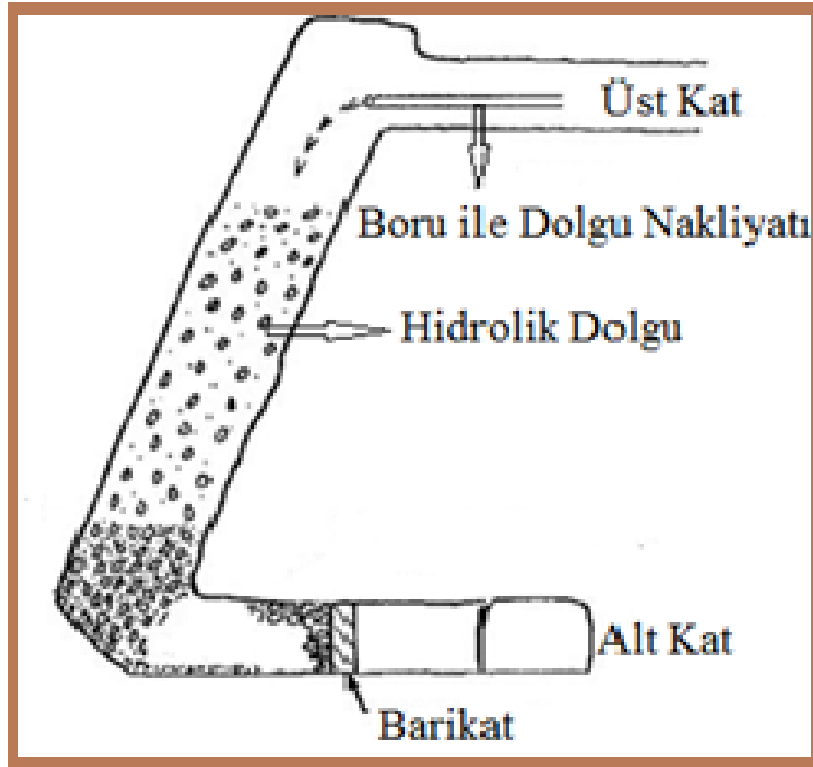
Mühendislik faaliyetleri için planlamanın çok iyi şekilde yapılması, maden döngüsünün aksamaması ve dolgu faaliyetinin sorunsuz şekilde ilerlemesi açısından önem teşkil etmektedir.

Hidrolik dolgu üretim ve uygulama şeması Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Hidrolik dolgu üretim ve uygulama şeması (Archibald vd., 2003)

Dolgunun yeraltı boşluklarına yerleştirilmesinden önce dolgu uygulanacak bölgeye barikat kurulması gerekmektedir (Şekil 2.4) (Potvin, 2005).



Şekil 2.4 : Hidrolik dolguda barikat (Archibald vd., 2003)

2.2.2.1 Hidrolik dolgu yönteminin avantajları

Hidrolik dolgu yönteminin uygulanmasının diğer dolgu yöntemlerinde de olduğu gibi birçok çevresel, ekonomik ve teknik avantajları mevcuttur (Archibald vd., 2003);

- Dolgu sistemi alt yapısı kurulması ve operasyonu yürütmek nispeten kolaydır.
- Tesis atıklarının kullanılması çevresel ve ekonomik birçok avantajı beraberinde getirmektedir.
- Dolgu karışımının dolgu tesisinde hazırlanması, dolgu kalitesini arttırmaktadır.
- Hidrosiklon ve şlam atma teknolojisinin kullanımı üst düzey madencilik yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir.

2.2.2.2 Hidrolik dolgu yönteminin dezavantajları

Hidrolik dolgu yönteminin madencilik faaliyetleri ve ekonomik bazı dezavantajları mevcuttur (Archibald vd., 2003);

- Yeraltı boşluklarına yerleştirilen dolgu malzemesi içindeki fazla suyun uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlem madencilik faaliyetlerinin uzamasına neden olmaktadır.
- Dolgu malzemesinin dayanımı çimentonun aşırı su içinde aktif olamaması nedeniyle düşük çıkmaktadır.
- Üretim yerinin drenajda ince malzemenin tüketilmesi gerekmektedir. Ayrıca tiki ner ve filtre gibi teknolojik makinaların kullanımı maliyeti arttırmaktadır.
- Barikat sistemi nispeten pahalıdır.
- Dolgu üretiminin her aşamasının izlenmesi gerekir. Çünkü, güvenli bir madencilik uygulaması için özellikle barikat sisteminin izlenmesi gerekmektedir. Barikat patlamaları ve dayanımın yetersizliği nedeniyle ölümcül kazalar tecrübe edilmiştir (Torlach, 2000).

2.3 Macun Dolgu

Yeraltı üretimi ile birlikte, cevher ile cevher hazırlama tesisine gönderilen pasa adı verilen sınıflandırılmamış tesis atığının, macun dolgu tesisinde belirli oranlarda su ve bağlayıcı maddeler (çimento ve/vaya silis dumanı, cüruf, uçucu kül gibi puzolanik malzemeler) eklenerek karıştırılması sonucu oluşan ve yeraltı boşluklarını

doldurmaya yarayan homojen dolgu malzemesine macun dolgu adı verilir. Macun dolgu olarak kullanılacak atık malzemesinin belirli miktarının 20µm altında olması istenir.

Macun Dolgu ilk kez Almanya'nın Bad Grund Madeni'nde 1970lerin sonunda kullanılmıştır. Madencilik endüstrisi için nispeten yeni bir sistem olmasına rağmen cevher hazırlama tesisi atıklarının neredeyse tamamının yeraltında depolanabilmesini sağlaması, diğer dolgu türlerine nazaran daha düşük işletme maliyetine ihtiyaç duyulması ve son teknoloji ekipmanların kullanımı ile kusursuza yakın uygulama imkanı nedenleriyle bu kısa sürede çok geniş kullanım alanı oluşturmuştur. Kanada ve Avustralya macun dolgu teknolojisi açısından günümüzde en çok ilerleme kaydeden ülkelerin başında gelmektedir (Landriault, 2006).

Günümüzde Kuzey Amerika'da bulunan gümüş-kurşun-çinko madeni olan Lucky Friday Madeni, Kanada'da bulunan; Louvicourt Altın-Gümüş-Bakır-Çinko Madeni, Golden Giant Altın Madeni, Macassa Altın Madeni, ülkemizde bulunan Çayeli Bakır Madeni macun dolgu kullanan başlıca madenlerdir.

2.3.1 Macun dolgunun kullanım amaçları, avantaj ve dezavantajları

Macun Dolgu madencilik atıklarını imha etmek ve bazı mühendislik amaçlarına hizmet etmek için uygulanır. Macun dolgunun temel amaçları aşağıda belirtilmiştir.

- Atık İmhası

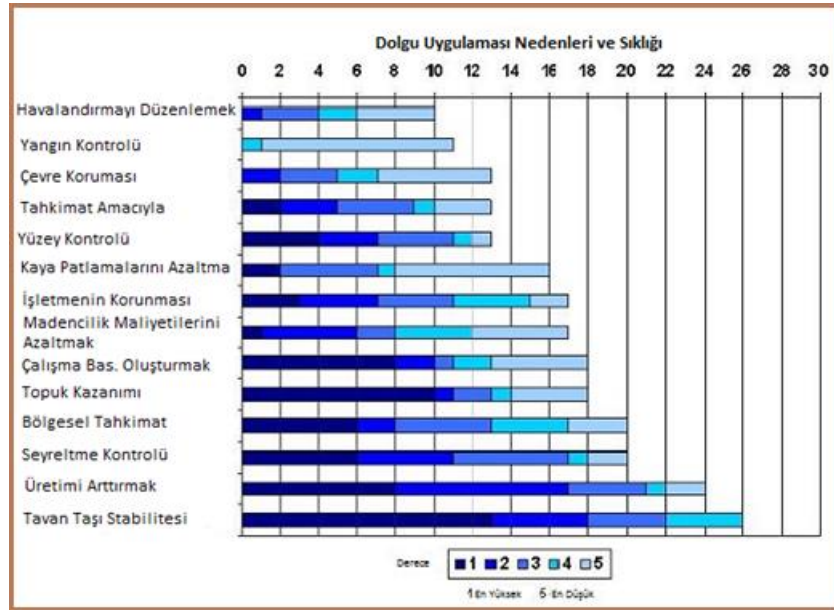
Yeraltı madenlerindeki ana atıklar, yeraltı kazısı veya patlatma işlemi sonucunda cevhere ulaşmak için oluşan ve cevher hazırlama işlemi sonucunda değerli cevherin ayrılması sonucu arta kalan atıklardır. Hassani'nin 1992 yılında yapmış olduğu çalışmaya göre sadece Kanada'da yılda 500 milyon tondan fazla katı atık oluşmaktadır. Yeraltı madenlerinde atıkların depolanması nedeniyle çevresel endişe ve depolama masrafları giderek artmaktadır. Sülfür içeren cevherler değerli metali ayıklamak için ince ezildiklerinde ve oksitlerini bıraktıklarında, zayıf sülfürik asit oluşturarak çevreye tehdit oluştururlar. Bu gibi problemlerin çözümü için macun dolgu uygulaması çok önemli bir yöntemdir (Hassani vd., 1992).

- Topuk Kazanımı

Bir çok maden işletmesinde, üretim faaliyetlerinin aksamadan, güvenli bir şekilde yürütülmesi için topuklara gereksinim duyulmaktadır. Topukların ekonomik değerleri nedeniyle sonraki madencilik faaliyetlerinde üretilmesi istenir. Topuk üretiminin güvenli bir şekilde yapılabilmesi için dolgu, cevher veya kaya topuğunun ilk ayrılan boşluğuna topuk olarak dökülmesi gerekir (Hassani vd., 1992).

- Üretim Katı

Kaliteli bir çalışma zemini oluşturmak için çimentolu dolgu kullanımı tercih edilen yöntemlerdendir. Bu uygulamada ilk olarak üretim yapılır ve daha sonra üretim boşluğu dolgu ile doldurulur. Bu sayede çalışanlar ve ekipmanlar dolgu üzerinde güvenli bir şekilde çalışabilirler.



Şekil 2.5 : Kanada Metal madenlerinde macun dolgu kullanım amaçları ve sıklığı

Şekil 2.5'te Kanada Metal madenlerinde macun dolgu kullanım amaçları ve sıklığı belirtilmiştir (Archibald vd., 2003). Şekil 2.5'te de görüldüğü gibi macun dolgu sadece mühendislik faaliyetleri için değil, aynı zamanda ekonomik ve çevresel faaliyetler içinde büyük önem taşımaktadır.

2.3.1.1 Macun dolgunun avantajları

Macun dolgu, madencilik uygulamaları, çevresel ve ekonomik açılardan birçok avantaja sahiptir. Bu avantajlar içerisinde en önemlileri; yeryüzünde depolananan atıkların bertarafı ve bu sayede özellikle sülfür oranı yüksek atıkların çevreye verebileceği zararın azaltılması, atık depolama maliyetlerinin azaltılması, cevher kazanımında artış sağlaması, düşük işletme maliyeti ve çimento kullanımını azaltmasıdır. Ayrıca, diğer dolgu yöntemlerine göre de bir çok avantaja sahiptir;

- Aynı çimento oranı ile hidrolik dolguya oranla daha yüksek dayanım
- Hidrolik dolguya göre daha kısa sürede daha fazla dayanım (Brackebusch, 1994)
- Kaya dolgusuna göre daha ucuz yeraltı nakliyesi (Brackebusch, 1994).
- Sıvı kıvamında yeraltına pompalanması neticesinde homojen dayanım sağlaması ve kırık-çatlaklara nüfuz etmesi sayesinde yüksek ve kalıcı dayanım
- Yoğun drenaj işleri ve bölümlü ekipmanlara olan gereksinimi azaltması nedeniyle pompa bakımını azaltması
- Eşit dayanımın kısa zamanda elde edilebilmesi sayesinde, ocak döngü süresi artışının engellenmesi
- Macun dolgu porozitesinin az olması nedeniyle, yeraltına gönderilecek malzeme tonajında artış sağlaması
- Hidrolik dolguda kullanılan susuzlandırma ekipmanlarına gereksinim duyulmaması
- İşletme maliyeti diğer dolgu türlerine nazaran daha düşüktür.
- İlk yatırım maliyeti nispeten yüksek olsa da, teknolojik gelişmeler sayesinde bu maliyetin düşeceği düşünülmektedir. Ayrıca dolgu işlemi için son teknoloji aletlerin ekipmanların kullanımı uygulamayı daha güvenli hale getirmektedir.

2.3.1.2 Macun dolgunun dezavantajları

Her mühendislik metodunda olduğu gibi macun dolguda da bazı dezavantajlar mevcuttur.

- Her üretim yöntemine uygun değildir.
- Belirli dayanımların üzerine çıkılması zordur.
- İlk yatırım maliyetleri genenekselle dolgu türlerine göre daha fazladır.
- Macun dolgunun pompalanabilirliği tane boyutu dağılımı ve su miktarındaki ufak değişikliklerden etkilenebilmektedir.

- Macun dolgunun yer altına nakliyesi için madendeki dağıtım ağının yüksek seviyede mühendislik tasarımı gerekmektedir.
- Yeni bir teknoloji olması nedeniyle halen üretiminde ve uygulanmasında bazı belirsizlikler mevcuttur. Bu nedenle bu dolgu sistemi üzerinde daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

2.3.2 Macun dolgunun hazırlanışı, uygulaması ve olası aksaklıklar

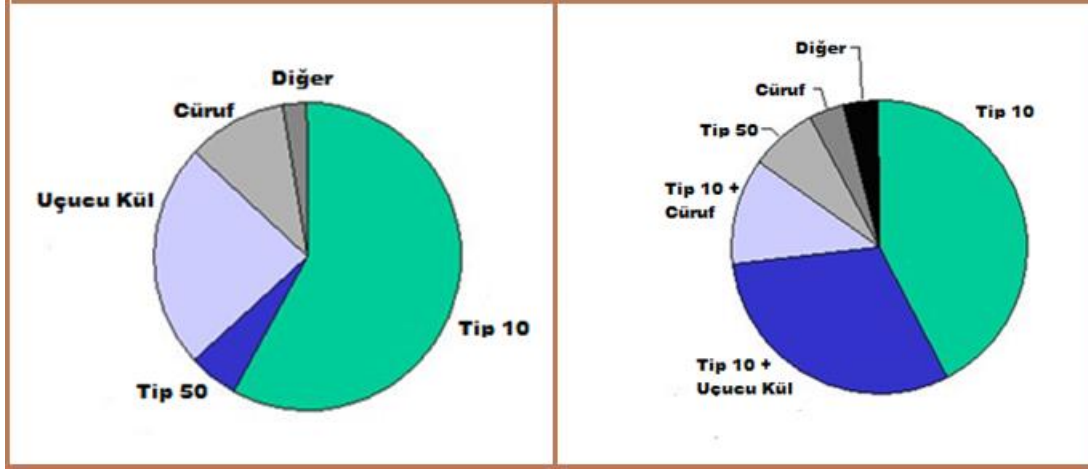
Bu bölümde macun dolgu içeriği, dolgu tesisi, macun dolgu üretim aşamaları, macun dolgu uygulaması sırasında karşılaşılabilecek aksaklıklar ve çözüm önerilerinde bahsedilmiştir.

2.3.2.1 Macun dolgu içeriği

Maden işletmelerinde dolgu işleminden beklenen, en az maliyetle gerekli dayanımı sağlamasıdır. Bu nedenle mümkün olduğunca fazla atık ve mümkün olduğunca az çimento kullanılmalıdır.

Macun dolgu içeriğini %70-85 arasında atık, su, bağlayıcı ve kimyasal katkı maddeleri oluşturur (Fall, 2005). Karışımdaki su kullanımının amacı bağlayıcılar ile reaksiyon vermesi ve zaman içinde bağlayıcıların atık ile kimyasal bağ kurmasını sağlamak ve yeraltına pompalanması için akışkan form sağlamaktır. (Archibald vd., 2003).

Macun dolgu üretiminde kullanılan bağlayıcılar; portland çimento tipleri ve volkanik küllerdir. (Kullanılan çimento kalsiyum (kireç) ve silika (kuvars) bileşiminden oluşur. (Douglas ve Malhotra, 1987)). Çimento dolgu bağlayıcısı olarak tek başına kullanılabilirken, volkanik küle kireç eklemek gerekir (Archibald vd., 2003). Volkanik kül genellikle çimento ile birlikte kullanılır. Dolgu üretiminde bağlayıcı madde maliyete ve uygulanacak dolgu çeşitine göre seçilir. Şekil 2.6'da Kanada madenlerinde macun dolgu üretiminde kullanılan başlıca bağlayıcı tipleri ve bağlayıcıların dolgu üretimindeki kullanım şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.6 : Başlıca bağlayıcı tipleri ve kullanım şekilleri (Archibald,2003)*

Yukarıda bulunan Şekil 2.6'dan da görüldüğü gibi Madenlerde çoğunlukla normal portland çimento kullanılırken, önemli oranda sülfat içeren madenlerde sülfata dayanıklı portland çimento kullanılmaktadır (*Tip 10 normal portland çimento, Tip 50 sülfata dayanıklı portland çimentosu). Sülfürlü mineraller hava ve normal çimentonun içindeki kimyasallarla reaksiyona girerek dolgu bağlarını genişleten ve kıran kristaller oluştururlar (sülfat atağı) (Skalny vd., 2002). Bunu önlemek için de sülfata dayanıklı portland çimento kullanılmalıdır.

Demir ve çelik endüstrisinin bir yan ürünü olan cüruf, bağlayıcı olarak yalnız kullanılabileceği gibi, genelde normal portland çimentosu ile birlikte kullanımı tercih edilir. Çünkü normal portland çimentosu ile karıştırılıp kullanımı sonucu dayanımı yalnız portland çimentosu veya yalnız cüruf kullanımına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca sülfat atağına karşı da direnci daha yüksektir (Archibald vd., 2003).

Kömürün termik santralde yanması sonucu oluşan uçucu kül, normal portland çimentosu ile karıştırılıp, bağlayıcı olarak kullanılır. Uçucu külün iki farklı türü mevcuttur ve yüksek kireç içeriği nedeniyle C sınıfı uçucu külün, F sınıfı uçucu küle göre bağlayıcılık özelliği daha fazladır. Fakat zehirli metaller ve diğer zararlı bileşikler içerdiği için radyoaktif olabilirler. Bu nedenle su kenarında bulunan madenlerde dolgu sistemin için kullanımı uygun değildir (Kanada, 1990).

Katkı maddeleri dolgu maddesi için istenilen fiziksel özelliği kazandırmak veya korumak için karıştırma esnasından hemen önce toplu olarak eklenen veya karıştırma

esnasında kesikli şekilde eklenen kimyasallardır. Erken dayanım performansını hızlandırmak veya yavaşlatmak için bir takım kimyasal katkı maddeleri mevcuttur. Aşağıdaki Şekil 2.7’de kullanımı yaygın olan katkı maddeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Macun dolguda kullanılan katkı maddeleri (Archibald vd., 2003)

Hızlandırııcılar, maden üretim döngüsünü kısaltmak için dolguların maksimum dayanıma ulaşma süresinin kısaltılmasında kullanılır. Hızlandırııcılar dolgunun erken dayanım performansını arttıırırlar (Archibald vd., 2003).

Geciktiriciler, yığın halindeki karışımların taşınması sırasında, boru hatlarıyla sevk edilen karışımların erken mukavemetinin önlenmesinde ve dolgu akışkanlığının arttırılmasında kullanılırlar. Tipik geciktiricilerin kullanımı zordur, çünkü geciktiricilerin uzun vadede dayanım oluşmasını engellemelerine rağmen yüksek dozlarda çimentoğun erken dayanım performansını hızlandırabilirler. En çok kullanılan katkı maddesi olan $CaCl_2$, çimento ağırlığının %0.1-0.3 oranları arasında eklenmesiyle geciktirici etki gösterir. Fakat çimento ağıırına oranla %1-3 arasında kullanılmasıyla hızlandırıcı etki göstermektedir (Archibald vd., 2003).

Dolgu dayanımının en önemli parçaları olan ince malzemeler ve çimento parçacıkları drenaj suyu tarafından taşınabilir. Çöktürücüler bunu en aza indirecek olan kimyasallardır. Bu kimyasalların görevi küçük parçacıkları agrega tanelerine bağlamaktır. Birçok tanenin bir moleküle bağlanmasıyla oluşan maddeye topak (floc) adı verilir. Askıda kalan parçacıklar floc un bir parçası olarak büyük parçacıklar haline gelip dibe çökerler. Çöktürücüler ayrıca dolgu içindeki çimentoğun homojen dağılımını sağlayarak, dolgu dayanımının artmasını sağlar (Archibald vd., 2003).

Dağıtıcılar dolgunun akışını düzenleyerek, uygun ve çalışılabilir dolgu oluşmasını sağlarlar. Dağıtıcıların birinci etkisi, atık maddelerinin drenajını arttırmak ve dolgu dayanımının artmasını sağlamaktır. Dağıtıcı eklenmiş çimento uygulamaya daha hazırdır (Archibald vd., 2003).

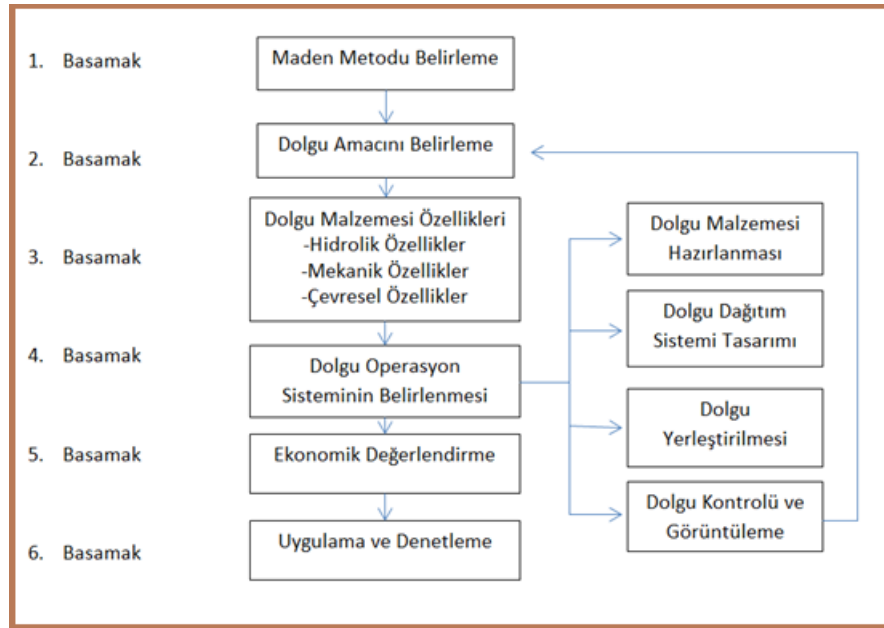
2.3.2.2 Macun dolgunun uygulanması ve örnek uygulama

Macun dolgu dizaynı, birçok mühendislik uygulamalarında olduğu gibi geniş kapsamlı bilgi ve deneyime bağlı önemli-pratik kararlar vermeyi gerektirir (Prasad ve Ramani 1989). Bu doğrultuda macun dolgu işlemi ele alınırken aşağıdaki konulara dikkat etmek gerekir.

- Maden Sahasının jeolojik durumu
- Maden üretim sistemine göre uygulanabilecek mevcut dolgu teknikleri
- Benzer durumdaki madenlerin dolgu dizaynı parametleri ve deneyimleri

Dolgu dizaynı 6 ana adımda özetlenebilir (Şekil 2.8);

1. Maden üretim sisteminin belirlenmesi
 2. Belirlenen maden üretim yöntemine göre macun dolgunun işletme bünyesindeki görevi ve amacının belirlenmesi
 3. Dolgunun amacı ve madenin durumuna bağlı, dolgu amacına hizmet edecek dolgu malzemelerinin hedef özelliklerinin tanımlanması
 4. Dolgu malzemelerine ve amacına bağlı operasyon sisteminin oluşturulması
- Dolgu Malzemesinin hazırlanması
 - Dolgu Malzemesi nakliyatı ve dağıtımı
 - Dolgu Malzemesinin yerleştirilmesi
 - Dolgu işleminin kalite kontrolü ve çevre izlemesi
5. Macun dolgu sisteminin ekonomiklik değerlendirilmesinin yapılması
 6. Macun dolgu uygulaması ve denetlenmesi



Şekil 2.8 : Macun dolgu uygulaması parametreleri

*** Macun dolgunun yaygın olarak kullanıldığı maden üretim yöntemleri**

En çok kullanılan dolgulu madencilik metodları; katarası göçertmeli dolgulu uzun ayak yöntemi, oda topuk yöntemi (room and pillar) ve dolgulu tavan arınlı ayak üretim yöntemidir (cut and fill). Bu cevher üretim yöntemleri için macun dolgu uygulaması sayesinde %100'e yakın cevher kazanımı sağlanmaktadır.

*** Belirlenen maden üretim yöntemine göre macun dolgunun işletme bünyesindeki görevi ve amacının belirlenmesi**

2.3.2 bölümünde bahsettiğim gibi macun dolgu kullanımının birçok amacı vardır. Bu amaç belirlenmeli ve dolgu üretimi için malzeme ile ilgili çalışmalara geçilmelidir.

*** Macun dolgu malzemesi özelliklerinin belirlenmesi**

Tesis atığının, dolgu olarak kullanılabilmesi için bazı deneylere tabi tutulması gerekir. Öncelikle macun dolgu olarak kullanılacak atığın ve suyun analiz edilmesi ve uygunluğunun araştırılması gerekir. Macun dolgu malzemesinin özelliklerinin belirlenmesi için bazı deneylere gereksinim duyulur. Öncelikle atığın tane boyut dağılımı, XRF ve XRD yardımıyla kimyasal ve mineralojik özellikleri ve çeşitli deneylerle (piknometre, casagrande gibi) fiziksel özellikleri belirlenir. Suyun kimyasal özelliklerinin belirlenmesi sonrasında atığın ve suyun özelliklerine uygun

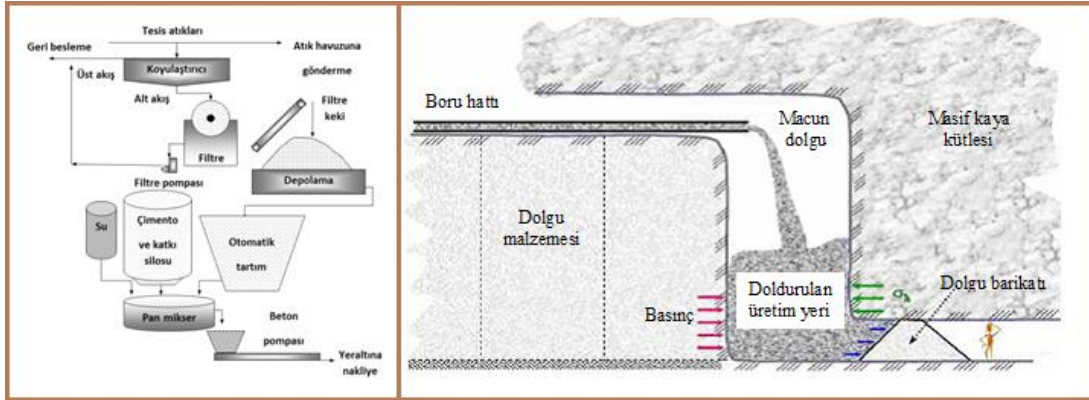
çimento çeşiti belirlenir ve belirlenen özelliklere ve gereksinimlere göre macun dolgu numunelerinin üretimine geçilir. Üretilen macun dolgu numunelerine bazı testler (Tek eksenli basınç dayanımı, kesme dayanımı, slump testleri) uygulanarak, kullanım amacına uygunluğu test edilmelidir. Bu aşamada ekonomikliğe de dikkat edilmeli ve en uygun su-çimento miktarı belirlenmelidir.

* **Macun dolgu operasyon sisteminin belirlenmesi**

Yeraltı madenlerinde macun dolgu işlemi 4 ana bileşenden oluşur (Şekil 2.9).

- Karıştırma santrali
- Taşıma ve dağıtım
- Arına yerleştirme
- Dolgu kontrolü ve görüntüleme

Dolgu santrali, ham dolgu maddelerinin saklandığı ve belirli ölçülerde karıştırılıp dolgu maddesinin hazırlandığı yerdir. Genellikle yüzeyde bulunmalarına rağmen, bazı madenlerde yeraltında da bulunabilir. Dolgu hazırlanmasında kalite kontrol, ölçümler ve karıştırma işlemleri kritik önem taşır. Zayıf dolgu yeraltı personelinin güvenliği, maden ve cevher hazırlama tesisi üretkenliğini tehlikeye atabilir.



Şekil 2.9 : Macun dolgu üretimi ve uygulaması (Archibald,2003;Erçikdi, 2009)

Taşıma ve dağıtım sistemi, dolgu santralinden yer altına gönderilen dolgu içindeki maddelerin durumuna göre belirlenir. Bu sistemin elemanları genellikle; pompa sistemi, yatay ve düşey borulardır. Eğer macun dolgu, dolgu tesisinde doğru şekilde hazırlanmazsa dolgu istenilen şekilde akmaz ve boru hattı tıkanıp, patlayabilir yada çok akışkan olup istenen dayanımı göstermeyebilir.

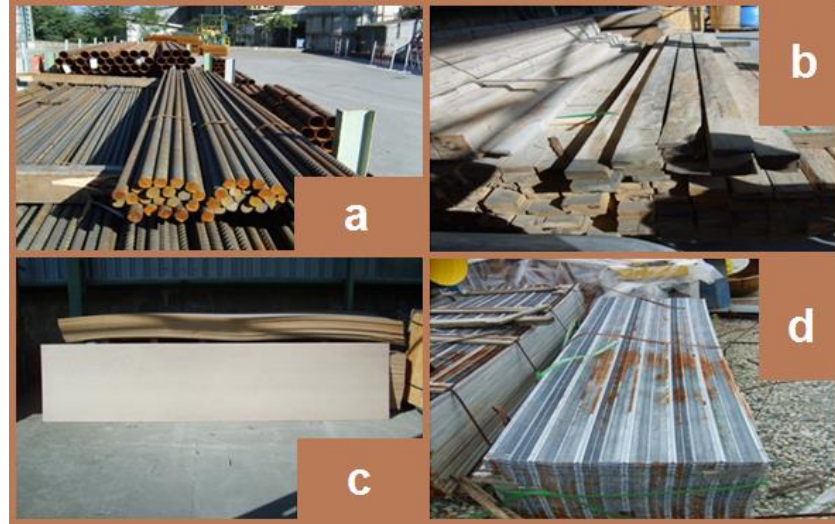
Macun dolgu arına yerleştirilmeden önce bazı ön hazırlıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hazırlıklar barikat yapımı ve kameralar yardımıyla barikatın izlenmesi işlemidir. Bu izleme işlemi genellikle Macun Dolgu tesisinde yapılır ve istenmeyen bir durum fark edildiğinde tesisten müdahale edilerek dolgu nakli durdurulabilmektedir.

i) Barikat yapımı

- Barikat öncesi hazırlıklar

Macun dolgu barikatı yapılmadan önce barikatın yapılacağı yer tesviye edilmeli, kavlaklar temizlenerek riskler ortadan kaldırılmalıdır. Boya yardımıyla sunta ve rebar yerlei işaretlenmeli, barikatın dış bükey olmamasına özenle dikkat edilmelidir. Barikat hizası lazer veya ip yardımıyla belirlenmelidir. Hiza belirlenirken önce rebar sırası en fazla 1'er metre arayla belirlenmeli daha sonra 20 cm arın içine doğru sunta sırası işaretlenmelidir.

Rebarları yerleştirmek için belirli çaplarda delikler delinmeli ve delik boyu kullanılan ribarın yaklaşık dörtte biri suntaları desteklemek için dışarıda bırakılacak şekilde delinmelidir. Delikler delinirken dikkat edilmesi gereken en önemli şey, deliklerin barikata paralel delinmesi gerektiğidir.



Şekil 2.10 : Barikat malzemeleri

- Barikat uygulaması

Barikat yapılırken ilk olarak rebarlar (Şekil 2.10-a) açılan deliklere çimento enjeksiyonu yardımıyla yerleştirilmelidir. (Rebar deliklerinin delinmesi ve çimento

enjeksiyonuyla rebar yerleştirilmesi aynı zamanda yapılması gereken işlemlerdir. Deliklere çimento-su-çamur benzeri maddelerin girmemesi için önce taban delikleri delinip, rebarlar yerleştirilmeli daha sonra yan duvarlara ve tavana da aynı işlem uygulanmalıdır.)

Belirli boyutlardaki kalaslar (Şekil 2.10-b) (genellikle 5cm x 10 cm tercih edilir), tavan ile taban arasına dik ve yatay şekilde yerleştirilip, çivi yardımıyla birbirlerine tutturulmalıdır. Kalasların uzun kenarlarının basınç yönüne paralel olmasına dikkat edilmelidir.

Kalasların aralarına çeşitli ebatlarda suntalar (Şekil 2.10-c) yerleştirilmeli ve arının şeklini alması için fazla kısımlar kesilmelidir. Yan duvarlarda boşluk kalmamasına dikkat edilmelidir (Şekil 2.11).

Şekil 2.10-d'de görülen donato demirleri barikatın dışına yerleştirilmeli ve demir teliyle rebarlara tutturulmalıdır. Bu tutturma işleminde kaynak kullanımı madenlerde tehlikelere neden olabilmektedir.



Şekil 2.11 : Barikat yapım aşamaları

Son olarak çeşitli kalınlıklarda (ÇBİ'de 30 cm) püskürtme beton barikatın uygulanmalıdır. Püskürtme beton uygulamasından 24 saat sonra arına macun dolgu pompalama işlemine başlanabilmektedir.

ii) Görüntüleme

Dolgu basit bir atık akımı olarak kabul edilebilir, fakat madencilik işlemi ve birçok modern madencilik yöntemi için tasarlanmış olan gerekli bir yan üründür (Degagné ve diğ., 2001). Madenlerde güvenli şekilde üretim yapmak için yüksek kaliteli metalürjik değirmenden çıkmış dolgu ürünü sunmak her zamankinden daha gerekli bir hal almıştır. Altyapıdaki aksaklıklar-arızalar veya dolgu dökülmesindeki problemler çalışma ortamını güvensiz hale getirebilir.

Son yirmi yıldaki dolgu çalışmaları ve teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte dolgu malzemesi hazırlama işlemleri sürekli gelişmektedir. Bugünün madencilik dolgu tesisleri, otomatik ve hassas olarak dolgu karışımı hazırlama ve sürekli görüntüleme gibi özellikleri ile beton hazırlama tesislerine benzerdir.

Günümüzde maden tasarımı ve operasyonlarının önemli bileşenleri olan veri toplama ve veri analizi optimum yarar sağlar. Kısacası, izleme modern madenciliğin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.

Herhangi bir maden izleme programının iki temel amacı vardır; maden verimliliği artırmak ve maden personeli ile maden mülkiyetini korumak (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : Macun dolgu görüntüleme sistemi-ÇBİ

Tüm bu nedenlerden dolayı, macun dolgu yerleştirilmeden önce barikatın tüm noktalarını görebilecek bir noktaya kamera koyulması gerekir. (Barikatın önüne gözcü koymak iyi bir fikir değildir, çünkü olabilecek herhangi bir aksaklık gözcüyü

tehlikeye sokabilir.). Kamera macun dolgu tesisinden izlenmeli ve barikatta çtlak veya sızıntı görülmesi halinde dolgu yerleştirilmesi işlemi durdurulmalıdır.

- **Macun dolgu örnek uygulaması**

Macun dolgu hazırlanması bir dizi uygulama gerektirir. İlk olarak, çeşitli üretim metodlarıyla üretilen cevher, yeraltında cevher hazırlama tesisine gönderilir ve macun dolgu olarak kullanılacak cevher hazırlama atığı, dinlendirme havuzuna (tikiner) alınır (Şekil 2.13). Bu aşamada, dolgu dayanımının en önemli parçası olan ince taneli malzemelerin, drenaj suyu tarafından taşınmasını engellemek için çöktürücü olarak adlandırılan adını oluşturduğu topaklardan (floc) alan kimyasallar kullanılmaktadır. Daha sonra atık malzemesi macun dolgu tankına beslenir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : ÇBİ – Macun dolgu tankı ve çöktürme üniteleri

Macun dolgu üretimi için macun dolgu tankındaki atık malzemesi susuzlandırılmak üzere filtre bölümüne pompalanır. Bu bölümde atık malzemesi vakumla kurutularak kek haline getirilir ve oluşan filtre artığı tekrar macun dolgu tankına beslenir (Şekil 2.14). Kek halindeki malzeme bant yardımıyla karıştırıcıya (kondisyoner) gönderilir. Bu aşamada hassas bir şekilde tartılan atık ve su karıştırıcıda karıştırılarak homojen bir karışım elde edilir. Daha sonra miksera gönderilen bu homojen karışıma işletme

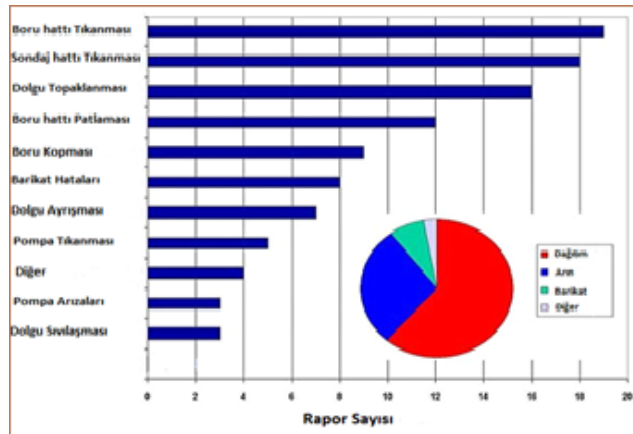
gereksinimlerine göre belirli oranlarda çimento eklenerek macun dolgu yeraltına pompalanmaya hazır hale getirilir. Bu sırada dolguya bazı kimyasallar eklenebilir. Hazır olan macun dolgu yüksek basınç yardımıyla yeraltına gönderilir.



Şekil 2.14 : Macun dolgu filtreleme ünitesi ve macun dolgu tesisi görünümü (Uğurlu, 2011)

2.3.2.3 Macun dolgu uygulaması sırasında karşılaşılabilecek aksaklıklar

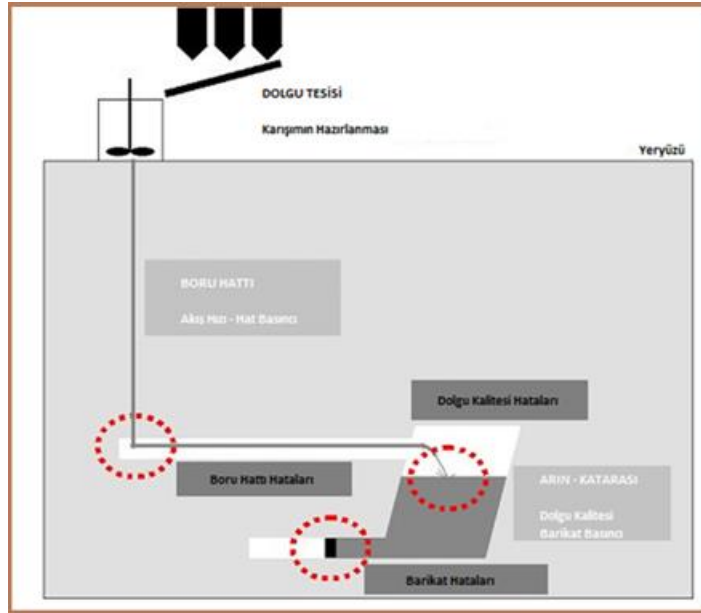
Madenlerde karşılaşılan başlıca hatalar; dolgu karışımı hataları, dolgu sistemi hataları ve barikat hatalarıdır (Noranda, 1990). En sık rastlanan hatalar boru hattı tıkanmaları ve boru patlamalarının yaşandığı dolgu dağıtım sisteminde meydana gelmektedir. Kanada’da 2001 yılında meydana gelen hataların detaylı görünümü Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



Şekil 2.15 : Kanada’da 2001 yılında meydana gelen hataların detaylı görünümü
(De Souza vd., 2001)

Dolgu dizaynındaki aksaklıklar direk olarak barikat hatalarına neden olabilirken dolgunun iyi dizayn edilmiş olmasına rağmen, direk barikat hatalarından kaynaklanan barikatın kötü tasarımı hatalı barikat kurulumu gibi aksaklıklar da meydana gelmektedir. Bu tür aksaklıklar; tesis veya operatör hatası , kötü mühendislik tasarımı ve planlaması, kötü montaj-bakım ve hatalı dolgu işlemiyle olabilir (Archibald vd., 1993).

Dolgu hatalarını önlemek için; dolgu tesisindeki karışım oranları ve katı konsatrasyonu; dağıtım sistemindeki (Şekil 2.16) akış hızı ve boru hattı boyunca oluşan basınç; barikata uygulanan basınç; katarasındaki dolgu kalitesi (dayanım, gözeneklilik, çimento dağılımı, ayrışma faktörü vb.) gibi özellikler çok önemlidir.



Şekil 2.16 : Macun dolgu dağıtım sisteminde sıkça görülen aksaklıklar (Archibald vd., 2003)

Mühendislik hesaplamalarının yapıldığı en kritik yer dolgu tesisidir. Örneğin, dolgunun su miktarındaki ufak bir değişiklik boru basıncını önemli ölçüde değiştirmektedir. Ancak günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte dolgu tesisleri çok iyi şekilde izlenip, hesaplamalar elektronik ortamlarda yapılmakta ve böylece operatör hataları en aza indirilerek daha güvenilir ürünler elde edilmektedir.

Dolgu santralinde hazırlanan dolgular yerinde test yapmayı da gerektirir. Çünkü yapılan deneyler sonucunda yeryüzünde yapılan deneylerle, yeraltında yapılan

deneyler arasında farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıklar büyük sorunlara neden olabilirler (Archibald vd., 2003).

2.3.3 Macun dolgu dayanımını etkileyen parametreler

Macun dolgu dayanımını etkileyen birçok parametre mevcuttur. Bu parametreler iç etkenler ve dış etkenler olarak iki başlık altında toplanabilir.

2.3.3.1 İç etkenler

Macun dolgu dayanımını ve durabilitesini etkileyen iç etkenler aşağıda verilmiştir (Benzaazoua vd., 2004).

- Atık malzemesinin tane boyut dağılımı
- Atık malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri
- Bağlayıcı türü ve miktarı
- Katkı maddeleri kullanımı
- Karışım suyu miktarı ve içeriği

Yukarıdaki maddelerden de anlaşıldığı gibi, macun dolgu karışımını oluşturan herbir etkenin fiziksel ve kimyasal özellikleri dolgu dayanımı ve durabilitesini doğrudan etkilemektedir. Bu etki, kısa dönemde fark edilebileceği gibi, uzun dönemler sonucunda da görülebilmektedir (Benzaazoua vd., 2004).

Atık malzemesinin tane boyut dağılımı; dolgu dayanımını, dolguda kullanılacak bağlayıcı miktarını ve dolgunun yeraltına yerleştirilmesini etkilemektedir. Bu nedenle atık malzemesinin iri tanelerinin ince tanelerle etkileşim halinde olmasını sağlayacak en uygun tane boyut dağılımına sahip olması gereklidir. Yapılan çalışmalara göre dolgu malzemeleri 3 ana gruba ayrılmıştır. Bunlar; 20µm altı malzemenin ağırlıkça %15-35 'inin oluşturduğu iri taneli atıklar, 20µm altı malzemenin ağırlıkça %35-60 'ını oluşturduğu orta taneli atıklar ve 20µm altı malzemenin ağırlıkça %60-90 'ını oluşturduğu ince taneli atıklardır (Landriault,2001. Fall ve Benzaazoua, 2005).

Atık malzemesi bünyesinde bulunan sülfatca zengin bileşiklerin bulunması dış kaynaklı etkilerle uzun dönemde bazı olumsuzluklara neden olabilmektedir. Dolgunun dayanımının bozulmasına neden olan sülfat etkisine sülfat atağı denir.

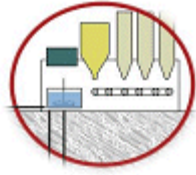
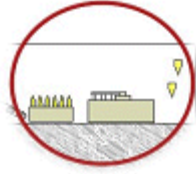
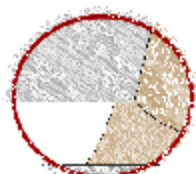
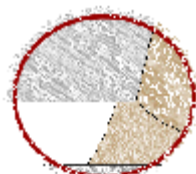
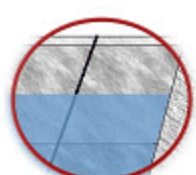
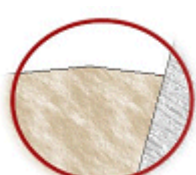
Fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar sonucu meydana gelen bu durum, dolgu dayanımına büyük ölçüde zarar vermektedir. Özellikle yüksek sıcaklık altında sülfatca zengin bileşiklerin reaksiyonu sonucu çimentonun bağlayıcılığı zarar görmekte ve dolgu gerekli görevleri yapamamaktadır (Ustabaş, 2008). Özellikle pirit oranı yüksek atıklarını bulunduğu işletmelerde bu duruma daha çok dikkat edilmelidir. Bu gibi durumlarda dolgu üretiminde bağlayıcı olarak sülfata dayanıklı portland çimentosu veya uçucu kül gibi puzolanik malzemeler kullanılabilir (Skalny vd., 2002). Buna ek olarak bağlayıcı miktarının arttırılması sonucu asit ve sülfata karşı direncin arttığı da gözlenmiştir (Benzaazoua vd., 2005). Yapılan araştırmaların sonuçlarına göre farklı macun dolgu uygulamalarında kullanılan aynı tür bağlayıcıların farklı dayanım gösterdiği belirlenmiştir, bu nedenle bağlayıcı tipi ve oranının atık çeşidine göre yapılan deneylerle belirlenmesi gerekmektedir (Erçikdi, 2009).

Macun dolgu uygulaması döngüsünü hızlandırmak ve dolgu yerleştirme işlemi sırasında sorun yaşamamak için bazı kimyasal katkı maddeleri kullanılmaktadır. Olumsuz durumlarla karşılaşmamak için bu katkı maddelerinin kullanımının iyi ayarlanması gerekmektedir.

Macun dolgu performansını etkileyen en önemli etkenlerden birisi de macun dolgu karışımında kullanılan suyun kimyasıdır. Karışım suyu olarak sülfat konsantrasyonu yüksek pH'ı düşük suların dolgu dayanımını olumsuz etkilediği görülmüştür (Benzaazoua, 2002).

2.3.3.2 Dış etkenler

Macun dolgu dayanımını etkileyen en önemli dış etken sıcaklıktır. Sıcaklığın artması dolgu kür süresinin azalmasına neden olduğu gibi sülfat etkisinin görülmesine de neden olabilmektedir (Fall vd., 2010). Diğer dış etkenlere drenaj-konsolidasyon etkisi ve yanal basınçlar örnek olarak verilebilir. Bu konuda yapılan araştırmalar yetersiz ve az sayıdadır. Bu konuda daha fazla araştırma yapılması madencilik faaliyetleri açısından önem arz etmektedir. Macun dolgu dizaynı için dış etkenleri dikkate almak gereklidir. Laboratuvar ortamında iyi performans gösteren bir macun dolgu reçetesi uygulanan ortamda dış etkenler nedeniyle farklı performanslara sahip olabilir.

	Kaya Dolgusu	Hidrolik Dolgu	Macun Dolgu
Kaynak	 Kırılmış ve boyutlandırılmış maden atığı (kaya)	 Susuzlandırılan ve boyutlandırılan tesis atığı ve kum	 Çok iyi şekilde susuzlandırılmış ve boyutlandırılmış tesis atığı
Dağıtım	 Mekanik	 Yerçekimi/pompalama ile düşey ve yatay boru hatları	 Yerçekimi/pompalama ile düşey ve yatay boru hatları
Dolgu Barikası	 Basit dolgu barikası	 Kompleks dolgu barikası	 Basit dolgu barikası
Susuzlandırma	 Çok az/yok	 Önemli	 Çok az/yok
Çimento	Gerekirse yeraltında yada çimentolu bulamaç olarak yerüstünde eklenebilir.	Gerekirse yeraltında veya yerüstünde eklenebilir.	Yeraltında veya yerüstünde eklenmek zorundadır.

Şekil 2.17 : Yaygın olarak kullanılan 3 farklı dolgu türünün karşılaştırılması (Archibald vd., 2003)

3. BALYA KURŞUN-ÇİNKO YERALTI MADEN İŞLETMESİ

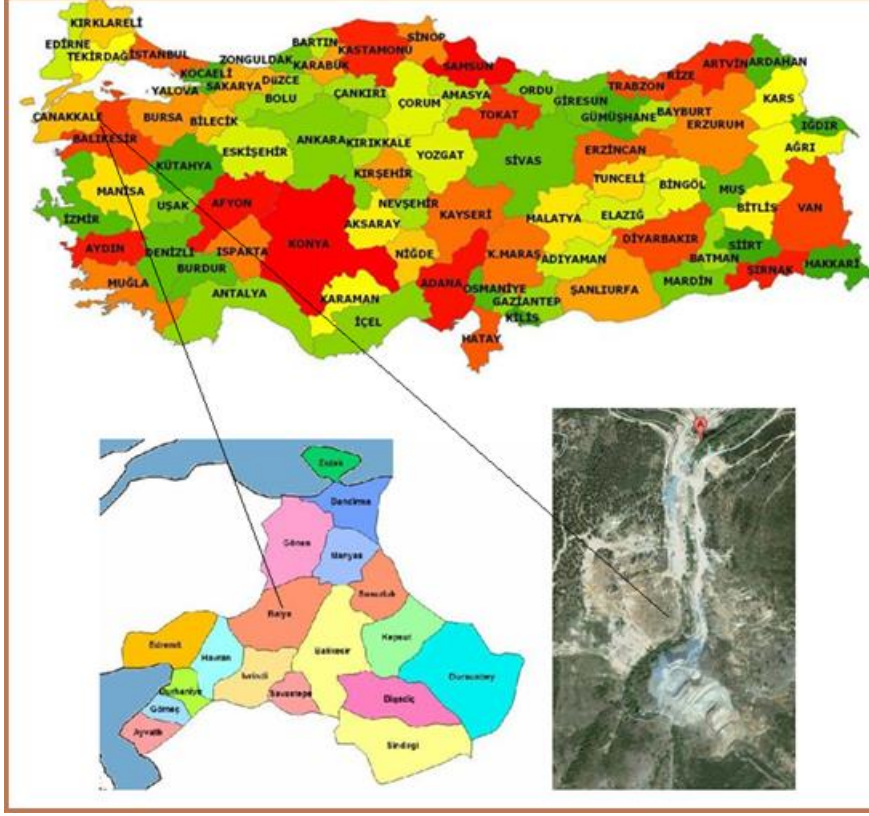
Bu bölümde, macun dolgu uygulaması ile ilgili araştırmanın yapıldığı çalışma sahası hakkında genel bilgiler verilmiştir. Eczacıbaşı Topluluğu'na ait olan bu Kurşun-Çinko Madeni, Balıkesir ilinin, Balya ilçesinde bulunmaktadır. Maden sahası resmi kayıtlara göre 2900 hektar alanı kapsamaktadır.

Bölgede ilk kurulan işletme Balya Karaaydın madenidir. Bu işletme 1881 yılında Fransızlar tarafından kurulmuş olup 1939 yılına kadar işletilmiştir. Karaaydın şirketi Türkiye'de yatırım yapan ilk yabancı şirket olma özelliğini taşımaktadır. 1960 yılında bir Türk şirketi olan “Rasih ve İhsan Madencilik Şirketi” sahada önce arama ruhsatı ve sonra 1970'te de 10 yıllık işletme ruhsatı ile faaliyet göstermiştir. Bu şirket, sahada Fransız şirketinden kalan ve ekonomik maden içeren pasaları değerlendirmek üzere rödövanla Mutlu Akü firmasının bir kuruluşu olan “Mutlu Türker İzabe Şirketi”ne vermiştir. Türker İzabe Şirketi bölgeye 50 ton/gün kapasiteli bir kurşun-çinko flotasyon tesisi kurmuştur. Daha sonra, Rasih ve İhsan Şirketi ruhsat hakkını yitirdiğinden 1979 yılında saha devletçe Etibank'a verilmiştir. Esan Balıkesir- Balya bölgesinde 2009 yılında üretime geçen kurşun-çinko işletmesiyle metalik maden sektöründe de faaliyet göstermeye başlamıştır. 2010 yılında Balya flotasyon tesisinde 240,000 ton ham cevherden 30,000 ton kurşun-çinko konsantresi elde edilmesi planlanmaktadır. Bu yeni yatırım ile 2012 yılında Türkiye'nin kurşun çinko üretiminin %40 artacağı öngörülmektedir.

3.1 Coğrafi Konum

Balıkesir ilinin 50 km kuzeybatısında, İstanbul'un 420 km güneyinde yer alan Balya Kurşun-Çinko Ocağı'nda karasal iklim hakim olup yazları sıcak ve kurak, kışları sert ve yağışlı geçer. Yağışlar kış aylarında kar ve yağmur şeklindedir. İlçenin deniz seviyesinden yüksekliği 235 metre olmakla birlikte gerek rakım ve gerekse konum itibarıyla yazlar akdeniz iklimindeki kadar sıcak olmayıp kısmen serindir. Yılın en sıcak ayları Temmuz ve Ağustos, en soğuk ayları ise Ocak ve Şubat aylarıdır. İşletme

Balya-İzmir arası karayoluna 224 km mesafede bulunmaktadır. İstanbul'dan Balya'ya ulaşım, İstanbul-Bandırma arası deniz yolu ve Bandırma-Balya arası karayolu ile yapılabilir. Şekil 3.1'de Balya Kurşun-Çinko Yeraltı Madeni yer bulduru haritası ve uydu görüntüsü verilmiştir.

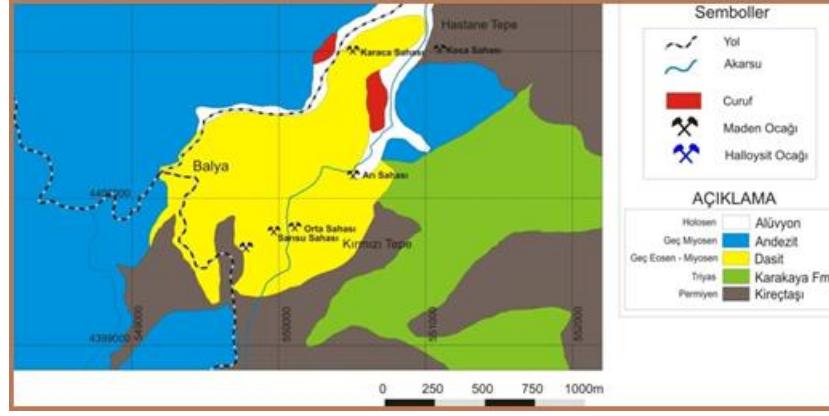


Şekil 3.1 : Balya kurşun-çinko yeraltı madeni yer bulduru haritası ve uydu görüntüsü

3.2 Maden Yatağının Jeolojisi

3.2.1 Jeolojik yapı

Balya yöresinde, yabancı bloklar oluşturan permien yaşlı kireçtaşı, triyas yaşlı miltaşı-kumtaşı-çakıltaşı ardalanması ve tersiyer yaşlı volkanitlerden kurulu bir jeoloji yapısı bulunmaktadır. Kireçtaşları iki ayrı konumda görülmektedir. Bunların bir bölümü, kendilerinden daha genç triyas tortullarının içinde bloklar biçiminde yer alırken; bir bölümü de, triyas istifinin üzerine taşınarak yerleşmiş durumda bulunmaktadır. Balya yöresinin jeolojisi Şekil 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.2 : Balya bölgesi jeolojik haritası (Dönmez, 2011)

Kiltaş-miltaşı-kumlu kireçtaşı ardalanmasından oluşan triyasın tavanında da bir tavan çakıltası tabakası yer almaktadır. Tersiyer ise volkanitlerle temsil edilmektedir. Bunlar çok altere dasit ve riyalitlerden oluşmaktadır.

Volkanik etkinliklerin KD-GB doğrultusunda uzanan faylarla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu kaya istifi Kırmızı Tepe'den geçen KD-GB uzanımlı “Büyük Fay” ile kesilmektedir. Düşeye yakın duruşlu bu fayın cevherleşmeyi de yönlendirdiği düşünülmektedir.

Cevher oluşumu genellikle dasit-kireçtaşı dokanağında kontakt pirometasomatik ve kireçtaşının çatlaklarında hidrotermal damar türünden olduğu belirtilmektedir. Damar türü cevher yataklarında; dasit çatlaklarında olanlar realgar, orpiment, galenit, sfalerit ve pirit; kireçtaşının çatlaklarına yerleşmiş olanlar galenit, sfalerit, antimonit, pirit, realgar ve orpiment birlikteliklerinden oluşmaktadır. Yalnızca pirit damarları, piritli sfaleritli galenitli damarlar, orpimentli realgarlı damarlar ve çok az da sfaleritli antimonit damarları ile karşılaşılabilir.

Skarnlardaki kontakt türü cevher daha zengin olarak gözlenmektedir. Bunlar, dasitle kireçtaşlarının dokanaklarında oluşmuştur. Dokanak zonlarında skarn minerallerinin gelişmiş olduğu gözlenmektedir. Karşılaşılan başlıca cevher mineralleri magnetit, pirit, pirotin, arsenopirit, kalkopirit, markazit, tetrahedrit, galenit ve sfalerit olarak belirtilmektedir.

Ayrıca, altere dasitlerin içinde saçılmış cevherleşmelere de rastlanmaktadır. Saçılmış olarak pirit, galenit ve sfalerit mineralleri izlenmektedir. Bunların ekonomik önemi olmamaktadır (Akyol, 1977).

3.2.2 Mineraloji

Balya madeni örneklerinin mikroskopla incelenmesi sonucu parlak kesitlerde sırasıyla galenit, pirit, sfalerit, kalkopirit, tetrahedrit, manyetit, pirotin, antimonit, arsenopirit, boulanjerit, jamesonit, bizmutit ve nabit-bizmut görülmektedir.

Galenit, genellikle üst düzeylere doğru artmakta ve fazla miktarda bulunmaktadır. Çoğunlukla iri taneli ve kataklastik, bazen tamamen parçalanmış, ufalanmış kristaller halinde izlenmektedir. Galenit ve sfaleritin, bazen çok ufak tenecikler halinde yanyana iç içe büyümüş olduğu gözlenmektedir. İri taneli galenit kristalleri içinde yer yer çok ufak öncelikle yuvarlağımsı sfalerit, kalkopirit ve eser sayıda tetrahedrit-tennantit tanecikleri bulunmaktadır. Bir parlak kesitte galenitin boulanjeritten bir kuşakla sarılmış olduğu görülmektedir. Galenitin kenar, dilinim ve çatlakları boyunca yer yer çok az miktarda serrusite dönüştüğü gözlenmektedir.

Sfalerit; allotriomorf ve kataklastik oluşumlar şeklinde, bazen skarn silikatları içinde damarcıklar oluşturmuş halde gözlenmektedir. Yer yer tamamen ufalanmış olarak bulunan sfalerit kırmızı-kahverengi iç yansımalar göstermekte ve içinde farklı rölyefler halinde ortaya çıkmış çok güzel ikiz lamelleri bulunmaktadır. Gang mineralleri içinde ve arasında izlenen bazı sfalerit oluşumlarının etrafı kalkopirit, pirotin ve pirit gibi sülfidlerle sarılmıştır. Kalkopirit ve pirotinle yan yana büyümüş sfaleritler bu minerallerden yarı öz biçimli ve öz biçimsiz tanecikler içermektedir. Kalkopirit, sfalerit içinde ayrılımlar halinde de bulunmaktadır. Çok ufak tanecik ve lamelcikler şeklinde izlenen kalkopiritaynımları, bazen pirotin tanecikleri içermektedir. Çoğunlukla kalkopirit ve pirotinaynımları kapsayan sfaleritler yanında, ayrılmaz olan sfaleritler de bulunmaktadır. Böyle ayrılımsız oluşumlar civarında kalkopirit ve pirotine rastlanmamaktadır (Dönmez, 2011).

3.2.3 Cevherleşme tipleri

Balya da 3 tip cevherleşme üzerinde durulmaktadır:

3.2.3.1 Damar tipi cevherleşme

Cevherleşme daha ziyade kuzey – güney yönünde uzanan büyük bir liparit – dasit tabakası ile kireçtaşı kontağında yer almaktadır. En iyi cevherleşmelerin bazıları

apofizlerin (beyaz dayk) yakınında içeri nüfuz edilmiş kalkerlerin yatakladığı yerde bulunmaktadır. Cevherleşme düzensiz şekillidir. Boyutları henüz sınırlandırılmamıştır. Galenit, sfalerit ve pirit yatağın esas cevheri olup galenite bağlı olarak gümüş ve sfalerite bağlı olarak da kadmiyum içermektedir. İkincil olarak: Kalkopirit, pirotin, arsenopirit, markazit, bornit, kalkozin, kovellin, hematit, magnetit, tetraedrit, bizmutin, kobalt görülmektedir. Derinlere doğru genellikle yatakta, çinko oranı yükselmekte, kurşun oranı azalmaktadır. Dokanak zonu içinde bulunan değişik sondajlardan alınan örneklerden gelen başlıca skarn mineralleri; kuvars, kalsit, epidot, granat, albit, klorit, diopsittir.

3.2.3.2 Saçılmış-dissemine tip cevherleşme

Saçılmış cevher, ayrılmış dasit içinde çok az gözlenmektedir ve hiçbir ekonomik değeri olmadığı düşünülmektedir. Saçılmış olarak; pirit, galenit ve sfalerit saptanmıştır.

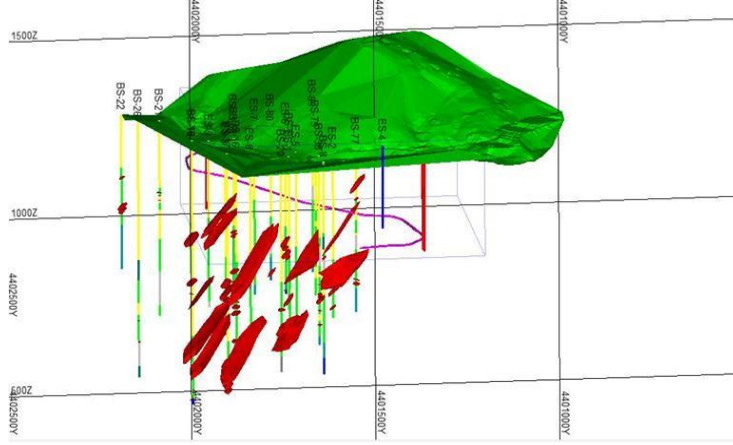
3.2.3.3 Kontakt tipi cevherleşme

Kontakt tipi cevherleşme, permiyen yaşlı kireştaşı bloklarının düzensiz kırık istemleri ile dasitlerin eklemlerinde izlenmektedir (Kanpolat ve Cengiz, 1985).

3.3 Rezerv Durumu

Bugüne kadar yapılan arama ve araştırmalar sonucu Balya Arı-Orta Saha'sının görünür ve muhtemel kurşun ve çinko rezervlerinin toplamı yaklaşık 3.043.300 ton olarak hesaplanmaktadır. Rezerv hesaplaması yaparken kesim kalınlığı 4 metre, tenör (Pb + Zn) %3,5 ve cevher özgül ağırlığı 3 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca cevher yatağının 3 boyutlu görünümü de Şekil 3.3'te gösterilmektedir (Bozan, 2009).

Balya kurşun-çinko cevherinden alınan kesitlere göre hesaplanan görünür ve muhtemel rezerv bilgileri hesaplaması MTA tarafından yapılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre ortalama tenörü (Pb + Zn) %9,1 olan 3.043.300 ton cevher bulunmaktadır.



Şekil 3.3: Balya Pb-Zn(Ag-Au) madeni 3 boyutlu cevher modellemesi micromine programı görüntüsü

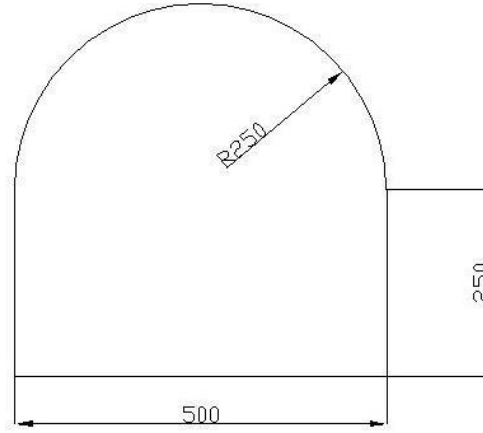
3.4 Hazırlık Galerileri

3.4.1 Hazırlık galerilerinin geometrik özellikleri

Balya Esan Kurşun-Çinko Madeni'nde hazırlık galerileri 5 metre genişliği ve 5 metre yüksekliğinde at nalı şeklinde açılmaktadır ve 9° eğimle ilerlemektedir. 1206 metre kotundan girilen ana nakliyat galerisi üretim galerilerinin başladığı noktada, 865 kotunda, ana rampaya dönüşmektedir. Ana rampanın bir tur dönmesi dikey olarak 15 metreye denk gelmektedir. Üretim galerileri ana rampadan 10-15 metre uzunluğunda sürülen hazırlık galerilerinden sağa ve sola doğru açılmaktadır. Başka bir deyişle hazırlık galerilerinin açılması işi, ana rampa ve bu rampadan 10-15 metre uzunluğunda damarı kesecek şekilde açılan galeri işleridir.

Yatay dilimli dolgulu üretim yöntemi dik ve dike yakın damarlarda ve yan taşın sağlam olduğu cevherleşmelerde uygulanmaktadır. Cevher damarına dik sürülen ana nakliye galerisi cevheri kestikten sonra, cevhere dik olarak hazırlık galerileri açılır ve cevher doğrultusu boyunca sağa ve sola doğru kazılarak üretim galerileri oluşturulur. 5 metre yüksekliğinde bir hazırlık galerisi için katlar arası mesafe 15 metre olmalıdır. Galerilerin dışındaki bağlantılar ise havalandırmayı sağlamak amacıyla havalandırma kuyuları ve cevherleşmeyi eğimi boyunca takip etmek için açılan üretim galerileridir. Bu üretim sisteminde cevher damarının doğrultu boyunca aynı seviyede olması ve

cevherin kalınlığının tamamının alınması esastır (Bulut ve Dalgıç, 2001). Hazırlık galerisi kesiti AutoCad çizimi Şekil 3.4’te görülmektedir.



Şekil 3.4: Hazırlık galerisi kesiti AutoCad çizimi (cm)

3.4.2 Hazırlık galerilerinin kazı, tahkimat ve nakliyat işleri

Balya Esan Kurşun-Çinko Madeni’nde hazırlık galerilerinin sürülmesi işi taşeron firma tarafından yürütülmektedir. Taşeron firma hazırlık galerilerinde delme patlatma ve tahkimat işlerini yapmakta, çıkan pasanın nakliyesi ise Esan tarafından yapılmaktadır. Ancak 2012 Nisan ayı sonundan itibaren taşeron firma ile yapılan anlaşma fesh edildiğinden hazırlık galerileri sürülmesi işi bu tarihten itibaren Esan tarafından yapılmaktadır. Başlangıçta hazırlık galerilerinin taşeron firmaya verilmesi üretime daha çabuk geçebilmek amacıyla yapılmaktaydı. Makina ve ekipman yetersizliği yüzünden başlangıçta taşeron şirketle anlaşma yapılmıştır.

Hazırlık galerilerinde ana rampanın sürülmesi işinin üretim galerilerinden farkı topoğrafın gelip eğimi ve dönüş yönünü işaretlemesidir. Bunu aşağı inerken gereken kavisi vermek için olduğu anlaşılmaktadır. Tahkimat işlerinin de farkı ana rampa sürekli ana yol olarak kullanıldığı için tavana çelik hasır monte edilmesidir.

Delme işleminde ana rampada amaç derinlere ilerlemek olduğu için, delikler aşağı doğru eğimle delinmektedir. Bir patlatma işleminde ortalama 5 metre ilerlenmektedir.

Balya Esan Kurşun-Çinko Yeraltı Madeni’nde iki farklı damar bulunmaktadır. Bu damarlar hazırlık galerilerinin ortasına sürülen yeraltı galerilerinin solunda ve sağında bulunmaktadır. Solundaki damara batı sağındaki damara ise doğu damarı

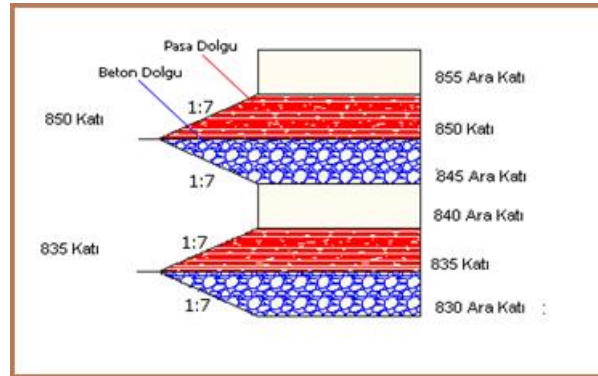
ismi verilmektedir. Bu damarların rezervleri ve tenörleri arasındaki fark uygulanan üretim yöntemi seçiminde önemli bir etken olmaktadır. Batı damarının rezervi düşük fakat tenörü yüksek olduğundan bu damarda ara katlı dolgulu üretim yöntemi uygulanmakta iken, doğu damarının ise rezervi yüksek tenörü düşük olması nedeniyle arakatlı-göçertmeli üretim yöntemi kullanılması uygun görülmüştür. Fakat henüz arakatlı göçertmeli yöntem uygulanmamaktadır.

3.5 İşletmede Uygulanan Üretim Yöntemleri

İşletme sınırları içerisinde batı ve doğu damarları olmak üzere iki farklı damar bulunmaktadır. Damarların yapılarının farklı olması nedeniyle, işletmede iki farklı yöntem ve bu yöntemlerin farklı yapıları uygulanmaktadır.

3.5.1 Arakatlı dolgulu üretim yöntemi

Batı galerilerinde uygulanan bu yöntem 15 metrelik dilimlere ayrılmış cevheri 5 metrelik dilimlere ayırarak üretilmesini sağlamaktadır. 1:7 eğimle 35 metre galeri sürülerek düşey mesafede 5 metre kat kazılmış olur. Daha sonra bu galerilerde üretim tamamlanınca, eğer üretimi tamamlanan galerinin altında başka bir galeri açılacaksa, %8'lik dolgu ile doldurulmaktadır. Damarın genişliğine bağlı olarak üretimi tamamlanan galerinin yanında üretim yapılacak ise %6 lık dolgu ile doldurulmakta, üretimi tamamlanan galerinin altında veya yanında üretim olmayacak ise bu galeri boş bırakılmakta yada yerine göre pasa dolgu ile doldurulmaktadır. Örnek olarak 850 batı galerisi pasa dolgu ile doldurulmuştur (Şekil 3.5).



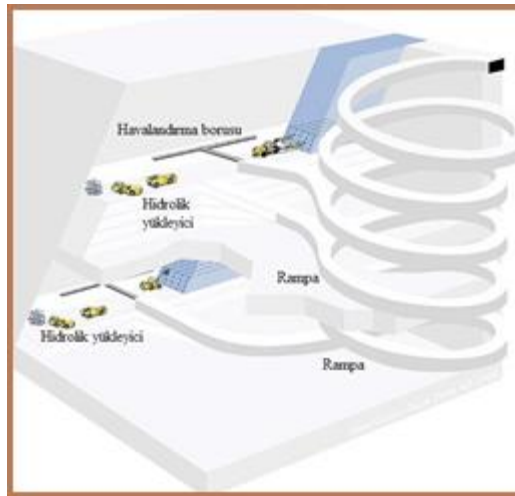
Şekil 3.5: Balya kurşun-çinko madeni batı galerilerinde dolgu uygulaması (Avcı, 2010)

3.5.2 Arakatlı göçertmeli üretim yöntemi

Doğu galerilerinde uygulanan üretim yönteminde cevher 15 metrelik dilimlere ayrılmaktadır. (Henüz 15 metrelik dilimler göçertilerek alınmamaktadır.). Doğu galerilerinde üretimi, şu an 15 metre de bir sürülen üretim galerilerinde yapılmaktadır. Daha sonra doğu galerileri aralarında kalan 15 metrelik düşey mesafedeki damar göçertilerek alınacak, göçertme işlemi patlatma ile yapılacak ve göçüğün alınması ile üretim gerçekleşmiş olacaktır. Doğu galerilerindeki üretim yönteminde dolgu malzemesi kullanılmayacaktır. Gereken yerlerde topuklar bırakılarak üretimin yapılması planlanmaktadır. Doğu damarının uzunluğunu fazla ve tenörünün düşük olması nedeni ile dolgu maliyetlerinin yükselmesi, bunun da cevher maliyetini olumsuz etkilemesi sebebi ile doğu cevherinde arakatlı göçertmeli üretim yöntemi kullanılması uygun görülmüştür.

3.5.3 Uygulanan üretim yöntemi

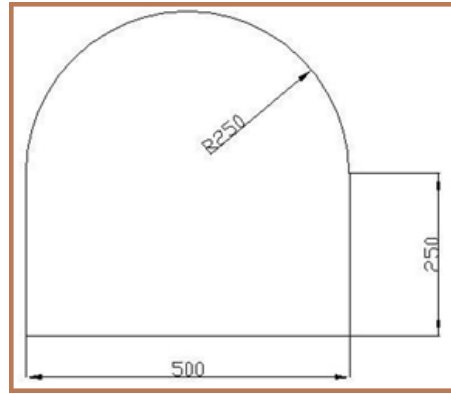
Balya Kurşun-Çinko yeraltı ocağındaki cevherin eğimi 875 katına kadar 37° - 38° - 40° arası 875 katından sonra ise 38° - 40° arasında değişmektedir. Yeraltında şu ana kadar uygulanan üretim yöntemi genel tanımı itibariyle “Yatay Dilimli Dolgulu Yöntem” olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde cevher önce üst üste dilimlere ayrılır daha sonra, bu dilimler sırası ile kazılır. Üretim yapılırken açılan boşluklar hemen doldurulur; böylece bir yandan işçilerin ve ayağın emniyeti arttırılır diğer yandan da işçilerin üzerinde çalışacağı bir platform oluşturulur. Şekil 3.6’da klasik bir yatay dilimli dolgulu yöntemdeki üretim şekli gösterilmiştir.



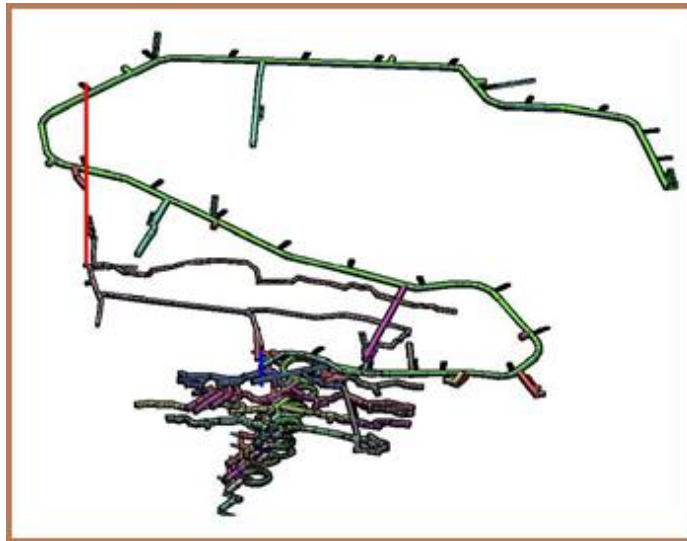
Şekil 3.6: Klasik bir “Yatay dilimli dolgulu yöntem” görünümü (Avcı, 2010).

3.5.3.1 Cevher kazısı ve galerilerin konumu

Yatay dilimli dolgulu üretim yöntemi dik ve dike yakın damarlarda ve yan taşın sağlam olduğu cevherleşmelerde uygulanmaktadır. Cevher damarına dik sürülen ana nakliye galerisi, cevheri kestikten sonra cevhere dik olarak hazırlık galerileri açılır ve cevher doğrultusu boyunca sağa ve sola doğru kazılarak üretim galerileri oluşturulur. 5 metre yüksekliğinde bir hazırlık galerisi için katlar arası mesafe 15 metre olmalıdır. Galerilerin dışındaki bağlantılar ise havalandırmayı sağlamak amacıyla havalandırma kuyuları ve cevherleşmeyi eğimi boyunca takip etmek için açılan üretim galerileridir. Bu üretim sisteminde cevher damarının doğrultu boyunca aynı seviyede olması gerekir ve cevherin kalınlığının tamamının alınabilmesi amaçlanır (Kuzu, 2007).



Şekil 3.7: Ana nakliyat galerisi kesiti AutoCad görünümü (cm)

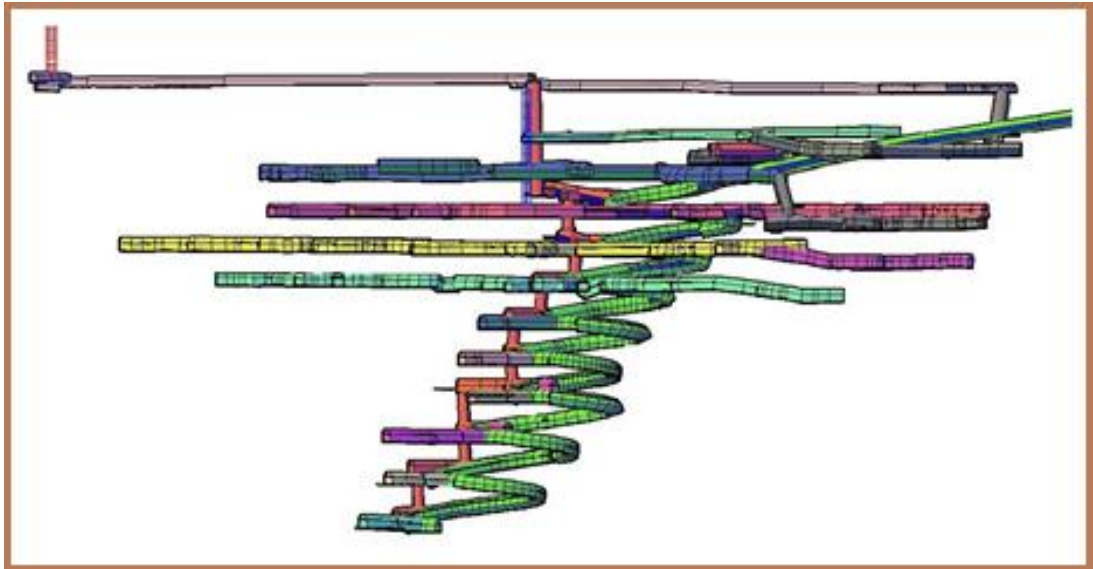


Şekil 3.8: Ana nakliyat galerisi ve diğer galerilerin perspektif olarak AutoCad görünümü

Ana nakliyat galerisi ve ana rampanın AutoCad görüntüleri Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Ana rampanın başladığı yerde açılan 865 katında ilk

Üretim galerileri oluşturulmuştur. Daha sonra üretim sırasıyla; 850, 835, 820, 805, 790 ve 775 katlarında ana rampa ile birleşerek yapılmaktadır. Üretim galerileri doğu-batı yönlerinde ikiye ayrılarak ilerlemektedir. Ana rampa her bir dönüş turunda havalandırma kapıları ile havalandırma bacasına bağlanmaktadır.

Üretim yatay dilimler halinde 5 metre yüksekliğindeki galeriler ile yapıldığı için, rampanın bir dönüş turu dikeyde 15 metreye tekabül etmektedir. Bunun nedeni; üretimin, yönteminde de anlatıldığı gibi cevhere 3 farklı eğimle yaklaşarak ve bir alt katı doldurarak bir üst kata çıkma şeklinde olmasıdır. Madende eski Fransız Galerileri havalandırma yolu olarak kullanılmaktadır ve bu galerilerin dar olması nedeniyle havalandırmada büyük dirençlerle karşılaşılmaktadır.



şekil 3.9: Ana rampa ve üretim galerileri AutoCad görünümü

Dik yataklanmış cevher, damar kalınlığınca açılmış bulunan yaklaşık 200 – 300 m arası değişen boylardaki panolarda delme-patlatma yöntemi ile kazılmakta ve kazılan boşluk dolgu ile doldurulmaktadır. Genelde 5 m yüksekliğindeki at nalı şeklindeki açıklık devamlı olarak korunmaktadır. Kazıya başlamadan önce cevher ve dolgu malzemesinin taşınabilmesi için gerekli hazırlıklar yapılmakta olup, en önemlileri; ana nakliyat galerisi ve döner rampalardır (Kuzu, 2007).

3.5.3.2 Delme ve patlatma işleri

Üretime başlanabilmesi için oluşturulan panoların katlarını teşkil edecek olan damar içi yolların sürülmesi ve bunun ana kat galerileriyle birleştirilmesi gerekir. Cevher yolları arası yaklaşık 15 m'dir. Üretimde kullanılan delici, yükleyici vb. teçhizat ve araçlar ise döner rampalar vasıtası ile ana kat galerine ulaştırılmaktadır. Dolgu ya da kazılmış cevherden, delme işlemi esnasında çalışma platformu olarak faydalanılmaktadır. Delinen deliklerin uzunlukları değişmekte olup, seçilen delme şeklinin iş akışına etkisi olabilmektedir (Kuzu, 2007). Günlük ilerleme bir adet Jumbo ile vardiya başına 5 m'den toplam 10 m'dir.

Patlatma işlemlerinde her 5 m ilerleme için yaklaşık 180 – 200 kg Yavex™ Gold 150 emülsiyon tipi patlayıcı kullanılmaktadır. Dinamit eşdeğeri kapsül ile patlatılabilen Yavex™ Gold 150, zor şartlar için tasarlanmış yeni nesil emülsiyon patlayıcıdır. Her türlü kayaçta yüksek verim ve iş güvenliği sağlanmaktadır. Eşdeğeri olan nitrogliserin bazlı patlayıcı maddelere göre sürtünme ve darbeye karşı daha güvenlidir. Yavex firmasının internet sitesinden alınan verilere göre; Yavex™ Gold 150, suya dayanıklı olup, yer altı uygulamalarında patlama sonrası açığa çıkan zehirli gaz içeriği düşüktür .

3.5.3.3 Nakliyat

Kazılmış cevherlerin naklinde kullanılan cevher yolları, cevherin taşınmasını sağlamaktadır. Ancak cevherin bunların içine itelenmesi - önce cevher yoluna getirilmesi - gerekmektedir. İlerleyen kazı ile patlatılarak ana yataktan ayrılan cevher yığını ile cevher yolu arasındaki mesafe de artmaktadır. Burada cevherin taşınması ve cevher yolu arasındaki mesafe dengesine dikkat edilmeli ve cevher yolları arasındaki mesafe ekonomiklik ölçütü göz önüne alınarak seçilmelidir (Kuzu, 2007).

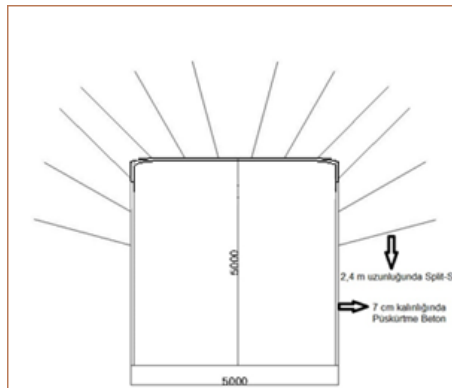
Patlatılarak çıkartılan cevher ve yantaşın yüklenmesi kepçeler ile yapılmakta olup taşınması ise kamyonlar vasıtası ile gerçekleştirilmektedir. Yükleme işlemleri için 1 adet Hitachi ve 1 Adet Kawasaki kepçe kullanılmaktadır. Cevher kütlelerinin yeryüzüne çıkartılması için ise 4 adet Mercedes Axor ve 2 Adet Renault Kerax kamyon kullanılmaktadır. Malzeme yükleme işlemine başlamadan önce Hitachi marka kırıcı yardımıyla yan duvar ve tavanda bulunan kavlakların taranması işlemi yapılmaktadır. Bu işlemin yapılması, yükleme işlemi yapılırken kavlakların

yükleyicilerin üstüne düşmesini engellemektedir. Yükleme ve tarama işleminde kullanılan iş makinaları dizel yakıt ile çalışmaktadır. Kamyonların yeraltına girip cevher ile beraber yeryüzüne çıkması yaklaşık olarak 30 – 45 dakika sürmektedir. Patlatılan malzeme yeryüzüne nakledildikten sonra tabanların çekilmesi işlemi Bobcat kullanılarak yapılmakta ve bu sayede aynada tahkimatın yapılabilmesi için büyük makinaların ayanaya girebilmesi sağlamaktadır. Bu işlem ortalama 15 dakika sürmektedir.

3.5.3.4 Tahkimat

Balya Esan Kurşun-Çinko Madeni'nde zemin dayanımını arttırmak ve tavandan düşebilecek kavlakları engellemek amacıyla püskürtme beton uygulaması ve kaya civatası (split set) çakımı gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.10). İlk olarak 35 milimetrelik bit 2.80 metre uzunluğundaki delme roduna takılmakta ve bu bit ile bir sırada 12-14 adet delik olmak üzere, 1.2 metre aralıklarla Jumbo kullanılarak delikler delinmektedir. Delik delme işlemi yapıldıktan sonra çakma aparatı takılarak, standart 2.40 metre uzunluğunda, 39 milimetre çapında olan civatalar, 150x150x4 milimetrelik plakalar kullanılarak çakılmaktadır.

Ana galeri ve hazırlık galerilerinde çelik hasır uygulamaları yapılmaktadır. Yapılan bu uygulamanın amacı, açılan bu galerilerin uzun ömürlü olmasının istenmesi nedeniyle, yaşanabilecek aksaklıkların oluşmasını engellemektir. Çelik hasırlar kaya civataları ile kayaca tutturulmaktadır. Kaya civatası çakımı gerçekleştirildikten sonra 7 cm kalınlığında püskürtme beton uygulaması Dragon marka turbosol ve Renault marka kamyon üzerine monte edilmiş 8m³lük mikserin mekanize olarak çalışmasıyla yapılmaktadır.



Şekil 3.10: Tahkimat uygulaması AutoCAD çizimi (cm)

Püskürtme beton yerüstünde, beton santralinde hazırlanmaktadır. 5 m³ olarak hazırlanan püskürtme beton; mikser ile daha önce operatör ve yardımcısı tarafından elektrik ve su bağlantıları yapılmış turbosolün kazanına dökülmektedir. Uzaktan kumanda ile kontrol edilen turbosol kullanılarak kayaca püskürtme beton uygulaması yapılmaktadır. Mikserin gelmesi beklenirken püskürtme betonun yapılacağı alan tozdan ve ufak kayaç tanelerinden arındırılmak için su ile yıkanmaktadır.

İşletmede kullanılan püskürtme betonun 1 m³'lük miktarının hazırlanması için gerekli olan malzemeler ve miktarları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Püskürtme beton malzemeleri ve malzeme miktarları

Püskürtme Beton	
Malzeme	Miktar (kg)
Agrega	1500,0
Çimento	450,0
Su	175,0
Akışkanlaştırıcı	4,5
Priz Hızlandırıcı	45,0

Püskürtme beton hazırlanırken ilk olarak belirlenen miktarda su ve çimento miksere eklenmektedir. Daha sonra akışkanlaştırıcı ilave edilmekte ve bu karışım iki dakika kadar mikserde karıştırılmaktadır . İnce agrega (%50 0-4 mm %50 4-7 mm) eklendikten sonra oluşan karışım 5 dakika mikserde karıştırılarak, karışım turbosole dökülmek üzere yeraltına gönderilmektedir.

Püskürtme beton hazırlanırken kullanılan agreganın boyut dağılımına dikkat edilmesi büyük önem arz etmektedir. Boyutları büyük olan taneler turbosolün borularını tıkamakta buda iş kaybına yol açmaktadır. İnce tanelerin fazla olması durumunda betonun kıvamı artmaktayken, ince tanelerin az olması durumunda ise betonda ayrışmalar oluşmakta ayrıca püskürtme sırasında geri sıçrama artmaktadır.

Püskürtme betonun hazırlanmasında dikkat edilmesi gereken bir diğer hususta su miktarının ayarlanmasıdır. Su miktarının fazla olması püskürtme betonun kayaya yapışmasını zorlaştırmakta ve iş kaybına yol açmaktadır. Hazırlanan beton mikserle turbosole dökülürken suya ihtiyacı varsa turbosolde eklenebilmektedir. Suyun,

püskürtme beton hazırlanırken normal reçeteye nazaran biraz daha az konulması oluşabilecek kıvam bozukluğunun önüne geçmektedir.

Püskürtme beton hazırlanmasında normal portland çimentosu kullanılmaktadır. Püskürtme beton hazırlanırken pompalanabilirliğini yükseltmek için akışkanlaştırıcı ilave edilmesi gerekmektedir. Ayrıca püskürtme betonun çabuk sertleşmesi gerektiği için priz hızlandırıcı da kullanılmaktadır.

Püskürtme beton kaya civataları ile tutturulmuş kayacın kırıkları ve çatlakları arasına girerek, kayacın kayma dayanımını arttırmaktadır. Kayacın kendi kendini taşımasına yardım etmekte ve gerilme konsantrasyonunun azalmasını sağlamaktadır (Dönmez, 2011).

3.5.3.5 Havalandırma

Bu üretim yönteminde genellikle emici havalandırma sistemi kullanılmakta olup, hava bir yerden girerek üretim yerine ulaştırılıp direk yer yüzüne gönderilmektedir. Yatay dilimli dolgulu yöntemde havalandırma etkili bir şekilde üretim yapılan arına üfleyici fanlar vasıtasıyla vantüpler ile yönlendirilmelidir. Üretim yapılan yerde açık alanın azalması ile ortaya çıkabilecek çeşitli gazların ve çalışan aletlerin dizel gaz emisyonlarının ocak havasındaki oranı dolgu ile minimize edilebilir fakat yine üretim dar bir alanda yapıldığından bu kısımlara yeterince hava sağlanması için tali havalandırma şarttır (Cummins ve Given, 1992).

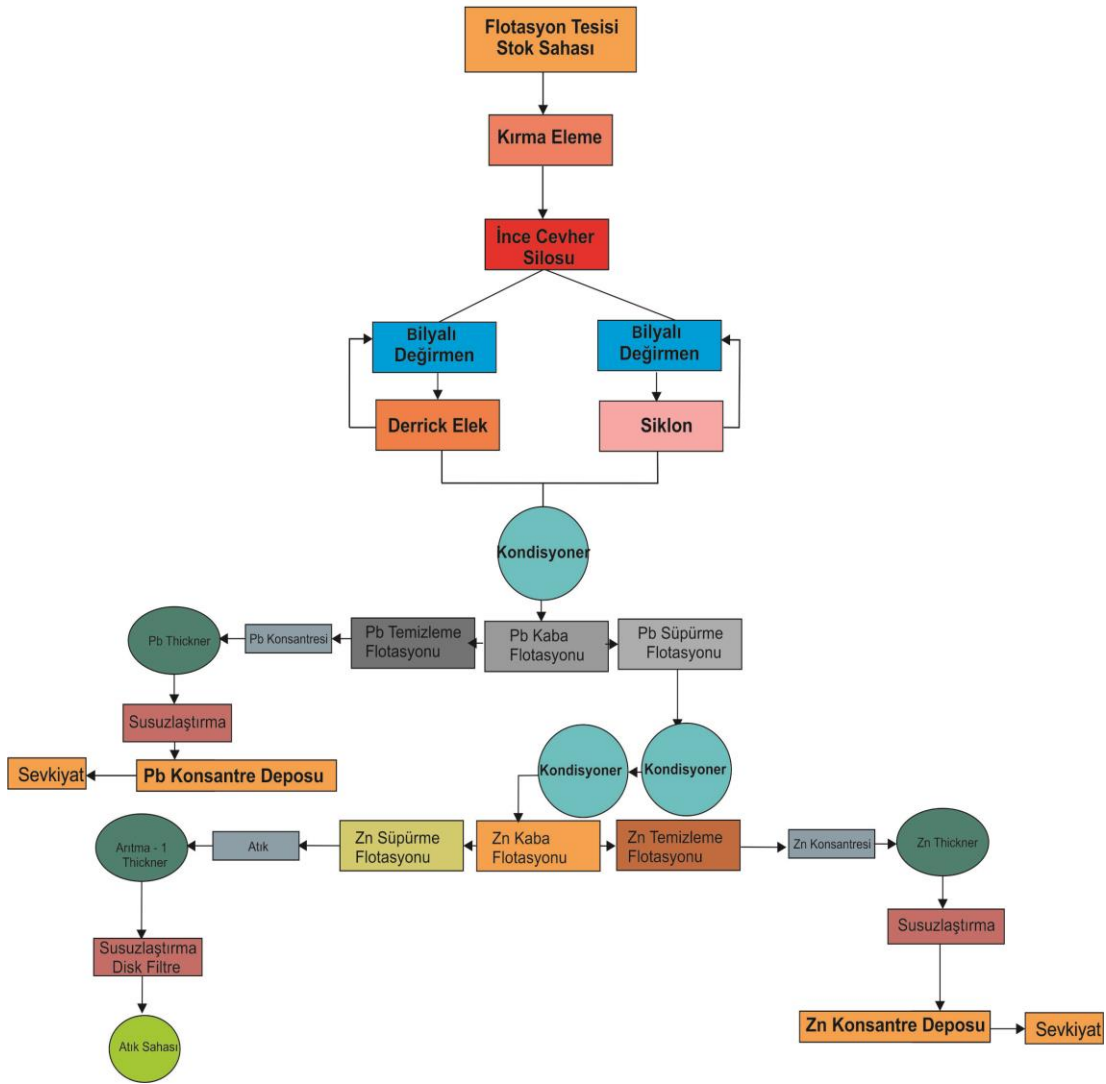
3.6 Cevher Hazırlama-Zenginleştirme Tesisi Bilgileri

Balya Esan Kurşun-Çinko Yeraltı Madeni'nde çıkan tüvenan cevherin zenginleştirildiği cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisi bulunmaktadır. Tesiste kurşun ve çinko flotasyonu yapılmaktadır. Tesisin akım şeması Şekil 3.11'de verilmiştir.

Tesiste tüvenan cevher bant yardımı ile kırıcılara taşınmaktadır. Kırma işleminde bir adet çeneli kırıcı ve 2 adet konik kırıcı kullanılmakta, öğütme işleminde ise 2 adet bilyalı değirmen kullanılmaktadır.

Cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisinde yapılan flotasyonda yüzen cevher kurşun cevheri, bastırılan cevher çinko cevheridir.

Pb - Zn FLOTASYON TESİSİ AKIM ŞEMASI

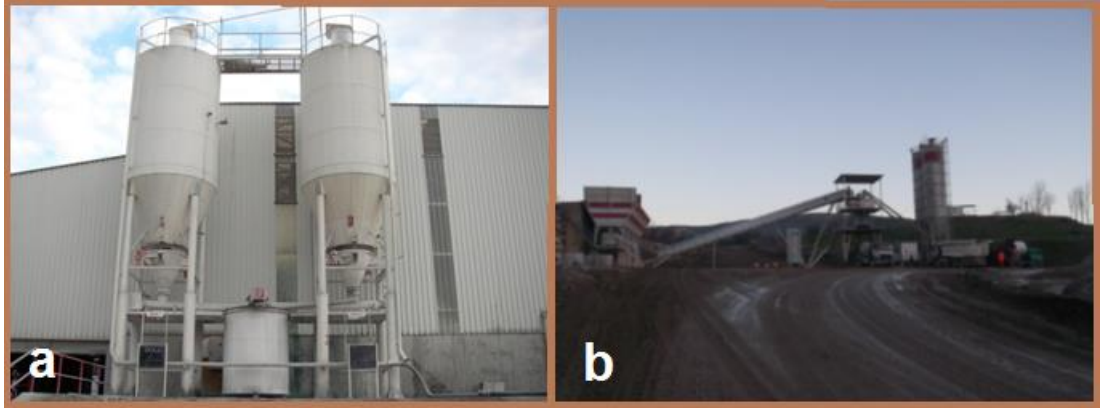


Şekil 3.11: Cevher hazırlama ve zenginleştirme akım şeması

Kurşun flotasyonunda demir sülfat, çinko sülfat, sodyum silikat, potasyum etil ksantat, aero 242 ve butil glikol; çinko flotasyonunda bakır sülfat, sodyum silikat, potasyum amil ksantat, kireç ve 2-ethyl hexanol kimyasalları kullanılmaktadır.

Cevher hazırlama tesisinde işlemden geçen tüvenan cevher, tesisin alt tarafında bulunan depolarda muhafaza edilmektedir.

İşletme bünyesindeki Kurşun – Çinko depoları ve yeni cevher hazırlama tesisi Şekil 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.12: a) Kurşun-Çinko depoları b) Yeni cevher hazırlama tesisi

3.7 Yeraltında Dolgu Uygulaması

Balya Esan Kurşun-Çinko Madeni’nde üretimi tamamlanan galeriler dolgu işlemine tabi tutulmaktadır. Üretimi tamamlanan galerinin bir alt kotunda üretim yapılacaksa, üretimi tamamlanmış galeri % 8’lik dolgu malzemesi ile doldurulmaktadır (Tablo 4). Üretim yaparken damar takibi yapıldığı için, üretimi tamamlanan bazı galerilerin yanında yeni bir üretim galerisi açılması gerekebilmektedir. Bu durumda üretimi tamamlanan galeri % 6’lık dolgu malzemesi ile doldurulmaktadır (Çizelge 3.2). Üretimi tamamlanmış galeri eğer açılacak başka bir üretim galerisinin kot olarak hemen üstünde yer almıyor ise, üretimi tamamlanmış galeri pasa dolgu ile doldurulmaktadır. Pasa dolguda yeraltından çıkan pasa kullanılmaktadır. Pasa dolgu yapılacak yere, yeraltında doldurulan kamyonlar damperleri yardımıyla boşaltma yapmaktadır. Dolgu işleminde kullanılacak beton dolgu hazırlanması beton santralinde yapılmaktadır (Şekil 3.13).

Çizelge 3.2 : 1 m³ dolguda yer alan malzemeler

DOLGU		
Malzemeler (kg)	8% çimentolu dolgu	6% çimentolu dolgu
Çimento	170	110
Kalın agregası	1700	1700
Su	150	150
Akışkanlaştırıcı	4,5	4,5
Priz Hızlandırıcı	45	45

Mikserde hazırlanan dolgu malzemesi kamyonlarla yeraltına gönderilmektedir. Bir kamyon iki mikser ile dolmaktadır. Bir mikserde ise bir seferde 6 m³ dolgu malzemesi hazırlanmaktadır.



Şekil 3.13: a) İşletme bünyesindeki beton santrali b) Dolguda kullanılan kalın agrega (0-50 mm)

Dolgu malzemesi yapılırken ilk önce mikserde su konulmaktadır. Agregası ve çimento bunkerde karıştırılarak mikserde ilave edilmektedir. Agregası ve çimentonun beraber konulması malzemenin iyi karışması bakımından önem taşımaktadır. Agregası, çimento ve sudan oluşan malzeme mikserde 10-12 dakika karıştırılmakta ve bu sırada akışkanlaştırıcı ve priz hızlandırıcı eklenmektedir.

Mikserde hazırlanan dolgu beton kamyonla dökülmektedir (Şekil 3.14). İki mikser malzeme ile dolan yüklü kamyon dolgu yapılacak yere malzemeyi boşaltmaktadır. Boşaltılan malzeme bobcat yardımıyla sıkıştırılarak sağlamlaştırılmaktadır.



Şekil 3.14: a) İşletme bünyesindeki beton santrali b) Mikserden kamyonla dolgu malzemesi boşaltımı

Dolgu malzemesi hazırlanırken konulan su miktarına dikkat edilmelidir. Suyun fazla konması malzemenin cıvık olmasına neden olmaktadır. Cıvık malzeme itilirken büyük sorunlar çıkartmakta ve dolgunun sağlamlığını etkilemektedir. Kullanılan agregada ince tane yoğunluğu fazla ise konulan su miktarı biraz arttırılmalıdır.

Çimento bunkere silolardan dökülmektedir. Kullanılacak çimento miktarının ayarlanması beton santralindeki görevli tarafından yapılmaktadır. Mikserden kamyonu ilk hazırlanan dolgu malzemesi boşaltıldıktan sonra hemen ikinci dolgu malzemesi hazırlanmasına geçilmektedir. Bu işlemin uzun sürmemesi, dolgu malzemesinin kamyonda donmasının engellenmesi açısından önem taşımaktadır. Dolgu malzemesinin kamyonda donması, malzemeyi dolgu yapılacak yere boşaltırken iş kaybına yol açmaktadır.

Püskürtme beton ve dolgu hazırlanmasında kullanılan agrega, çinko- kurşun sevkiyatı yapan yük kamyonları tarafından getirilmektedir. Beton santraline yığılan agregalar, Balıkesir'den alınmaktadır. Kullanılan çimentonun ise yarısı İzmir'den yarısı Balıkesir'den temin edilmektedir.

4. ZENGİNLEŞTİRME TESİS ATIĞININ MACUN DOLGU OLARAK KULLANIMININ İNCELENMESİ

Bu bölümde, zenginleştirme tesislerinden çıkan atık malzemesinin macun dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması için yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Bu amaca yönelik olarak, aşağıda liste halinde verilen çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

- Atık malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tayini,
- Karışım suyunun özelliklerinin tayini,
- Çimentonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tayini,
- Karışım reçetelerinin oluşturulması,
- Macun dolgu mekanik özelliklerinin tayini,
- Kullanılabilir macun dolgu tasarımı.

4.1 Atığın Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması

Deneysel çalışmalarda kullanılan farklı kimyasal özellikteki 2 farklı atık malzemesi, Eczacıbaşı Balya Kurşun-Çinko işletmeleri cevher hazırlama tesisi bant çıkışından 18 Temmuz günü alınmıştır.

4.1.1 Atığın fiziksel özelliklerinin tayini

2 farklı atık malzemesinin(A tipi ve B tipi) tane boyut dağılımı İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan Malvern Mastersizer Hydro 2000 MU marka tane boyut dağılımı ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1-a). Deney her iki atık içinde 15 kere tekrarlanmış ve değerlerin ortalaması alınarak tane boyut dağılımı grafiği çizilmiştir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).

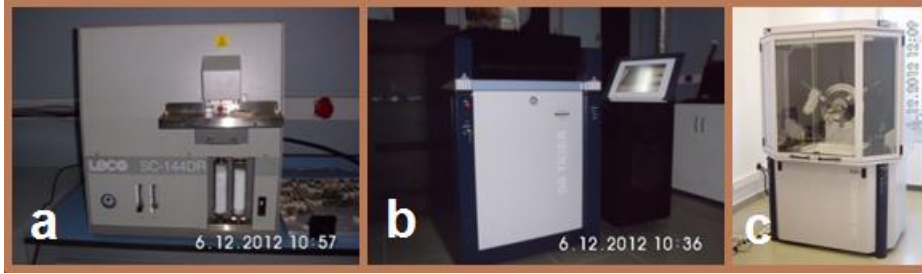
Atık malzemelerinin yoğunluğu 10 gr numune, deiyonize su ve 2kPa'lık vakum yardımıyla 5 farklı piknometre (Şekil 4.1-b) kullanılarak deneye tabi tutulmuştur.



Şekil 4.1: a) Malvern Mastersizer Hydro 2000 MU b) Piknometre deneyi c) Likit limit deneyi

4.1.2 Kimyasal özelliklerin tayini

2 farklı atık malzemesinin kimyasal özellikleri İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya Laboratuvarları'nda bulunan Bruker S8 TIGER marka XRF cihazı (Şekil 4.2-a) ile Semi Kantitatif yöntemi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.2: a) Leco SC-144DR b) Bruker S8 TIGER c) Bruker D8 Advance

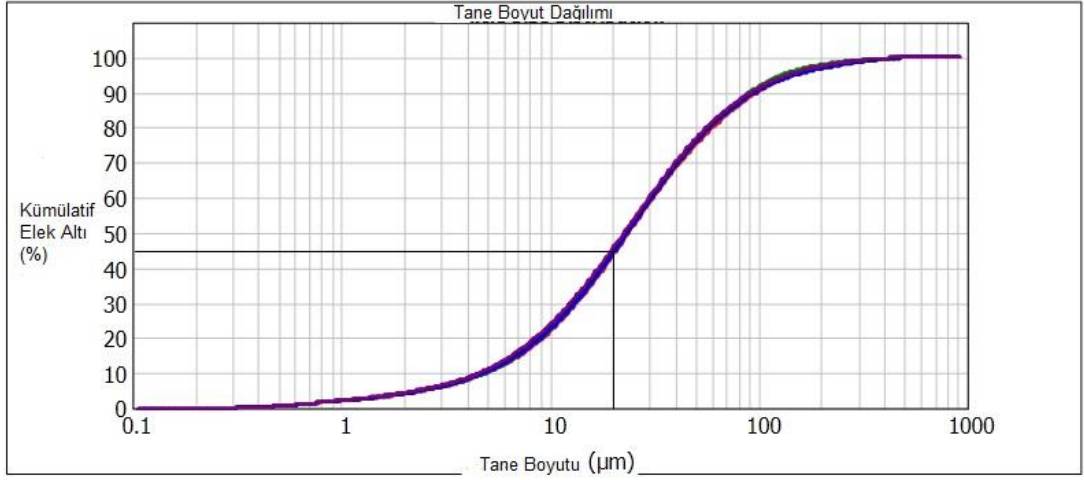
XRF cihazının sodyum (Na) elementinden düşük atom numaralı elementleri okuyamaması nedeniyle Leco SC-144DR marka Karbon-Sülfür analiz cihazı (Şekil 4.2-b) kullanılarak elde edilen sonuçlar, XRF sonuçları ile karşılaştırılıp, Tablo 4.3 hazırlanmıştır.

2 farklı atık malzemesinin İstanbul Teknik Üniversitesi X-ışınları Laboratuvarı'nda Bruker D8 Advance marka XRD cihazı (Şekil 4.2.-c) ile yapılan mineralojik analiz sonuçları XRF sonuçları ile karşılaştırılıp, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 hazırlanmıştır.

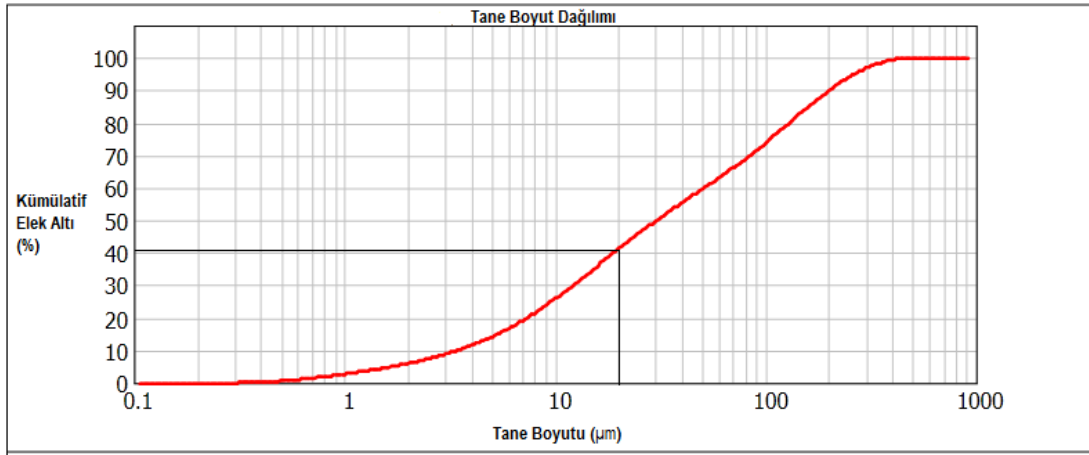
4.1.3 Değerlendirme

Tane Boyut dağılımı ölçümü sonuçlarına göre; A tipi numunesi için, 20 μ m altı malzeme miktarının ağırlıkça yaklaşık %45 olduğu görülmektedir. B tipi numunesi için ise 20 μ m altı malzeme miktarının ağırlıkça yaklaşık %41'dir. Sonuçlar doğrultusunda her iki atığın da orta boyutlu malzemeler sınıfında olduğu tespit edilmiştir (Landriault,2001; Fall ve Benzaazoua, 2005), (%35 - 60 < 20 μ m = orta

boyutlu malzeme). A tipi numune ile B tipi numune arasında görülen en büyük farklılık, B tipi numunenin A tipi numuneye göre daha fazla iri tane içermesidir.



Şekil 4.3: A tipi atık malzeme tane boyut dağılımı grafiği



Şekil 4.4: B tipi atık malzeme tane boyut dağılımı grafiği

Piknometre ile yoğunluk tayini için yapılan deneylerde, A tipi numunesi için 5 ayrı ölçümün ortalaması alınarak yoğunluk 1.47 g/cm^3 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). B tipi numunesinin yoğunluğu ise 1.49 g/cm^3 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

Yapılan bu piknometre deneyi sonucunda elde edilen yoğunluk değerleri sayesinde yeraltında üretim sonucu oluşan boşlukların doldurulması için ne kadar macun dolgu numunesi gerektiği hesaplanabilmektedir.

Çizelge 4.1 : A tipi numunesi için tane boyut dağılımı ve piknometre yöntemiyle hesaplanan atık malzemesinin yoğunluk değerleri

Fiziksel Özellikler	µm	Deney No	Yoğunluk (g/cm ³)
D₁₀*	4,5	1	1,48
D₃₀	12,5	2	1,45
D₅₀	22,6	3	1,47
D₆₀	29,6	4	1,47
D₉₀	90,9	5	1,48
		Ortalama	1,47

* D10: malzemenin yüzde 10'unun geçmesini sağlayan elek çapı (µm) (Efektif Çap)

** Yapılan Atterberg Limit (Casagrande Yöntemiyle Likit Limit, Plastik Limit) deneyleri sonucu atık malzemenin non-plastik olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.1-c).

Çizelge 4.2 : B tipi numunesi için tane boyut dağılımı ve piknometre yöntemiyle hesaplanan atık malzemesinin yoğunluk değerleri

Fiziksel Özellikler	µm	Deney No	Yoğunluk (g/cm ³)
D₁₀*	3,5	1	1,51
D₃₀	13,5	2	1,48
D₅₀	30,4	3	1,47
D₆₀	50,5	4	1,48
D₉₀	200,8	5	1,51
		Ortalama	1,49

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{30}} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Tablo 4.1'deki değerlerden yararlanarak, Eşitlik 1 işlemi sonucunda A tipi atık malzemesinin üniformluk katsayısı (C_U) 6.57 olarak, Eşitlik 2 işlemi sonucunda ise A tipi atık malzemesinin eğrilik katsayısı (C_C) ise 1.17 olarak hesaplanmıştır. Tablo 4.2'deki değerler sonucunda Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 işlemleri sonucunda B tipi numunenin C_U değeri 4.3 ve C_C değeri ise 1,03 olarak hesaplanmıştır. İyi bir tane

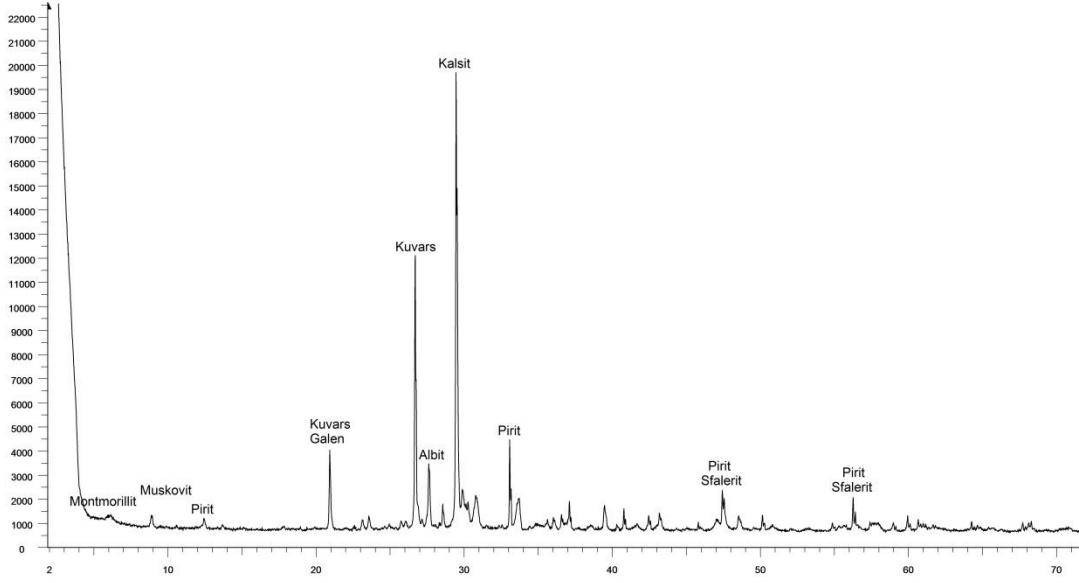
boyut dağılımına sahip dolgu malzemeleri için C_U değeri 4-7 aralığında, C_C değeri ise 1-3 aralığında bulunmalıdır. Bu değerler sonucunda atık malzemelerinin iyi derecelenmiş malzeme olduğu görülmektedir (Annor, 1999).

Çizelge 4.3 : Atık Malzemelerinin Kimyasal Özellikleri

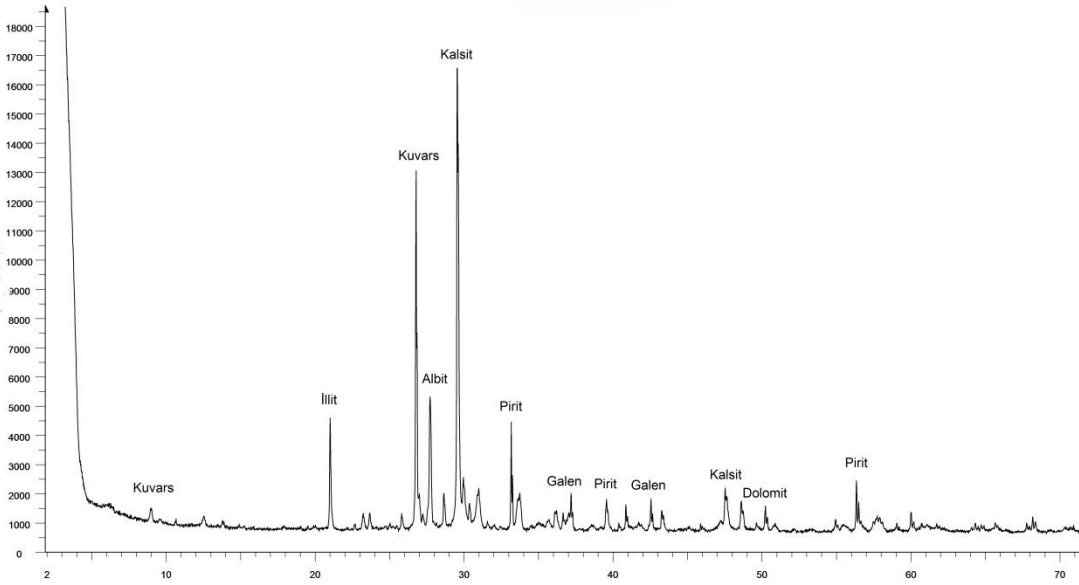
(A tipi)		(B tipi)	
Kimyasal Bileşim	(%)	Kimyasal Bileşim	(%)
SiO_2	33,11	SiO_2	38,27
Al_2O_3	6,88	Al_2O_3	6,30
Fe	7,13	Fe	9,10
CaO	24,85	CaO	24,28
MgO	2,82	MgO	3,64
TiO_2	0,26	TiO_2	0,24
Cr_2O_3	0,01	Cr_2O_3	0,01
Na_2O	0,30	Na_2O	0,64
K_2O	2,32	K_2O	2,31
MnO	0,48	MnO	0,52
P_2O_5	0,09	P_2O_5	0,09
S	8,45	S	3,56
Kızdırma Kaybı	11,00	Kızdırma Kaybı	11,04

2 farklı atık malzemesinin İstanbul Teknik Üniversitesi X-ışınları Laboratuvarı'nda Bruker D8 Advance marka XRD cihazı ile yapılan mineralojik analizlerine göre; A tipi atıkta Kalsit, Kuvars, Pirit ve Silikatlar olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar , XRF sonuçları ile karşılaştırılıp, değerlendirilmiştir. Aynı şekilde; B tipi atıkta da yine Kalsit, Kuvars, Pirit, ve Silikatlar bulunmaktadır. Bu değerlendirmelerin sonucunda atık kimyası Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. XRD deneyi sonucunda elde edilen pirit piki ve XRF deneyi sonucuna göre demir ve sülfür kimyasalları varlığı atık bünyesinde piritin olduğunu göstermektedir. XRD sonuçları Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmektedir.

Elde edilen XRF ve XRD sonuçları birbirleri ile kontrollü şekilde yapılmıştır. Elde edilen bu değerler yapılan birçok testin sonucunda ortaya çıkan değerlerin ortalaması niteliğindedir. İşletmeden laboratuvar bünyesine getirilen numunelerden her torba numune için birden fazla XRD ve XRF deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucunda A tipi ve B tipi numuneler belirlenmiştir.



Şekil 4.5 : A tipi atık malzemesinin XRD sonuçları ve mineralojik analizi



Şekil 4.6 : B tipi atık malzemesinin XRD sonuçları ve mineralojik analizi

4.2 Numune Karışımında Kullanılan Suyun Özellikleri

İşletme bünyesinde bulunan arıtma suyu (A) ve Balya ilçesinde bulunan Kadıköy deresi suyu (B) işletmede dolgu üretimi için kullanılan sulardır. İstanbul Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında yapılan deneylerde ise macun dolgu numunesi üretimi için Maden Fakültesi bünyesindeki musluk suyu (C) kullanılmıştır.



Şekil 4.7: a) Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi b) pH ölçer cihaz

Bu suların macun dolgu numunelerinde kullanılan çimentoya olumsuz etkilerinin olup-olmadığının araştırılması için, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeokimya Laboratuvarı'nda bulunan Perlik Elmer A Analyst 700 model Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (Flame modunda) ve WTW pH197_S pH ölçer ile bu üç farklı suyun kimyasal analizi yapılmıştır (Şekil 4.7).

4.2.1 Değerlendirme

Karışım suyunun kimyasal özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan deney sonuçları Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

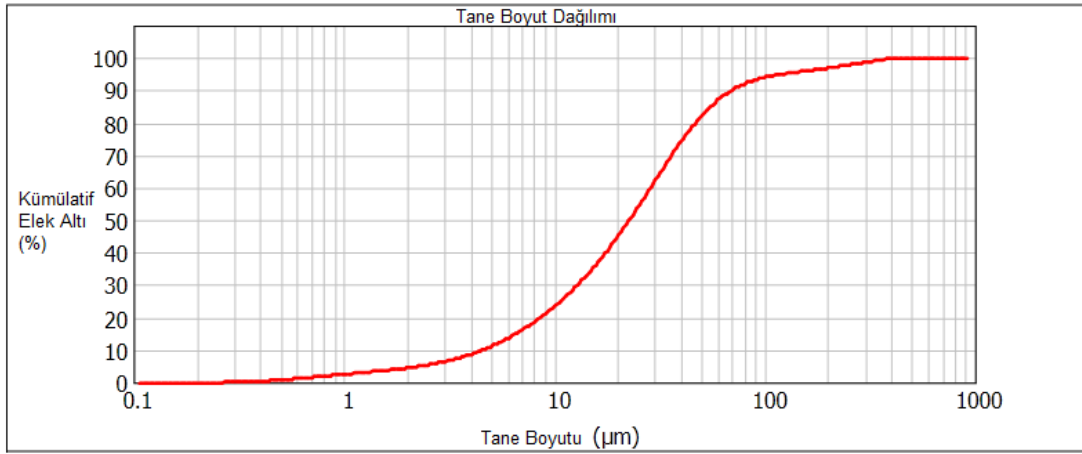
Çizelge 4.4 : Karışım Suyunun Kimyasal Özellikleri

	A (ppm)	B (ppm)	C (ppm)
Si	< 10	< 10	< 10
Fe	< 5	< 5	< 5
Na	54,95	50,3	23,4
K	29,75	26,9	2,91
Ca	588,2	618,1	47,9
Mg	0,014	0,028	7,4
Ph	11,4	10,8	7,9

Deney sonucu elde edilen verilere bakıldığında kullanılacak üç suyun çimento üzerinde kritik derecede olumsuz etkilerinin olmayacağı görülmüştür (Yalçın vd., 2006; Erdoğan, 1995). A ve B suyu işletme bünyesinde kullanılan sulardır. Macun dolgu uygulaması düşünüldüğünde her iki suyun kullanımında bir sakınca görülmemekle birlikte, üzerinde başka deneylerin de yapılması olasıdır.

4.3 Macun Dolgu Karışımında Kullanılan Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Macun dolgu karışımında Portland Çimento CEM I 42,5 N özelliğindeki işletme bünyesinde kullanılan çimento kullanılmıştır. Macun dolgu karışımında kullanılacak çimentonun fiziksel özelliklerini tayin etmek amacıyla İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan Malvern Mastersizer Hydro 2000 MU marka tane boyut dağılımı ölçüm cihazı ile gerçekleştirilen tane boyut dağılımı deneyleri sonucunda Şekil 4.8’teki tane boyut dağılımı grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.8: Karışım çimentosunun tane boyut dağılımı

Karşımda kullanılacak çimentonun kimyasal özellikleri İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya Laboratuvarları’nda bulunan Bruker S8 TIGER marka XRF cihazı (Şekil 4.2-a) ile Semi Kantitatif yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.5’te görülmektedir.

Çizelgeye bakıldığında Silisyum ve Kalsiyum oranlarının yüksekliği dikkat çekmekle birlikte, SO_3 miktarıda diğer oranlara nazaran fazlalık göstermektedir. İşletme bünyesinde kullanılan çimento Limak firmasına ait CEM I özelliğindeki çimentodur. İşletmede kullanılan çimento firmanın Balıkesir ve İzmir şubelerinden temin edilmektedir.

Çizelge 4.5 : Karışım çimentosunun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	(%)
SiO₂	17,05
Al₂O₃	4,14
Fe	2,88
CaO	63,36
MgO	1,29
TiO₂	0,21
Cr₂O₃	0,01
Na₂O	0,40
K₂O	1,11
MnO	0,04
P₂O₅	0,08
SO₃	10,12
Kızdırma Kaybı	4,69

4.4 Macun Dolgu Karışım Reçetelerinin Oluşturulması

Tez kapsamında macun dolgu numunesi hazırlama işlemi için 2 farklı atık, %2-8 oranlarında çimento ve 6 - 8 inç slump elde edilecek su ile karıştırılıp, 7 – 14 – 28 – 42 – 56 günlük kür sürelerinde beklemeye tabi tutulmuştur (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 : Macun dolgu karışım reçeteleri

Atık (%)	Çimento (%)	Su (%)	Slamp (inç)	Su/Çimento	Katı Oranı(%)
78,00	2,00	20,00	6,00	10,00	80,00
77,25	2,00	20,75	7,00	10,38	79,25
76,50	2,00	21,50	8,00	10,75	78,50
76,00	4,00	20,00	6,00	5,00	80,00
75,25	4,00	20,75	7,00	5,19	79,25
74,50	4,00	21,50	8,00	5,38	78,50
74,00	6,00	20,00	6,00	3,33	80,00
73,25	6,00	20,75	7,00	3,46	79,25
72,50	6,00	21,50	8,00	3,58	78,50
72,00	8,00	20,00	6,00	2,50	80,00
71,25	8,00	20,75	7,00	2,59	79,25
70,50	8,00	21,50	8,00	2,69	78,50

Macun dolgu numuneleri Şekil 4.9’da görüldüğü gibi 100 mm çap ve 200 mm boy olmak üzere hazırlanmıştır.



Şekil 4.9: Numune boyu ölçümü

4.5 Macun Dolgunun Mekanik Özelliklerinin Tayini

4.5.1 Teorik bilgiler

Cevher hazırlama tesisi atıklarının macun dolgu olarak kullanılabilirliğinin tayini için hazırlanan numunelerin bazı deneylere tabii tutulması gerekmektedir. Tek eksenli basınç dayanımı testi numune dayanımının tespiti için yapılan en temel testtir. Yapılan çalışmalara göre, dolgu dayanımının %95’i 28 günlük kür süresi sonunda kazanılmaktadır (Potvin vd., 2005). Bununla birlikte, dolgunun yeraltına yerleştirilebilmesi için 7 günlük dayanımının en az 0,15 MPa olması gerekmektedir. Been vd. (2002) tarafından yapılan dolgunun erken sivilaşması ile ilgili çalışmaya göre 7 günlük kür süresi sonunda dayanımı 0,15 MPa dan düşük dolguların erken sivilaşma problemi yaşadıkları ve dolgu barikatında hasar oluşturma ihtimalini arttırdığı belirtilmiştir. 28 günlük kür süresi sonucunda dolgu kullanım amaçlarına göre dolgu dayanımlarının 0,7 – 4 MPa arasında değişmesi istenmektedir. Özellikle dolgunun taban olarak kullanıldığı, işçilerin ve iş makinalarının dolgu üzerinde çalıştığı madenlerde dolgu dayanımının 4 MPa seviyelerinde olması istenmektedir (Grice, 1998).

4.5.2 Karışımlar ve numune hazırlama

İşletmeden Üniversite laboratuvarlarına getirilen atıkların nem oranlarının farklılık gösterdiği tespit edilmiş ve hazırlanacak numunedeki su oranının iyi şekilde

ayarlanabilmesi için deney öncesi atıklar etüvde (Şekil 4.10-a) 105°C sıcaklıkta 24 saat kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 4.10: a) Etüv b) 60 lt kapasiteli planet mikser

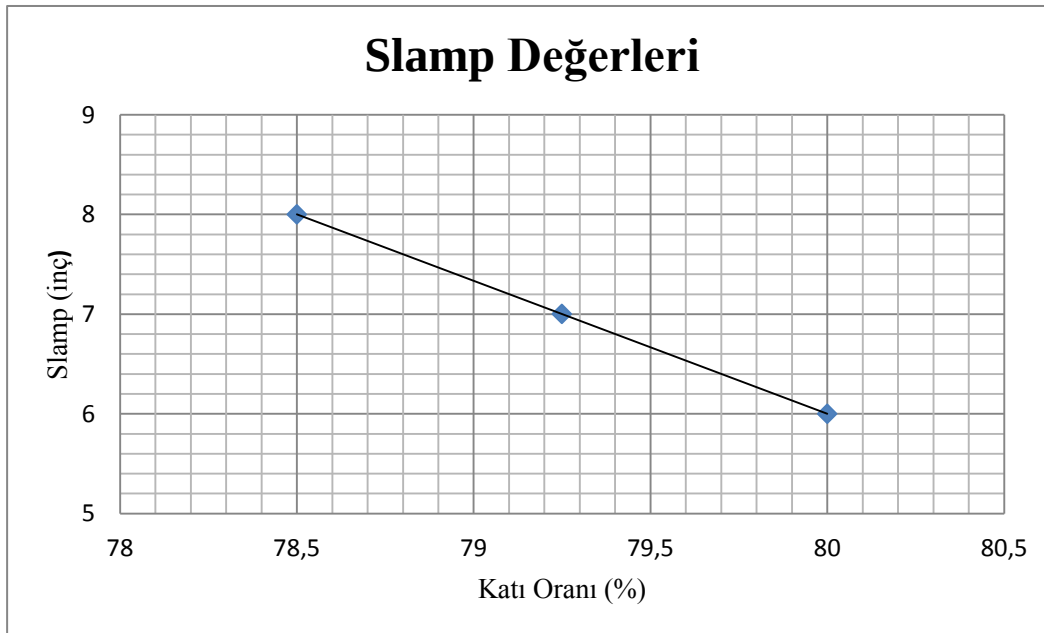
Tamamen kuru olan atığa, Tablo 4.6’da görülen oranlarda çimento ve su ilave edilip, 60 lt kapasiteli planet mikserde (Şekil 4.7-b) 75 devir/dk dönme hızında 15 dk süreyle karıştırılıp homojen bir karışım elde edilmiştir. Her seferinde 5 adet numune kabı doldurulmuştur. Her seferinde 1 yada 2 numune kabı doldurulması daha homojen numuneler elde edilmesini sağlayacakken, işletmelerde çok büyük miktarlarda macun dolgu üretileceğinden labarotuvan sonuçlarının yerinde sonuçlara daha yakın çıkması hedeflenmiştir.

Macun dolgu karışımının reolojik özelliklerini tayin etmek için planet mikserden alınan her numune (75 devir/dk da 15 dk karıştırıldıktan sonra), numune kabına doldurulmadan önce slump testine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.11: Slamp ekipmanları ve yüksek slampli karışım

Slamp tayini için standart 12 inç slamp konisi ve şişleme çubuğu kullanılmıştır (Şekil 4.11). İlk olarak slamp konisinin yaklaşık üçte biri doldurulmuş ve şişleme çubuğuyla tüm yüzeye etki edecek şekilde en az 25 kez şişleme işlemi yapılmıştır. Daha sonra slamp konisinin üçte ikilik kısmı doldurulmuş ve aynı şekilde şişleme işlemi tekrarlanmıştır. Son olarak slamp konisinin tamamı doldurulmuş ve şişleme yapıldıktan sonra fazla malzeme mala yardımıyla koninin üzerinden alınmış ve slamp konisi yanında bulunan tutacaklar yardımıyla kaldırılarak malzeme dikkatlice boşaltılmıştır. Slamp konisi malzemenin bulunduğu slamp tepsisine yerleştirilerek üzerine şişleme çubuğu koyulmuş, metal cetvel yardımıyla şişleme çubuğunun alt kısmı ile malzemenin üst kısmının arasındaki mesafe 3 farklı noktadan ölçüm alınıp, ortalaması hesaplanarak karışımın slamp değeri saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Şekil 4.9 elde edilmiştir. Şekil 4.12’den de görüleceği gibi karışımdaki katı oranı arttıkça slamp değeri azalmaktadır.



Şekil 4.12: Macun dolgu karışımlarının katı oranı - slamp değişimi grafiği

Planet mikser yardımıyla hazırlanan homojen karışımlar, TS EN 12390-1 Standartına uygun 10 cm çapında ve 20 cm yüksekliğinde poliüretan malzemeden yapılmış drenajlı silindirik numune kalıplarına dökülmüştür (Şekil 4.13). Numune dökmeden önce numunenin kaplardan kolayca çıkarılması için tüm iç yüzeyi iyice yağlanmıştır.



Şekil 4.13 : Numune kapları

Karışımın numune kaplarına doldurulma işlemi slamp konisi doldurma işlemi ile aynı şekilde yapılmıştır. Öncelikle kabın üçte birlik kısmı karışım ile doldurulmuş ve şişleme işlemi yapılmış, daha sonra üçte ikilik kısım doldurulmuş ve şişleme işlemi tekrarlanmış, son olarak kabın tamamı doldurulmuş ve şişleme işleminden sonra kap yüzeyi spatula yardımıyla düzeltilmiş ve fazla olan karışım alınmıştır. Her iki atık için toplam 400 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Çizelge 4.7’de ayrıntılı olarak görülmektedir. Numune kodlarının tanımlamaları Çizelge 4.8 ve Tablo 4.9’da görülmektedir. Çeşitli çimento oranlarında ve slamp değerlerinde 340 adet numune hazırlanmıştır. Ayrıca 60 adet numune çimentosuz olarak hazırlanmış, 28 gün sonunda numune kabında çıkartılmış, 42 günlük kür süresi sonunda deney yapılması düşünülmektedir, fakat bu numuneler tez kapsamına alınmamıştır. Ayrıca 60 adet 90 gün kür süresi sonucunda tek eksenli basınç dayanımı yapılacak numuneler de hazırlanmış, ama bu numuneler de tez kapsamına alınmamıştır.

Çizelge 4.7 : Tez kapsamında hazırlanan numune sayıları

Kür Süreleri (gün)	A Atığı				B Atığı			
	%2 çimento	%4 çimento	%6 çimento	%8 çimento	%2 çimento	%4 çimento	%6 çimento	%8 çimento
7	-	15	15	10	15	10	10	5
14	-	15	15	10	15	-	-	5
28	-	15	15	10	15	10	10	5
42	-	15	15	10	15	-	-	5
56	-	15	15	10	15	-	-	5

Çizelge 4.8 : Numune tanımlamaları

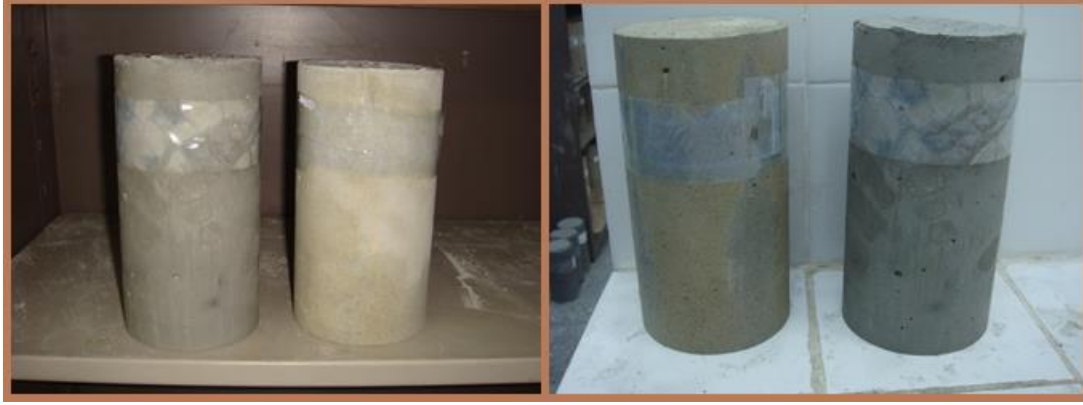
Reçete No.	Numune Adı	Açıklama
1-B	EMD.01.07.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 6 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.01.14.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 6 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.01.28.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 6 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.01.42.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 6 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.01.56.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 6 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune
2-B	EMD.02.07.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 7 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.02.14.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 7 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.02.28.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 7 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.02.42.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 7 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.02.56.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 7 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune
3-B	EMD.03.07.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 8 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.03.14.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 8 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.03.28.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 8 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.03.42.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 8 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.03.56.01	Esan Macun Dolgu %2 Çimento, 8 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune
4	EMD.04.07.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 6 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.04.14.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 6 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.04.28.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 6 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.04.42.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 6 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.04.56.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 6 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune
4-B	EMD.04.07.01-B	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 6 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.04.28.01-B	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 6 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
5	EMD.05.07.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 7 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.05.14.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 7 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.05.28.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 7 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.05.42.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 7 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.05.56.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 7 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune
6	EMD.06.07.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 8 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.06.14.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 8 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.06.28.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 8 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.06.42.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 8 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.06.56.01	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 8 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune
6-B	EMD.06.07.01-B	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 8 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.06.28.01-B	Esan Macun Dolgu %4 Çimento, 8 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune

Çizelge 4.9: Numune tanımlama

Reçete No.	Numune Adı	Açıklama
7	EMD.07.07.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 6 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.07.14.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 6 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.07.28.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 6 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.07.42.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 6 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.07.56.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 6 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune
7-B	EMD.07.07.01-B	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 6 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.07.28.01-B	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 6 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
8	EMD.08.07.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 7 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.08.14.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 7 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.08.28.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 7 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.08.42.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 7 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.08.56.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 7 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune
9	EMD.09.07.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 8 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.09.14.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 8 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.09.28.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 8 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.09.42.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 8 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.09.56.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 8 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune
9-B	EMD.09.07.01-B	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 8 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.09.28.01-B	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 8 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
10-B	EMD.10.07.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 6 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.10.14.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 6 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.10.28.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 6 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.10.42.01	Esan Macun Dolgu %6 Çimento, 6 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.10.56.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 6 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune
11	EMD.11.07.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 7 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.11.14.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 7 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.11.28.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 7 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.11.42.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 7 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.11.56.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 7 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune
12	EMD.12.07.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 8 inç slamp, 7 gün kür süreli birinci numune
	EMD.12.14.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 8 inç slamp, 14 gün kür süreli birinci numune
	EMD.12.28.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 8 inç slamp, 28 gün kür süreli birinci numune
	EMD.12.42.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 8 inç slamp, 42 gün kür süreli birinci numune
	EMD.12.56.01	Esan Macun Dolgu %8 Çimento, 8 inç slamp, 56 gün kür süreli birinci numune

Yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyleri sonucunda, B atığı ile hazırlanmış olan numunelerin, A atığı ile hazırlanmış olan numunelere göre dayanımlarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle %2'lik karışımlar sadece B atığı ile

hazırlanmıştır. Ayrıca A atığı ve B atığının karşılaştırılması (Şekil 4.14) için 7 ve 28 günlük kür sürelerinin yeterli olduğu düşünülmüş ve bu nedenle B atığından %4 ve %6 çimento oranlarında 14 – 42 ve 56 günlük numuneler hazırlanmamıştır. Hazırlanan numunelerin bir hafta sonucunda drenaj suyunu kaybettiği saptanmış ve bir hafta sonunda numuneler kaplarında çıkartılarak deney için kür sürelerinin beklenilmesine devam edilmiştir.



Şekil 4.14: A (Sarı tonlarında) ve B (Gri tonlarında) atıklarından oluşan numunelerin görüntüleri

Numune kabından çıkartılan numunelerin üst kısımlarının düz olmaması nedeniyle üst yüzeyleri düzleştirmek ve uygulanacak yükün numunelerin tüm yüzeyine eşit oranda yayılması için deney öncesi numunelere kükürt-grafit başlığı yapılmıştır. Başlıkların ortalama kalınlıkları 3,5 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.15).

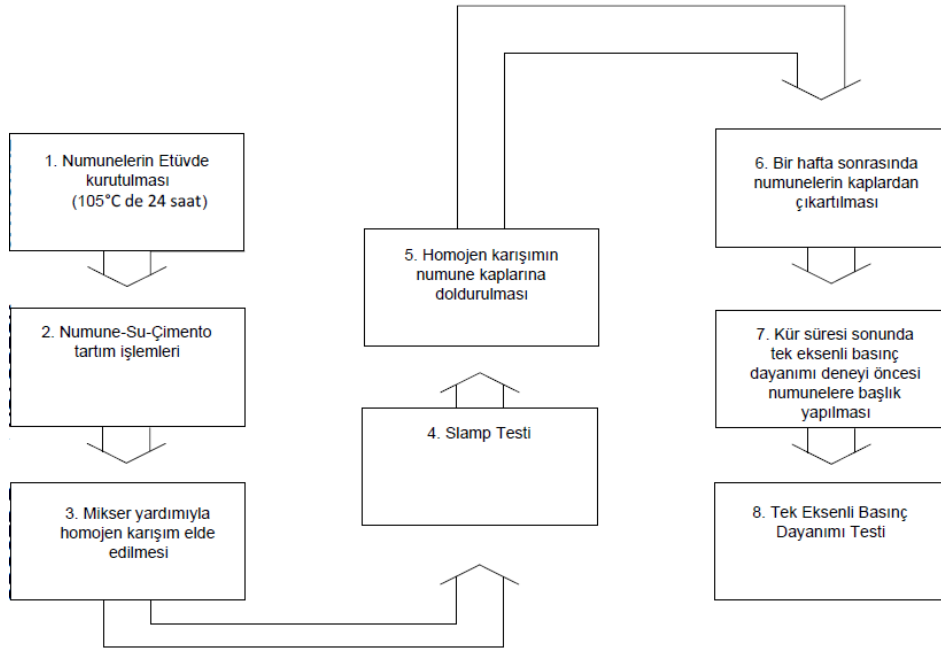


Şekil 4.15 : Başlık kalınlığı

Başlık yapılması için eritme potası ve tabla kullanılmıştır. Kütlece %70 kükürt ve %30 grafit karışımından oluşan başlık malzemesi eritme potasında 150°C da erimeye tabi tutulur. Eriyen karışım metal kepçe yardımıyla yağlanmış olan tablaya dökülür ve numune üzerine tablanın çubuklarına (yanal klavuzlara) temas edecek şekilde tabla üzerine bırakılır (Şekil 4.16). Aynı işlem numunenin taban kısmına da uygulanmalıdır. Yapılan çalışmalar Şekil 4.17’de özetlenmiştir.



Şekil 4.16: a) Eritme potası b) Başlıklama işlemi



Şekil 4.17: Numune hazırlama ve deneysel çalışmalar

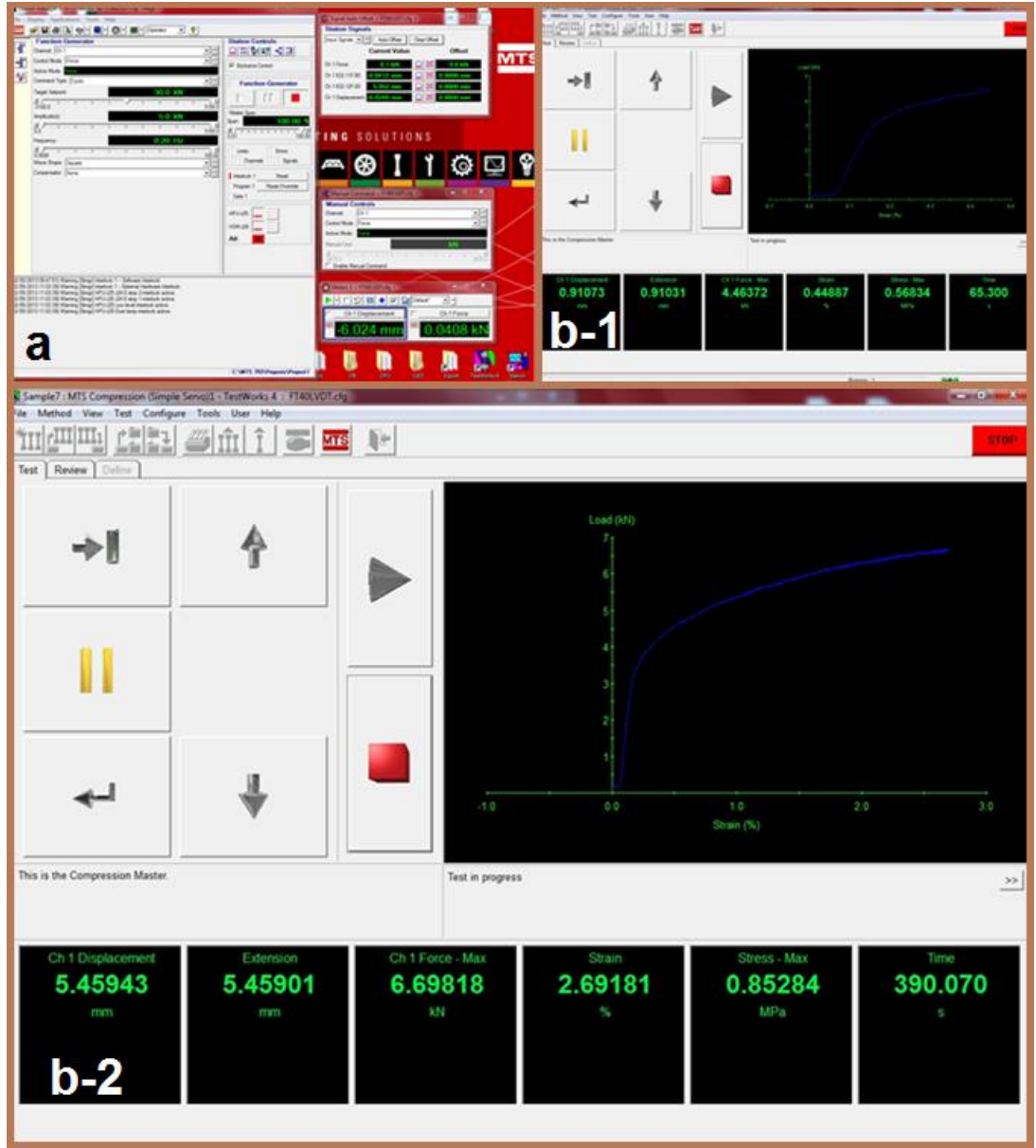
4.5.3 Deneysel Çalışmalar

İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında hazırlanan macun dolgu numunelerinin mekanik performansının belirlenmesi amacıyla Maden Mühendisliği Bölümü'nün Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda Katı Yükleme Cihazı ile Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyleri yapılmıştır (Şekil 4.18). 340 adet numuneye yapılan testler sonucunda herbir numuneye ait dayanım özellikleri ve elastik modülleri belirlenmiştir.



Şekil 4.18: İki farklı açıdan katı yükleme cihazı görünümü

Katı Yükleme Cihazı, İTÜ NATO Projesi kapsamında 1995 yılında alınmış olup, SBEL firması tarafından üretilmiştir. Bu cihaz, dayanım özellikleri ve kırılmadan sonraki deformasyon karakteristiklerinin test edilmesinde, elastisite modülü ve poisson oranının belirlenmesinde kullanılan elektro-hidrolik bir cihazdır. Cihaz kontrolünde kullanılan program MTS firması tarafından geliştirilmiş olan Test Work 4 adlı FlexTest 40 veri toplayıcı ile birlikte çalışan bir programdır. Şekil 4.19'da Katı Yükleme Cihazının ayarlama paneli ve TestWork 4 programı görülmektedir.



Şekil 4.19: a) Katı yükleme cihazı ayarlama paneli b) Test Work 4 görünümü



Şekil 4.20: a) Deney öncesi b) Deney sonrası

4.5.4 Deneyisel Çalışma Sonuçları Özeti

Yapılan tek eksenli basınç dayanımı deneyleri sonuçları ve elde edilen elastik modüller Tablo 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14’te görülmektedir.

Tablo 4.10: 7 günlük kür süresi sonucu katı yükleme cihazı deney verileri

Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa	Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa
1-B	1	384,03	2,65	0,34	2-B	1	106,48	3,33	0,42
	2	309,47	2,99	0,38					
	3	175,85	2,67	0,34		2	248,05	3,56	0,45
	4	73,51	2,49	0,32					
	5	140,00	2,57	0,33		3	312,32	3,28	0,42
	Ort	216,57	2,67	0,34		Ort	222,28	3,39	0,43
3-B	1	415,00	2,73	0,35	4	1	88,56	1,53	0,19
	2	22,42	2,58	0,33		2	1238,32	1,29	0,16
	3	615,97	2,87	0,37		3	618,26	0,95	0,12
	4	291,01	2,77	0,35		4	324,62	1,64	0,21
						5	378,08	1,25	0,16
	Ort	336,10	2,74	0,35		Ort	529,57	1,33	0,17
4-B	1	380,63	6,73	0,86	5	1	367,95	2,10	0,27
	2	573,86	6,79	0,86		2	2103,74	1,26	0,16
	3	450,27	6,73	0,86		3	318,81	1,74	0,22
	4	451,46	6,93	0,88		4	1069,62	1,30	0,17
	5	355,36	6,82	0,87		5	348,00	1,34	0,17
	Ort	442,32	6,80	0,87		Ort	841,62	1,55	0,20
6	1	264,36	1,53	0,20	6-B	1	391,15	5,04	0,64
	2	280,10	1,51	0,19		2	735,41	4,99	0,64
	3	408,54	1,16	0,15		3	332,09	4,83	0,62
	4	440,14	1,51	0,19		4	567,69	5,19	0,66
	5	795,63	1,53	0,20		5	290,38	5,06	0,64
	Ort	437,75	1,45	0,18		Ort	463,34	5,02	0,64

Tablo 4.10’da 8 farklı reçeteye sahip macun dolgu numunelerinin 7 günlük kür süresi sonucunda gerçekleştirilen tek eksenli basınç dayanımı ve elastik modül tayini deneyi sonuçları yer almaktadır. Bazı numuneler deney sırasında zarar gördükleri için teze dahil edilmemiştir.

Tablo 4.10. Devam

Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa	Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa
7	1	714,58	6,86	0,87	7-B	1	572,92	7,30	0,93
	2	483,33	3,21	0,41		2	876,49	9,70	1,24
	3	821,14	6,28	0,80		3	937,09	8,83	1,12
	4	430,82	2,43	0,31		4	658,04	8,72	1,11
	5	517,80	5,27	0,67		5	1260,98	8,26	1,05
	Ort	593,53	4,81	0,61		Ort	861,10	8,56	1,09
8	1	634,13	3,29	0,42	9	1	506,06	5,40	0,69
	2	817,35	3,46	0,44		2	822,74	4,67	0,60
	3	721,84	3,50	0,45		3	1285,58	4,01	0,51
	4	347,08	3,26	0,41		4	600,49	4,47	0,57
	5	343,26	2,94	0,37		5	544,99	5,51	0,70
	Ort	572,73	3,29	0,42		Ort	751,97	4,81	0,61
9-B	1	631,32	8,57	1,09	10-B	1	1670,28	14,47	1,84
	2	820,84	8,40	1,07		2	1808,90	15,45	1,97
	3	551,13	8,15	1,04		3	1537,84	14,48	1,84
	4	826,15	8,40	1,07		4	814,82	9,12	1,16
	5	591,10	8,47	1,08		5	1155,83	13,57	1,73
	Ort	684,11	8,40	1,07		Ort	1397,54	13,42	1,71
11	1	922,73	10,16	1,29	12	1	666,84	11,10	1,41
	2	897,23	10,32	1,31		2	1152,52	12,34	1,57
	3	1768,05	11,22	1,43		3	982,93	11,55	1,47
	4	1327,37	12,01	1,53		4	1117,72	11,70	1,49
	5	1126,94	10,90	1,39		5	609,53	11,59	1,48
	Ort	1208,46	10,92	1,39		Ort	905,91	11,66	1,48

Tablo 4.10'un devamında ise diğer 8 farklı reçetenin yine 7 günlük kür süresi sonucunda elde edilen değerlere yer verilmiştir. Tablo 4.10 değerlendirildiğinde en uygun reçetenin 10. reçete (%8 çimento oranı, 6 inç slamp değeri, B atığı ile hazırlanmış örnek) olduğu görülmektedir. Elde edilen veriler sonucunda istenen dayanım özelliklerine göre tüm reçetelerin macun dolgu olarak kullanılabileceği görülmektedir. 7 günlük kür süresi sonucunda elde edilen verilere göre tüm reçetelerin 0,15 MPa dan fazla olduğu görülmektedir. Bu değer macun dolgu uygulaması için kritik değerdir. 0,15 MPa altında olan atıklar macun dolgu olarak kullanılmamalıdır.

Tablo 4.11: 14 günlük kür süresi sonucu katı yükleme cihazı deney verileri

Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa	Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa
1-B	1	294,96	3,23	0,41	2-B	1	513,45	4,43	0,56
	2	200,00	3,27	0,42					
	3	295,99	3,73	0,47		2	1196,64	4,38	0,56
	4	319,40	3,79	0,48					
	5	439,61	4,29	0,55		3	559,36	4,38	0,56
	Ort	309,99	3,66	0,47		Ort	756,49	4,40	0,56
3-B	1	429,36	3,33	0,42	4	1	154,46	2,94	0,37
	2	1148,01	3,98	0,51		2	136,44	2,47	0,31
	3	371,93	3,41	0,43		3	451,19	2,52	0,32
	4	969,03	3,98	0,51		4	150,40	2,39	0,30
	5	866,90	4,13	0,53		5	461,68	1,93	0,25
	Ort	757,05	3,77	0,48		Ort	270,84	2,45	0,31
5	1	356,43	3,55	0,45	6	1	255,00	2,79	0,35
	2	480,94	3,76	0,48		2	1282,08	2,14	0,27
	3	393,52	4,26	0,54		3	217,64	1,91	0,24
	4	284,13	3,86	0,49		4	1707,11	2,30	0,29
	5	324,62	3,62	0,46		5	413,15	1,67	0,21
	Ort	367,93	3,81	0,49		Ort	775,00	2,16	0,28
7	1	1243,38	10,93	1,39	8	1	1010,56	8,14	1,04
	2	871,28	11,48	1,46		2	733,37	7,91	1,01
	3	1412,74	8,89	1,13		3	1034,80	8,38	1,07
	4	1259,47	10,11	1,29		4	977,60	8,10	1,03
						5	485,73	7,55	0,96
	Ort	1196,72	10,35	1,32		Ort	848,41	8,02	1,02
9	1	557,31	7,81	0,99	10-B	1	2444,36	22,48	2,86
	2	527,68	5,64	0,72		2	1448,49	22,94	2,92
	3	663,05	6,16	0,78		3	1131,26	21,90	2,79
	4	925,65	8,45	1,08		4	1166,02	20,15	2,57
						5	1210,45	22,21	2,83
	Ort	668,42	7,02	0,89		Ort	1480,12	21,94	2,79
11	1	898,97	15,70	2,00	12	1	738,99	12,99	1,65
	2	553,54	14,32	1,82		2	1127,26	12,86	1,64
	3	929,01	18,22	2,32		3	1988,85	18,70	2,38
	4	878,92	15,04	1,92		4	3155,47	15,59	1,98
	5	841,08	16,63	2,12		5	1689,61	16,11	2,05
	Ort	820,30	15,98	2,03		Ort	1740,04	15,25	1,94

Tablo 4.12: 28 günlük kür süresi sonucu katı yükleme cihazı deney verileri

Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa	Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa
1-B	1	272,75	3,69	0,47	2-B	1	1056,75	5,24	0,67
	2	130,99	3,13	0,40		2	325,96	5,05	0,64
	3	262,09	5,03	0,64		3	333,95	4,78	0,61
	4	298,74	4,79	0,61		4	799,58	4,35	0,55
	Ort	241,14	4,16	0,53		Ort	629,06	4,85	0,62
3-B	1	316,13	4,13	0,53	4	1	295,15	5,58	0,71
	2	192,64	3,12	0,40		2	302,51	4,95	0,63
	3	442,06	4,81	0,61		3	225,56	5,20	0,66
	4	253,38	4,10	0,52		4	333,43	5,40	0,69
	Ort	301,05	4,04	0,51		Ort	289,16	5,29	0,67
4-B	1	2209,39	11,91	1,52	5	1	482,45	7,75	0,99
	2	1741,44	10,60	1,35		2	620,97	7,23	0,92
	3	788,55	11,66	1,48		3	639,53	9,22	1,17
	4	1080,35	11,30	1,44		4	449,16	7,01	0,89
	5	565,30	11,16	1,42		5	340,71	5,55	0,71
	Ort	1277,01	11,33	1,44		Ort	506,56	7,35	0,94
6	1	833,42	4,91	0,63	6-B	1	642,01	10,49	1,34
	2	423,91	6,60	0,84		2	915,58	10,04	1,28
	3	300,52	5,08	0,65		3	602,71	9,89	1,26
	4	260,69	4,35	0,55		4	879,28	10,40	1,32
	5	481,83	5,82	0,74					
	Ort	460,07	5,35	0,68		Ort	759,89	10,20	1,30

28 günlük kür süresi, 7 günlük kür süresi gibi kritik değerlere sahiptir. Özellikle Balya Madeni’nde olduğu gibi dolgu üzerinde işçilerin çalıştığı ve makinaların bulunduğu işletmelerde yapılan çalışmalara göre istenen değer 4 MPa ve civarındaki değerlerdir. Yapılan deneyler sonucundaki değerlendirmelere göre en uygun reçetenin tekrar 10. reçete olduğu görülmüştür. Yapılan tüm deneyler sonucunda tezden istenen – beklenen sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar içinde göze çarpan diğer bir nokta ise B tipi atık ile yapılan numunelerin dayanımlarının A tipi atık ile yapılan numunelerin dayanımlarında fazla olduğudur.

Tablo 4.12. Devam

Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa	Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa
7	1	1065,02	17,34	2,21	7-B	1	1580,46	20,13	2,56
	2	1117,15	15,25	1,94		2	770,24	19,39	2,47
	3	807,48	10,76	1,37		3	1301,37	19,24	2,45
	4	703,37	9,59	1,22		4	1970,56	19,66	2,50
	5	1262,61	16,90	2,15		5	925,28	18,72	2,38
	Ort	991,13	13,97	1,78		Ort	1309,58	19,43	2,47
8	1	1165,74	14,76	1,88	9	1	1049,49	14,65	1,87
	2	940,93	15,09	1,92		2	1019,69	11,94	1,52
	3	1045,15	16,06	2,04		3	1624,64	12,42	1,58
	4	1124,63	19,67	2,50		4	835,50	11,83	1,51
						5	1841,81	13,84	1,76
	Ort	1069,11	16,40	2,09		Ort	1274,23	12,93	1,65
9-B	1	649,27	14,28	1,82	10-B	1	1798,90	31,35	3,99
	2	604,44	13,76	1,75					
	3	600,05	13,81	1,76		2	1380,11	25,60	3,26
	4	733,00	13,55	1,73					
						3	1893,58	33,08	4,21
	Ort	646,69	13,85	1,76		Ort	1690,87	30,01	3,82
11	1	1414,60	19,18	2,44	12	1	1031,02	20,65	2,63
	2	1537,08	12,26	1,56		2	1325,91	21,78	2,77
	3	1468,01	17,37	2,21		3	1269,34	23,79	3,03
	4	1191,24	15,43	1,96		4	1297,39	22,00	2,80
	5	1992,23	18,41	2,34		5	1556,11	24,83	3,16
	Ort	1520,63	16,53	2,10		Ort	1295,95	22,61	2,88

En çarpıcı nokta ise B tipi atıklar ile hazırlanan numunelerin dayanımlarının kendilerine oranla daha fazla çimento oranına sahip olan A tipi atıkla hazırlanan numunelere göre daha fazla olduğunun görülmesidir.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerle çizilen grafiklere göre, iki tip atıkta kırılma anından sonra dayanımlarını tam olarak kaybetmeyip, yük almaya devam edebiliyorlar. Bu iki tip atıkla hazırlanan macun dolgu uygulamasının madencilik faaliyetleri açısından daha emniyetli bir görüntü elde etmesini sağladığı görülmektedir.

Tablo 4.13: 42 günlük kür süresi sonucu katı yükleme cihazı deney verileri

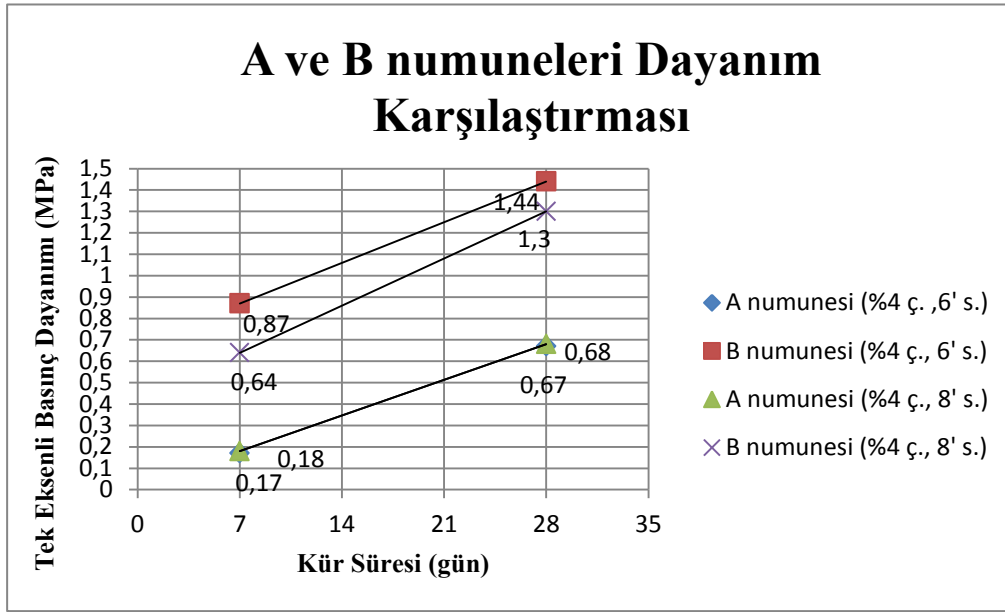
Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa	Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa
1-B	1	183,15	5,07	0,65	2-B	1	180,48	5,02	0,64
	2	166,09	3,74	0,48					
	3	145,03	4,09	0,52		2	239,04	4,79	0,61
	4	191,93	4,54	0,58					
	5	177,42	4,28	0,54		3	307,53	4,76	0,61
	Ort	172,72	4,34	0,55		Ort	242,35	4,85	0,62
3-B	1	134,06	4,22	0,54	4	1	177,75	4,23	0,54
	2	296,34	4,87	0,62		2	276,50	5,28	0,67
	3	128,36	3,37	0,43		3	133,62	3,84	0,49
	4	197,27	4,58	0,58		4	326,78	4,21	0,54
	5	308,53	4,32	0,55		5	339,83	4,09	0,52
	Ort	212,91	4,27	0,54		Ort	250,89	4,33	0,55
5	1	746,69	6,31	0,80	6	1	241,57	5,69	0,72
	2	272,86	5,87	0,75		2	303,25	6,57	0,84
	3	367,26	5,62	0,72		3	429,15	7,01	0,89
	4	437,34	10,11	1,29		4	296,76	6,40	0,81
	5	777,41	7,97	1,02		5	298,16	5,49	0,70
	Ort	520,31	7,18	0,91		Ort	313,78	6,23	0,79
7	1	964,93	16,14	2,06	8	1	1843,38	22,60	2,88
	2	650,49	9,95	1,27		2	2113,78	18,49	2,35
	3	987,22	13,46	1,71		3	2546,15	22,37	2,85
	4	780,21	13,82	1,76		4	1637,98	21,73	2,77
	5	927,52	14,25	1,81					
	Ort	862,07	13,52	1,72		Ort	2035,32	21,30	2,71
9	1	1102,87	12,04	1,53	10-B	1	1846,84	30,19	3,84
	2	711,44	11,25	1,43		2	2124,61	27,74	3,53
	3	1665,22	18,37	2,34		3	3973,44	36,66	4,67
	4	591,95	10,05	1,28		4	4934,44	38,11	4,85
	5	587,20	9,94	1,27		5	2248,72	36,59	4,66
	Ort	931,73	12,33	1,57		Ort	3025,61	33,86	4,31
11	1	1338,85	19,43	2,47	12	1	1385,88	23,10	2,94
	2	1853,11	22,87	2,91		2	2738,54	30,43	3,87
	3	1329,63	17,86	2,27		3	1426,55	23,75	3,02
	4	3039,09	24,38	3,10		4	1566,17	32,74	4,17
	5	1083,68	18,72	2,38		5	1711,60	24,13	3,07
	Ort	1728,87	20,65	2,63		Ort	1765,75	26,83	3,42

Tablo 4.14: 56 günlük kür süresi sonucu katı yükleme cihazı deney verileri

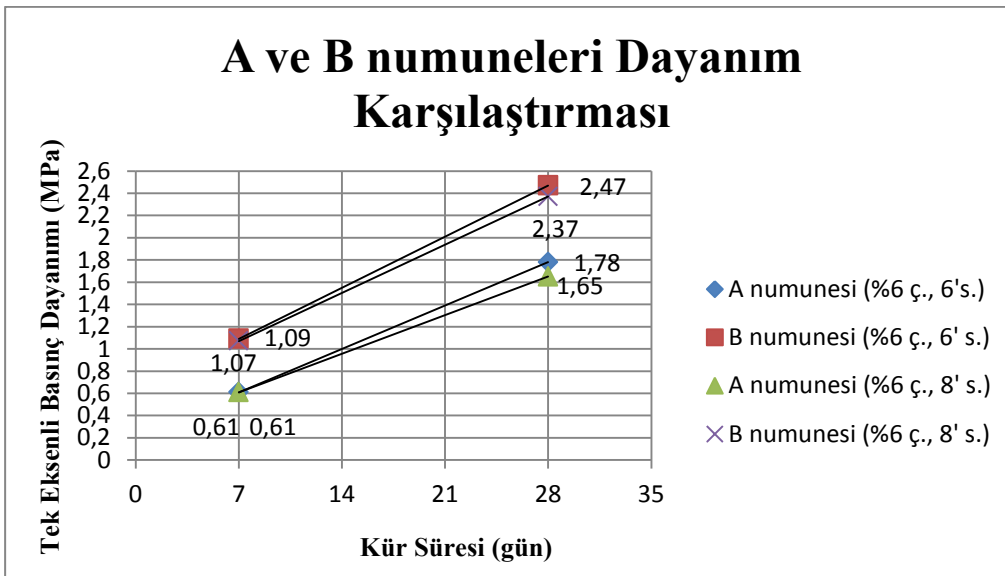
Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa	Reçete No	Numune No	Elastik Modül MPa	Maks. Yük kN	Maks. Gerilme MPa
1-B	1	298,45	3,32	0,42	2-B	1	312,40	4,87	0,62
	2	160,01	3,38	0,43		2	331,90	6,20	0,79
	3	185,24	3,91	0,50		3	369,80	5,70	0,73
	4	198,01	3,91	0,50		4	543,56	6,16	0,78
	5	124,28	2,77	0,35					
	Ort	193,21	3,46	0,44		Ort	389,41	5,73	0,72
3-B	1	1155,28	4,13	0,53	4	1	260,16	5,31	0,68
	2	209,10	4,96	0,63		2	300,95	5,43	0,69
	3	249,58	4,77	0,61		3	344,91	6,04	0,77
	4	172,25	2,92	0,37		4	270,58	5,46	0,69
	5	264,49	5,52	0,70		5	424,93	5,85	0,75
	Ort	410,14	4,46	0,57		Ort	320,31	5,62	0,72
5	1	196,82	6,06	0,77	6	1	360,83	7,32	0,93
	2	288,63	7,92	1,01		2	490,11	8,17	1,04
	3	320,23	7,98	1,02		3	1051,21	7,98	1,02
	4	691,14	9,62	1,22		4	478,54	7,80	0,99
	5	444,93	11,07	1,41		5	417,95	8,02	1,02
	Ort	388,35	8,53	1,09		Ort	559,73	7,86	1,00
7	1	3567,19	19,98	2,54	8	1	1034,71	20,31	2,59
	2	773,98	18,61	2,37		2	1268,63	19,74	2,51
	3	522,39	11,73	1,49		3	1084,42	19,60	2,50
	4	1468,65	20,49	2,61		4	1860,55	20,54	2,62
	5	806,64	20,00	2,55		5	1387,50	19,66	2,50
	Ort	1427,77	18,16	2,31		Ort	1327,16	19,97	2,54
9	1	549,48	12,92	1,64	10-B	1	2716,62	38,12	4,85
	2	582,88	15,25	1,94		2	4381,66	36,15	4,60
	3	513,35	11,94	1,52		3	1842,49	30,11	3,83
	4	952,75	12,77	1,63		4	2508,71	29,49	3,75
	5	964,29	14,21	1,81		5	3285,61	40,74	5,19
	Ort	712,55	13,42	1,71		Ort	2947,02	34,92	4,45
11	1	1598,25	23,30	2,97	12	1	1517,08	27,82	3,54
	2	1234,27	22,70	2,89		2	2024,51	34,19	4,35
	3	1545,45	22,80	2,90		3	1428,13	27,65	3,52
	4	1302,42	21,12	2,69		4	1371,58	26,60	3,39
	5	2649,54	23,87	3,04		5	1370,80	27,91	3,55
	Ort	1665,98	22,76	2,90		Ort	1542,42	28,84	3,67

4.5.5 Değerlendirme

Katı Yükleme Cihazı ile yapılan deneylere göre B tipi atığın aynı çimento oranlarında dayanımı, A tipi atığın dayanımına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.21-4.22). Kimyasal ve mineralojik olarak belirgin farklar içermeyen bu iki atığın dayanımları arasındaki farkın tane boyut dayanımından kaynaklandığı düşünülmektedir.

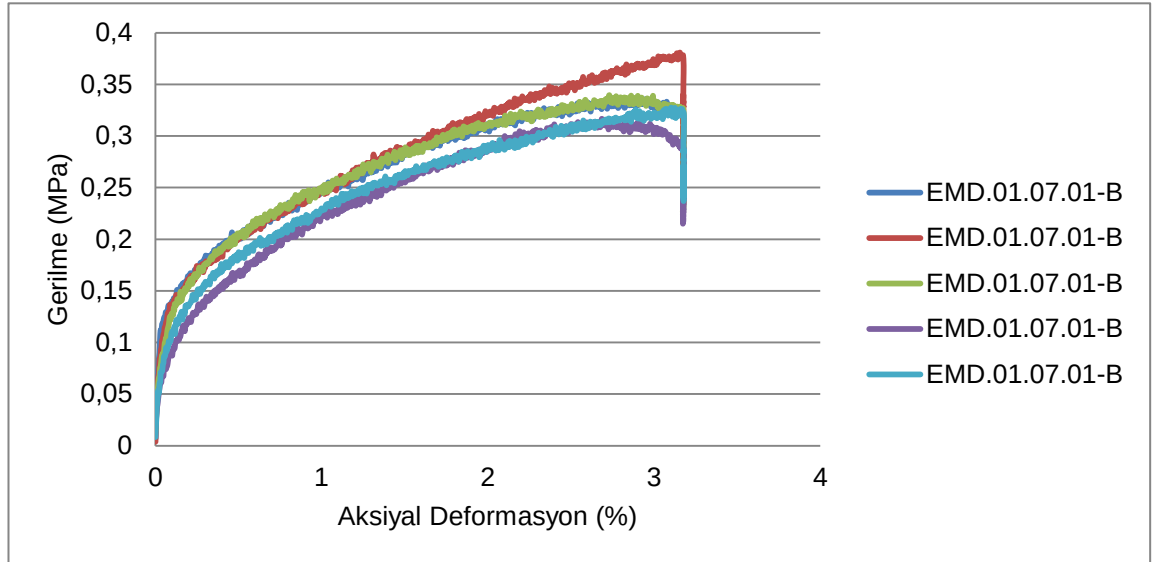


Şekil 4.21: A tipi ve B tipi numunelerinin karşılaştırılması

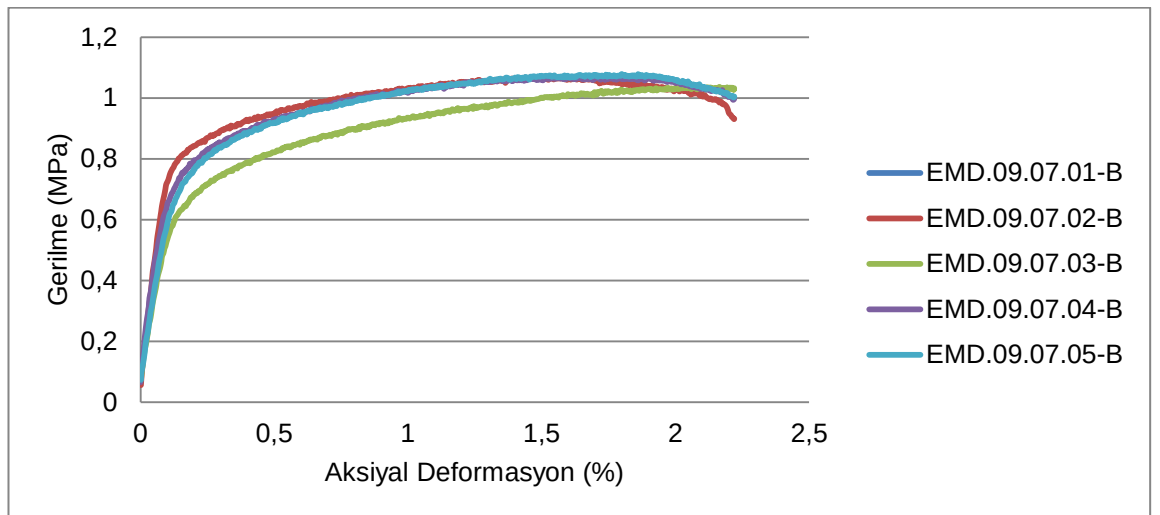


Şekil 4.22: A tipi ve B tipi numunelerinin karşılaştırılması

Yapılan tek eksenli basınç dayanımı ve elastik modül tayini deneyleri sonucunda her iki atıkla hazırlanan 340 adet numunenin tamamı 7 günlük kür süresi sonunda 0,15 MPa dan fazla dayanıma sahip olmuştur. Bu bilgiler dahilinde atığın macun dolgu olarak kullanılabileceği görülmektedir. Ayrıca, %8 çimento oranı ve B tipi atık ile hazırlanmış olan numunelerin dayanımının 4 MPa civarında olduğu belirlenmiştir. ESAN Balya Kurşun-Çinko Madeni gibi dolgu üzerinde madencilik faaliyetleri yapılan madenler için yeterli dayanım sağlandığı tek eksenli basınç dayanımı testi sonucunda görülmüştür. Yapılan deneylerin tamamı Deformasyon (%) – Dayanım (MPa) olarak grafiklendirilmiştir (Şekil 4.23-Şekil 4.24). Grafiklerin tamamı EK A olarak verilmektedir.



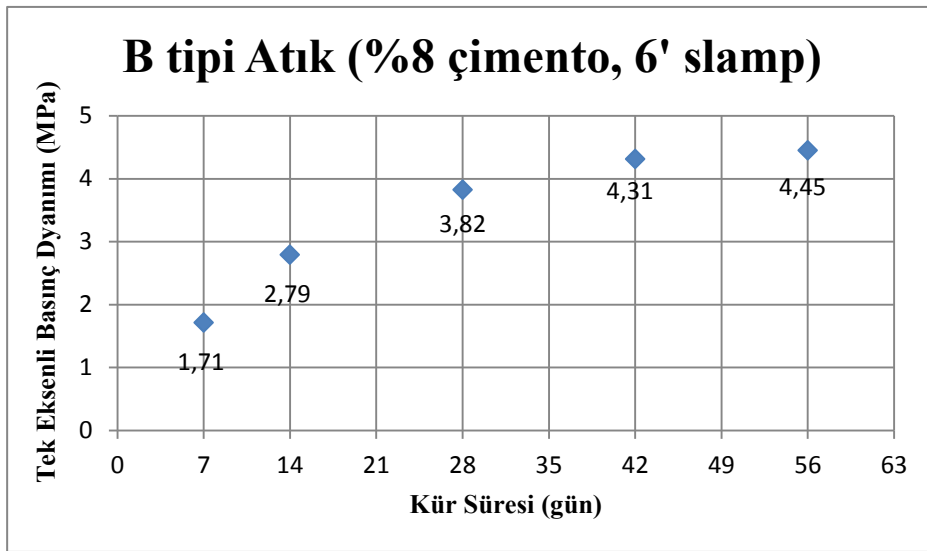
Şekil 4.23: Deformasyon- Dayanım grafikleri



Şekil 4.24: Deformasyon Dayanım grafikleri

4.6 Kullanılabilir Macun Dolgu Tasarımı

ESAN Balya Kurşun-Çinko Madeni'nde uygulanan üretim yöntemi gereğince iş makinaları ve işçilerin dolgu üzerinde çalışmaları gerektiği durumlarda B tipi atıkla hazırlanan %8 oranında çimento katkılı macun dolgu kullanımı uygundur. Ayrıca yeryüzünde atık depolamak yerine yeraltında güvenli ve sürdürülebilir atık bertarafı için etrafında üretim yapılmayacak boşluklar %2 çimento oranı ile her iki tip atıkla hazırlanan macun dolgu ile doldurulabilir. Uygun Macun Dolgu reçetesi Şekil 4.25'te görülmektedir.



Şekil 4.25: Kullanılabilir Macun Dolgunun Dayanım-Kür süresi Grafiği

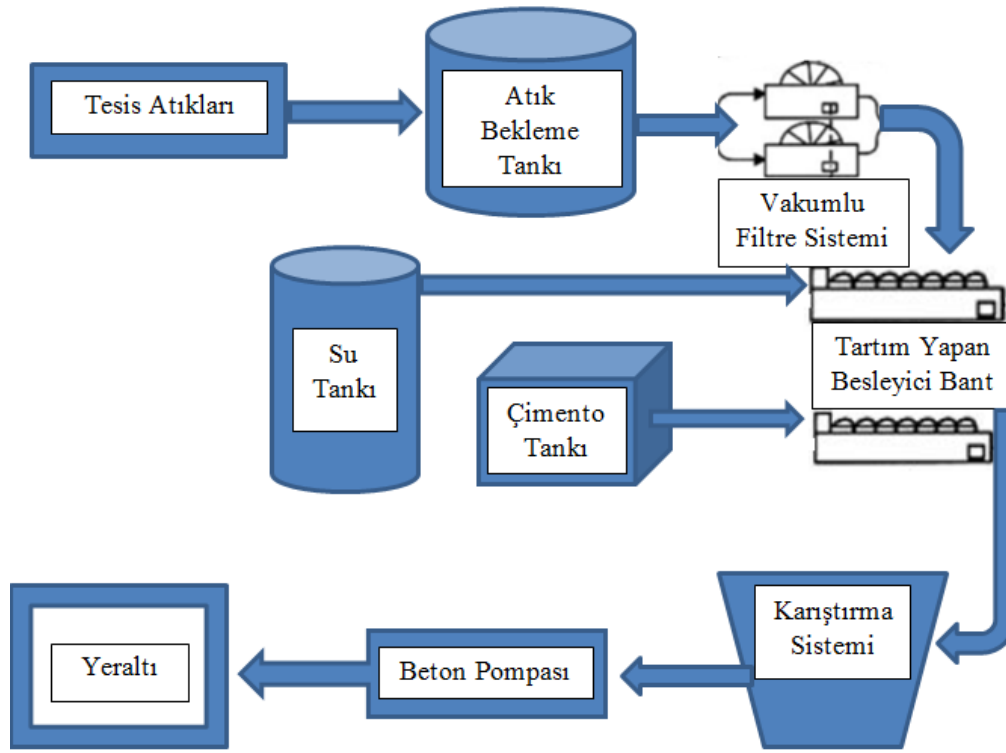
5. MACUN DOLGU UYGULAMA PROJE ÖRNEĞİ

Macun dolgu numuneleri hazırlanırken, numunelerin mekanik etkilere dayanıklı, uygun akışkanlıkta ve ekonomik olmalarına dikkat edilmelidir. Bu aşamada mekanik etkilere karşı dayanımı sağlayan atık malzemesinin özellikleri ve bağlayıcı maddeler olup, akışkanlığı su, ekonomikliği ise yine bağlayıcı maddeler doğrudan etkilemektedir. Bu bilgiler ışığında uygun macun dolgu reçetesi ve uygun macun dolgu tesisi hazırlanmalıdır.

Macun dolgu hazırlamak için gerekli olan temel ekipmanlar; atık bekleme tankı, vakumlu filtre (susuzlandırma) sistemi, tartım yapan besleyici bant, su tankı, çimento tankı, mikser sistemi ve beton pompa sistemidir. Bunlarla birlikte otomasyonu sağlamak için uygun bir görüntüleme sistemine ihtiyaç vardır. Dolgunun katı-su içeriğindeki ufak değişikliklerin bile dolgunun yeraltına nakliyesini ve dayanımını etkilediği düşünülürse, görüntüleme ve kalite kontrolün ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Örnek Macun Dolgu Tesisi Şekil 5.1’de şematize edilmiştir.

Macun dolgu tesisi için atık bekleme tankı, madenin üretim miktarına ve buna bağlı olarak meydana gelen atık ve doldurulması gereken boşluk miktarına göre sürdürülebilirliğinin gereksinimi için uygun boyutlarda seçilmelidir.

De Souza vd. (2001), Kanada’da yapmış olduğu anketin sonuçlarına göre; macun dolgu hatalarının %55’den fazlası pompa sisteminden kaynaklanmaktadır. Pompa sisteminden kaynaklanan hatalarında %63’ü ise boru hattındaki tıkanmalardır. Boru patlamaları ise pompa sistemi hatalarının %22’sini oluşturmaktadır. Bu nedenle, macun dolgunun tesiste iyi ayarlanması gerekmektedir.



Şekil 5.1: Macun dolgu tesisi şematik görünümü

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Madencilik faaliyetleri için büyük külfet olan atık bertarafı yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik olarakta birçok dezavantaja sahiptir. Bu atıkların macun dolgu olarak yeraltında depolanması ise yalnızca çevresel ve ekonomik değil, aynı zamanda madencilik faaliyetleri için de birçok avantaja sahiptir. Yeraltı metal madenlerinde üretim sonucu oluşan boşlukların atık, su ve bağlayıcı ile oluşan karışım ile doldurulmasını amaçlayan bu tezde, macun dolgu uygulaması için ESAN Balya Kurşun-Çinko İşletmesi Cevher Hazırlama Tesisi flotasyon atığı olan 2 farklı atığın kimyasal özellikleri İTÜ Maden Fakültesi Jeokimya Laboratuvarları'nda yapılmış ve sonuçlar ilgili bölümde belirtirilmişdir. Daha sonra bu iki atığın fiziksel özellikleri İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Bölümü Laboratuvarları ve Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan deneyler sonucu belirlenmiş ve bu atıklarla 12 farklı reçeteden 340 adet numune hazırlanmış ve 7 – 14 – 28 – 42 – 56 günlük kür süreleri sonucunda İTÜ Kaya Mekaniği Laboratuvarları'nda tek eksenli basınç dayanımı ve Elstisite Modülü Tayini deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin sonucunda numune hazırlama işlemlerinde kullanılan iki adet atıktan B tipi atığın, A tipi atığa göre aynı çimento oranlarında daha yüksek dayanım gösterdiği tespit edilmiştir. B atığından hazırlanan %8 çimento oranına sahip olan numunelerin 28 günlük kür süresi sonunda dayanımının 4 MPa civarında olduğu görülmektedir.

Macun dolgu nispeten yeni bir madencilik uygulaması olduğu için bu konu hakkında birçok bilinmeyen mevcuttur. Bu nedenle bu konu hakkında araştırmalar yapmak gerekmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte son teknoloji aletlerin kullanıldığı macun dolgu uygulaması madencilik uygulamaları için günden güne önemli bir hal almaktadır. Yapılan tezin sonuçlarına göre macun dolgu araştırmalarını derinleştirmek için birkaç öneri aşağıda sunulmuştur.

- Tez kapsamında 7 - 14 - 28 - 42 ve 56 günlük kür süreleri sonucunda macun dolgu numunelerinin mekanik özellikleri tayin edilmiştir. Dolgu yeraltına

yerleştirildikten sonra uzun süreler yeraltında bulunacağından kür sürelerinin arttırılıp uzun dönemde macun dolgu performası gözlenebilir.

- Laboratuvar ortamlarında macun dolgu numunelerinin genelde 20°C sıcaklıkta %80 nemli ortamdan kür almaları istenir. Fakat her madende sıcaklık ve nem miktarı farklı olduğundan, sıcaklık ve nemin dolgu performansını etkilediğı düşünöldüğönden hazırlanan numunelerin yeraltında kür almaları uygulanacak macun dolgu açısından daha doğru sonuçlar alınmasını sağlayabilir.
- Macun dolgu dayanımının yetersiz bulunduğı durumlarda macun dolgu içersine belirli oranlarda agrega veya kum katılarak dayanımı arttırılabilir.
- Çimento oranının fazla bulunduğı durumlarda yapay veya doğal puzolanlar eklenerek çimento oranı azaltılıp, dayanım sabit tutulabilir.

KAYNAKLAR

- Akyol, Z., (1977).** Balya Madeni Civarının Jeolojisi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, Ekim 1977, syf 19-27.
- Annor, A.B. (1999).** *A Study of the Characteristics and Behaviour of Composite Backfill Material* (doktora tezi), McGill University, Montreal.
- Archibald, J., Gange, D.D., Nantel, J., Hassani, F. (1993).** Underground Mine Backfill, Vol. II.
- Archibald, J. (1999).** Beneficial Impacts of Paste Tailing on Environmental Hazard Mitigation and Engineering Performance Improvement. Queen's University at Kingston, Ontario, Canada.
- Archibald, J., Gange, D.D., Nantel, J., Hassani, F. (2003).** Underground Mine Backfill, Vol. I.
- Avcı, S. Z. (2010).** Yeraltı Maden Mühendisi Eğitim Raporu (yayımlanmamış).
- Been, K., Brown, E.T. ve Hepworth, N. (2002).** Liquefaction potential of pastefill at Neves Corvo Mine, Portugal.
- 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., Marion, P., Picquet, I., Bussiere, B. (2004).** The use of pastefill as a solidification and stabilization process for the control of acid mine drainage. Minerals Engineering, Elsevier.
- Benzaazoua, M., Fall, M., Ouellet, S., Bussiere, B., Belem, T. (2004).** Contribution to understanding the mechanism of cemented pastefill hardening. Minerals Engineering, PDMIW.
- Bozan, S. (2009).** Balya Pb-Zn (Ag-Au) Madeni'nin Jeolojik ve Yapısal Jeolojik Kontrolleri, Balya, Balıkesir, Türkiye.
- Brackebusch, F.W. (1994).** Basics of paste backfill systems. Technical Paper.
- Bulut M. ve Dalgıç A. (2001).** Guleman Kef Bölgesi Yeraltı Krom İşletmesinde Üretim Yöntemi Belirlenmesi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- Cummins A. ve Given I. (1992).** SME Mining Engineering Handbook, Society for Mining Metallurgy and Exploration Inc., A.B.D
- Darling, P. (2011).** SME Mining Engineering Handbook third edition- volume two pp. 1375-1384.
- De Souza, E., Degagné, D.O., and Archibald, J.F. (2001).** Minefill applications, practices and trends in Canadian mines. Mine Fill 2001, the 7th International Symposium on mining with backfill, Seattle, Washington, USA, September 17-19, 9 p.

- 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
- Dönmez, S., (2011).** Yeraltı Maden Mühendisi Eğitim Raporu (yayımlanmamış).
- Erçikdi, B. (2009).** *Mineral ve Kimyasal Katkı Maddelerinin Macun Dolgu Performansına Etkisi.* (doktora tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Erdoğan, T.Y. (1995).** Karışım ve Bakım Suları, Ankara.
- Fall, M., Benzaazoua, M. ve Ouellet, S. (2005).** Experimental characterization of the influence of tailing fineness and density on the quality of cemented paste backfill. Mineral Engineering 18, p 41-44, Elsevier.
- Fall, M., Celestin, J.C., Pokharel, M., Toure, M. (2010).** A contribution to understand the effects of curing temperature on the mechanical properties of mine cemented tailings backfill. Engineering Geology, Elsevier.
- Grice, T. (1998).** Underground Mining with Backfill, The 2nd Annual Summit on Mine Tailings Disposal Systems, Brisbane, Australia, 5-15.
- Hassani, F. and Bois (1992).** Economic and technical feasibility for backfill design in Quebec underground mines. Final report 1/2, Canada-Quebec Mineral Development Agreement, Research & Development in Quebec Mines. Contract no. EADM 1989-1992, File no. 71226002.
- Kanpolat, İ. ve Cengiz, E., (1985).** Balya (Balıkesir) Kurşun-Çinko Cevher Yatağı Ön Fizibilite Çalışması, Bölüm III Madencilik, MTA Raporu.
- Kuzu C. (2007).** Yeraltı Maden İşletmeciliği (Yeraltı Üretim Metodları), İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Lisans Ders Notları, İstanbul.
- Landriault, D. (2001).** Backfill in Underground Mining. In: Hustrulid, W.A. (ed.), Underground Mining Methods Engineering Fundamentals and International Case Studies, SME, USA, sayfa 608– 609.
- Landriault, D. (2006).** They said “It will never work.”-25 years of Paste Backfill 1981-2006, Proceeding of 9th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Limerick, Ireland, 277-292.
- Nanthanathan, N. (2006).** *Backfill Optimization Using Mine Tailings for Improved Ground Stability in Underground Mines.* (yüksek lisans tezi), Dalhousie University, Canada.
- Noranda, (1990).** In situ test of backfill bulkhead, 1990-1991, Centre de Technologie and Technik Mining, videocassette.
- Potvin, Y. (2005).** Pastefill in Australia, Handbook on Minefill 2005 pp. 101-108.
- Prasad, K.V.K. and Ramani, R.V. (1989).** An assessment of expert system building tools for mining application. 21st APCOM Symposium, 897 p.
- Skalny, J., Marchand, J. ve Odler, I. (2002).** Sulfate Attack on Concrete, Modern Cement Technology, sayfa 43-151.

- Torlach, J. (2000).** Potential hazards associated with minefill, Safety Bulletin 55, Department of Minerals and Energy of Western Australia.
- Uğurlu, Ö.F. (2011).** *Çayeli Bakır İşletmeleri'nde Macun Dolgu Sisteminin Tanıtılması ve İncelenmesi.*(Lisans Tezi), İTÜ, İstanbul
- Ustabaş, İ. (2008).** *Sülfat Etkisine Maruz Kalmış Mineral Katkılı Beton ve Harçların Performansının İncelenmesi.* (doktora tezi), KTÜ, Trabzon.
- Weaver, W.S. and Luka, R. (1970).** Laboratory Studies of Cement-Stabilized Mine Tailings. CIM Bulletin, 63(701), September, pp. 988-1001.
- Yalçın, H. ve Gürü, M. (2006).** Çimento ve Beton, Palmiye Yayıncılık.

EKLER

EK A :Tek eksenli yükleme koşulunda elde edilen yük-deformasyon grafikleri

EK A-1 : EMD.01.07-B Grafiği

EK A-2 : EMD.02.07-B Grafiği

EK A-3 : EMD.03.07-B Grafiği

EK A-4 : EMD.04.07 Grafiği

EK A-5 : EMD.04.07-B Grafiği

EK A-6 : EMD.05.07 Grafiği

EK A-7 : EMD.06.07 Grafiği

EK A-8 : EMD.06.07-B Grafiği

EK A-9 : EMD.07.07 Grafiği

EK A-10 : EMD.07.07-B Grafiği

EK A-11 : EMD.08.07 Grafiği

EK A-12 : EMD.09.07 Grafiği

EK A-13 : EMD.09.07-B Grafiği

EK A-14 : EMD.10.07-B Grafiği

EK A-15 : EMD.11.07 Grafiği

EK A-16 : EMD.12.07 Grafiği

EK A-17 : EMD.01.14-B Grafiği

EK A-18 : EMD.02.14-B Grafiği

EK A-19 : EMD.03.14-B Grafiği

EK A-20 : EMD.04.14 Grafiği

EK A-21 : EMD.05.14 Grafiği

EK A-22 : EMD.06.14 Grafiği

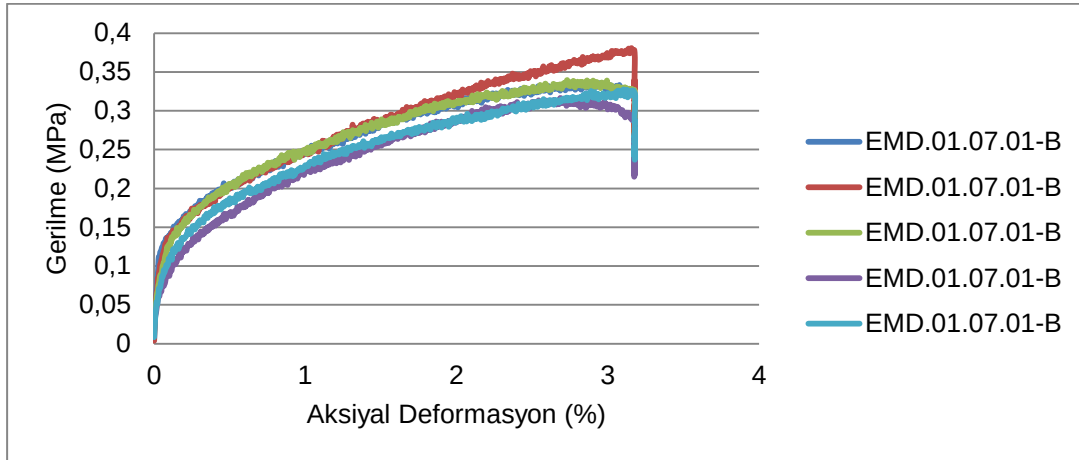
EK A-23 : EMD.07.14 Grafiği

EK A-24 : EMD.08.14 Grafiği

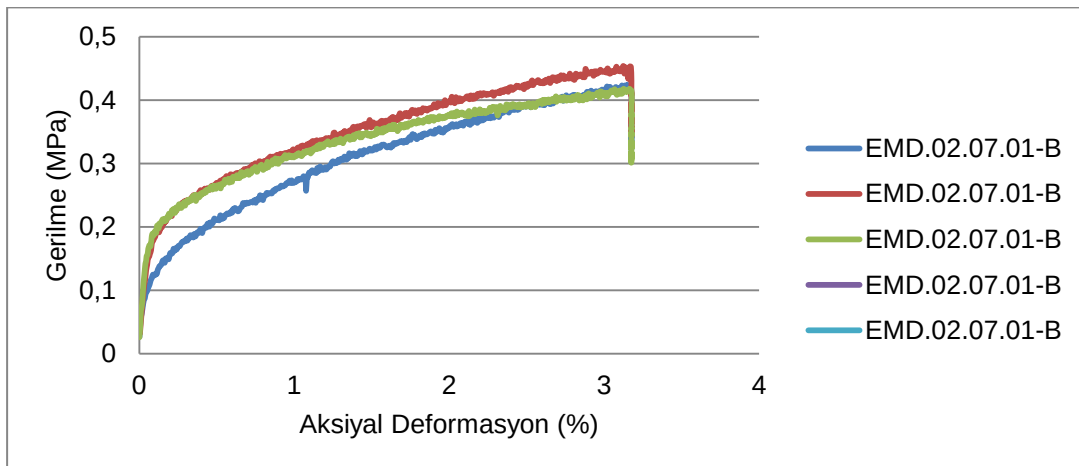
EK A-25	: EMD.09.14 Grafiği
EK A-26	: EMD.10.14-B Grafiği
EK A-27	: EMD.11.14 Grafiği
EK A-28	: EMD.12.14 Grafiği
EK A-29	: EMD.01.28-B Grafiği
EK A-30	: EMD.02.28-B Grafiği
EK A-31	: EMD.03.28-B Grafiği
EK A-32	: EMD.04.28 Grafiği
EK A-33	: EMD.04.28-B Grafiği
EK A-34	: EMD.05.28 Grafiği
EK A-35	: EMD.06.28 Grafiği
EK A-36	: EMD.06.28-B Grafiği
EK A-37	: EMD.07.28 Grafiği
EK A-38	: EMD.07.28-B Grafiği
EK A-39	: EMD.08.28 Grafiği
EK A-40	: EMD.09.28 Grafiği
EK A-41	: EMD.09.28-B Grafiği
EK A-42	: EMD.10.28-B Grafiği
EK A-43	: EMD.11.28 Grafiği
EK A-44	: EMD.12.28 Grafiği
EK A-45	: EMD.01.42-B Grafiği
EK A-46	: EMD.02.42-B Grafiği
EK A-47	: EMD.03.42-B Grafiği
EK A-48	: EMD.04.42 Grafiği
EK A-49	: EMD.05.42 Grafiği
EK A-50	: EMD.06.42 Grafiği

EK A-51	: EMD.07.42 Grafiği
EK A-52	: EMD.08.42 Grafiği
EK A-53	: EMD.09.42 Grafiği
EK A-54	: EMD.10.42-B Grafiği
EK A-55	: EMD.11.42 Grafiği
EK A-56	: EMD.12.42 Grafiği
EK A-57	: EMD.01.56-B Grafiği
EK A-58	: EMD.02.56-B Grafiği
EK A-59	: EMD.03.56-B Grafiği
EK A-60	: EMD.04.56 Grafiği
EK A-61	: EMD.05.56 Grafiği
EK A-62	: EMD.06.56 Grafiği
EK A-63	: EMD.07.56 Grafiği
EK A-64	: EMD.08.56 Grafiği
EK A-65	: EMD.09.56 Grafiği
EK A-66	: EMD.10.56-B Grafiği
EK A-67	: EMD.11.56 Grafiği
EK A-68	: EMD.12.56 Grafiği

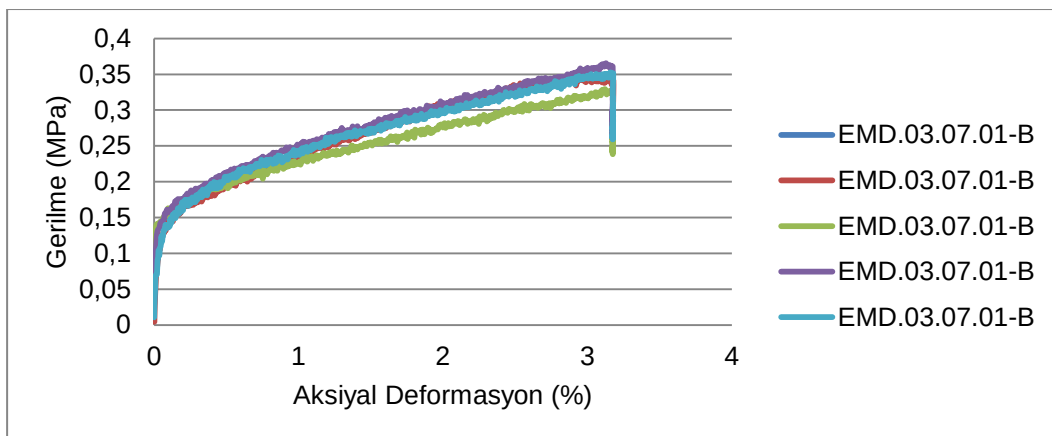
EK A-1



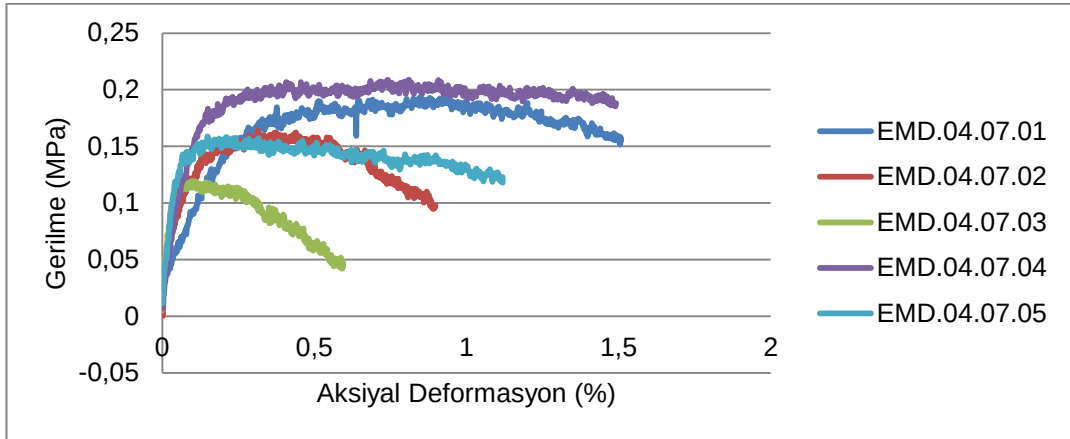
EK A-2



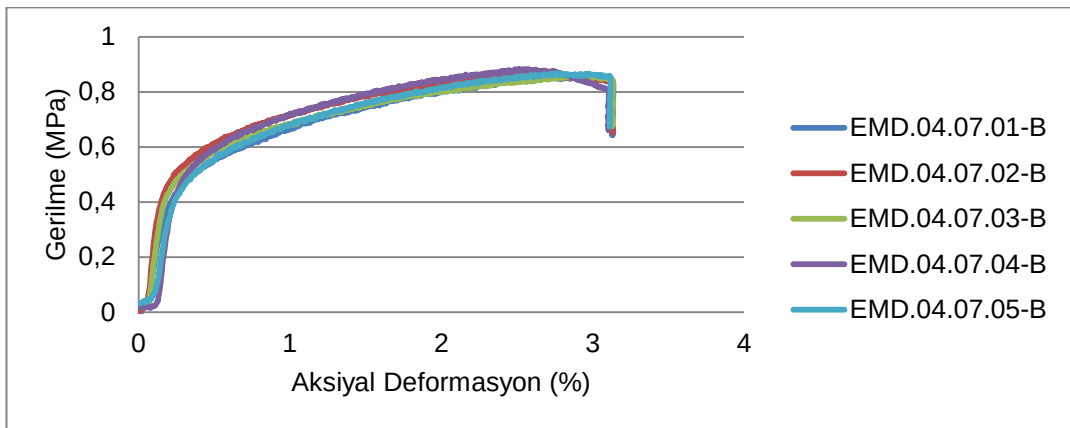
EK A-3



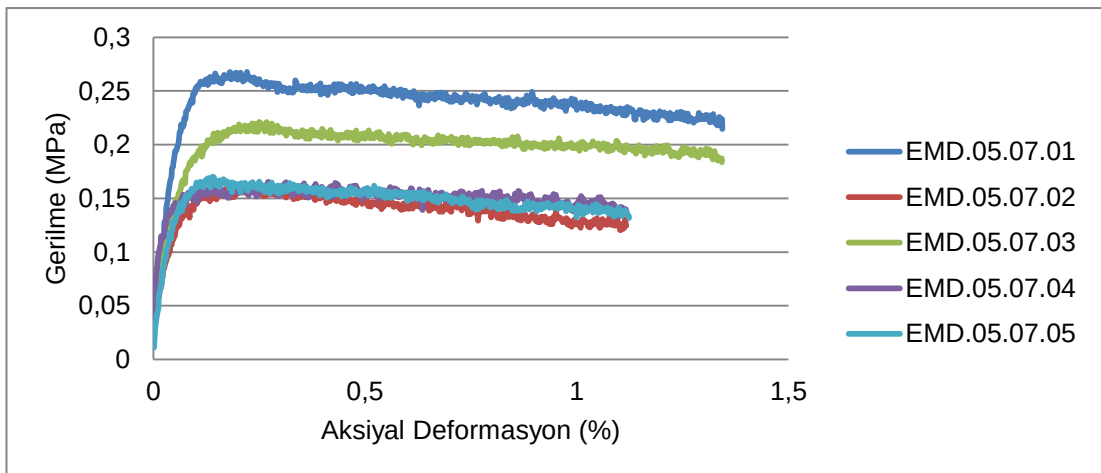
EK A-4



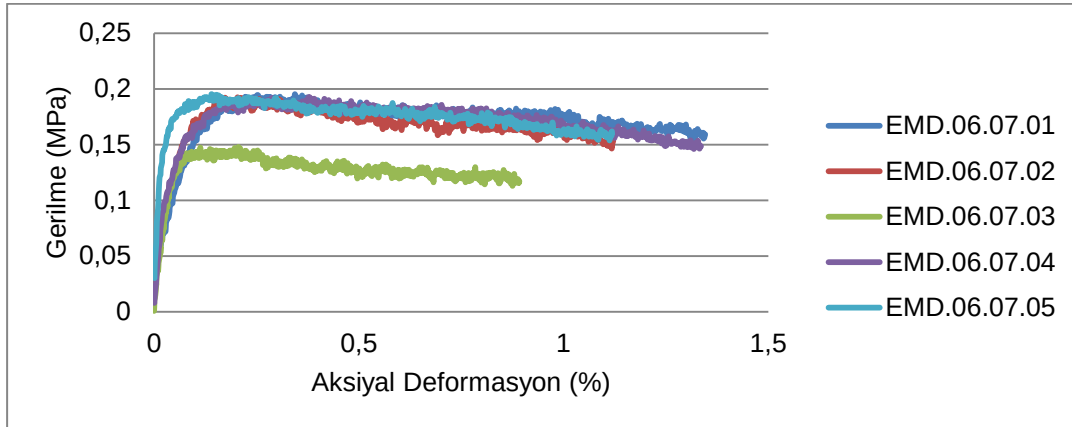
EK A-5



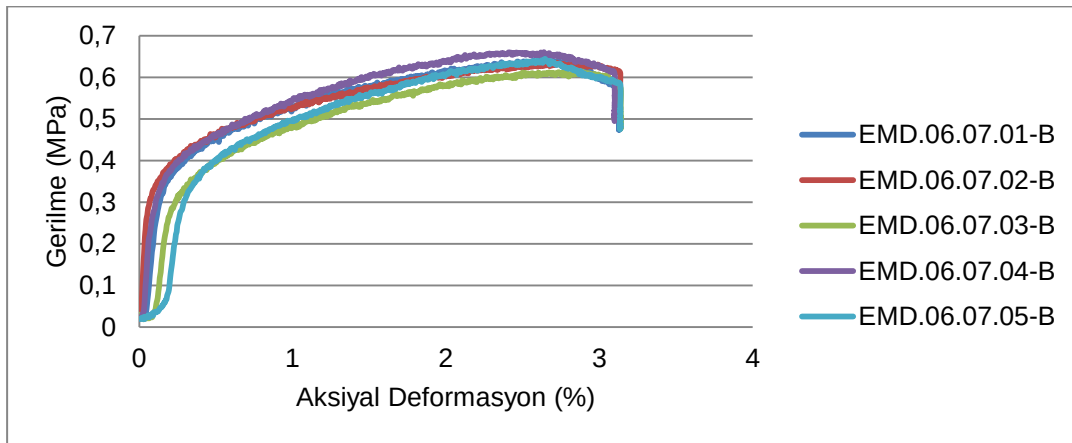
EK A-6



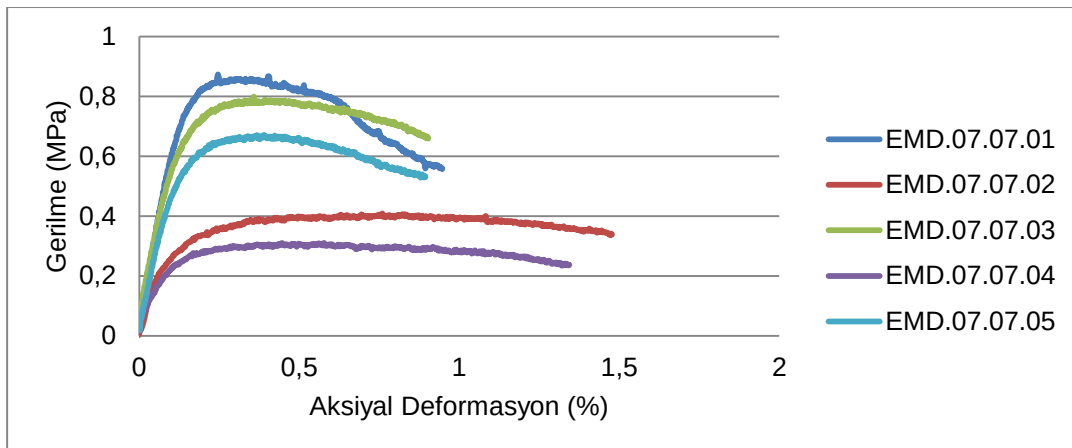
EK A-7



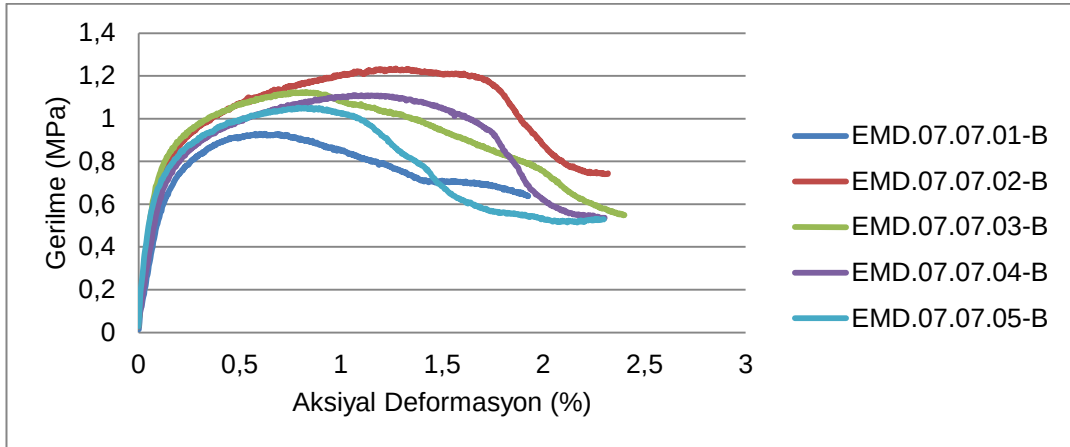
EK A-8



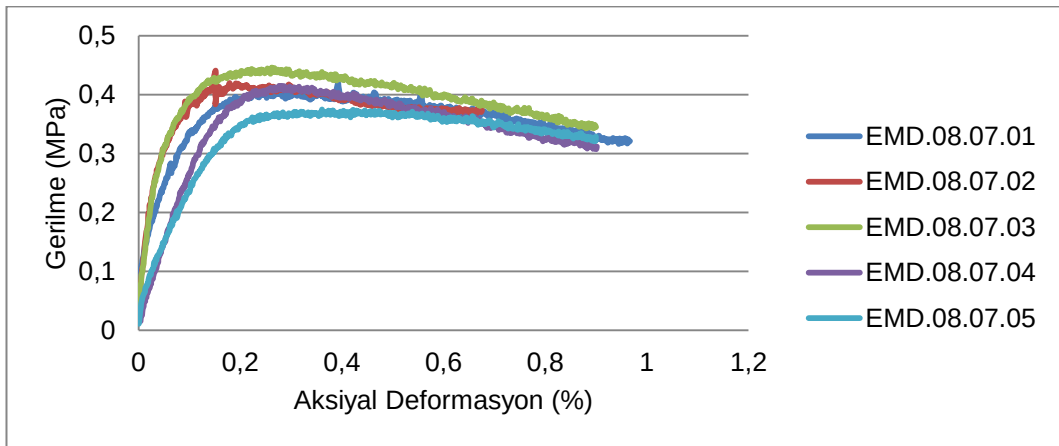
EK A-9



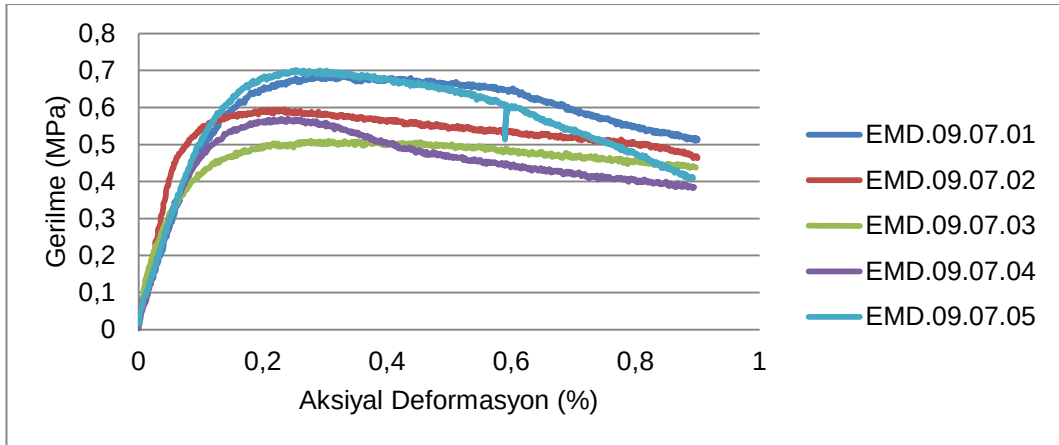
EK A-10



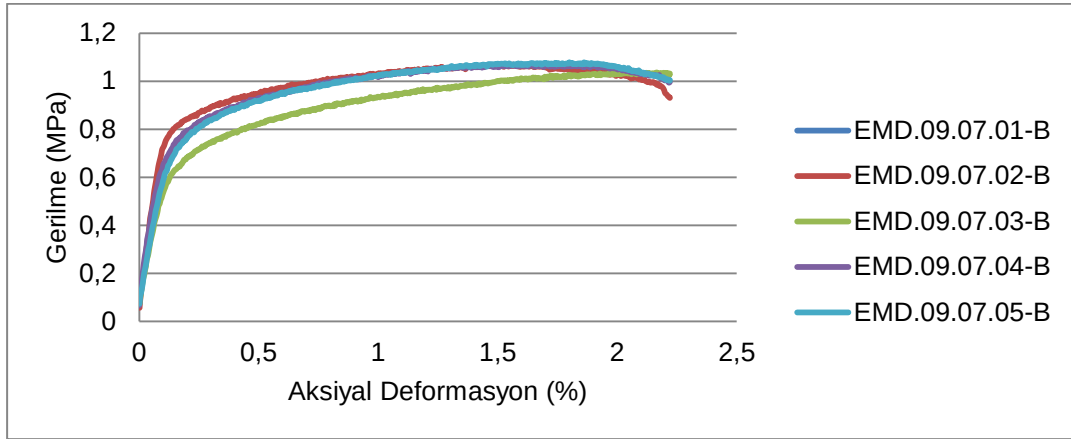
EK A-11



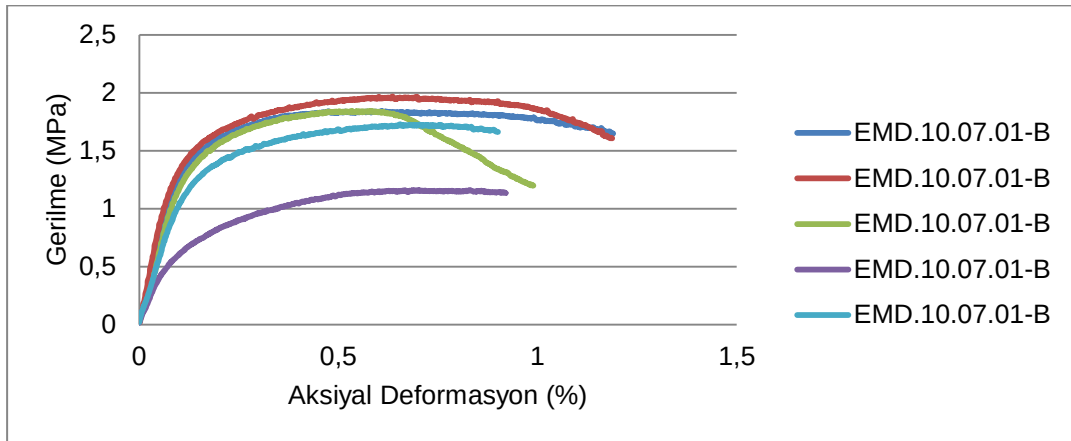
EK A-12



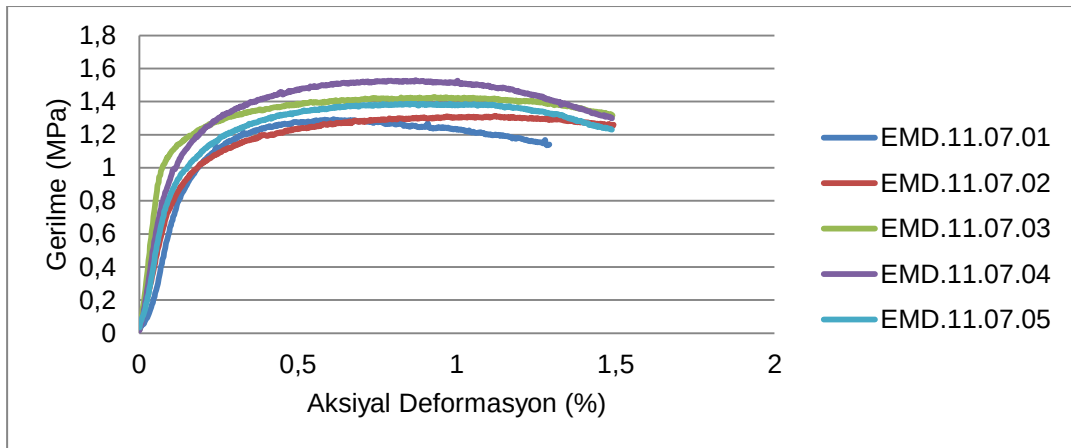
EK A-13



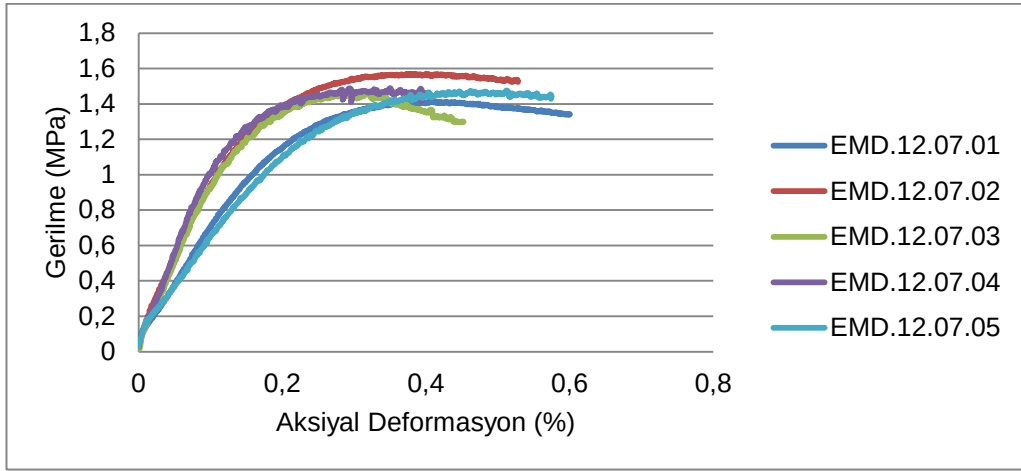
EK A-14



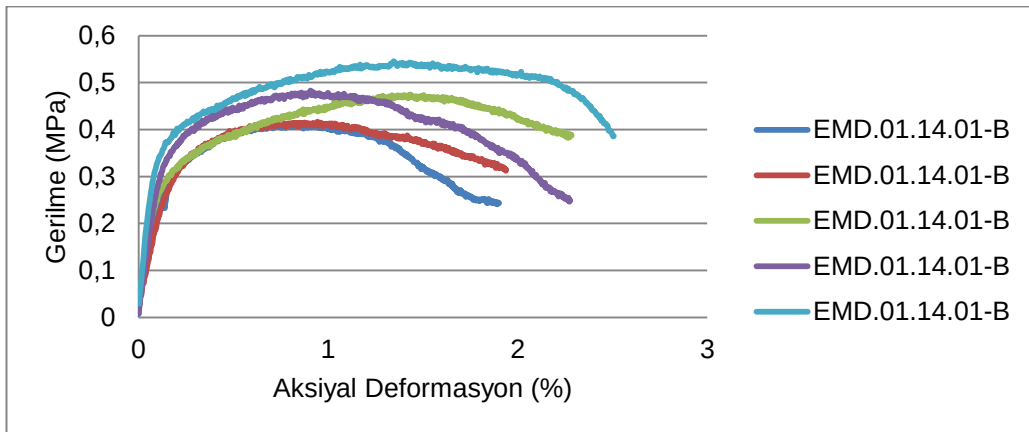
EK A-15



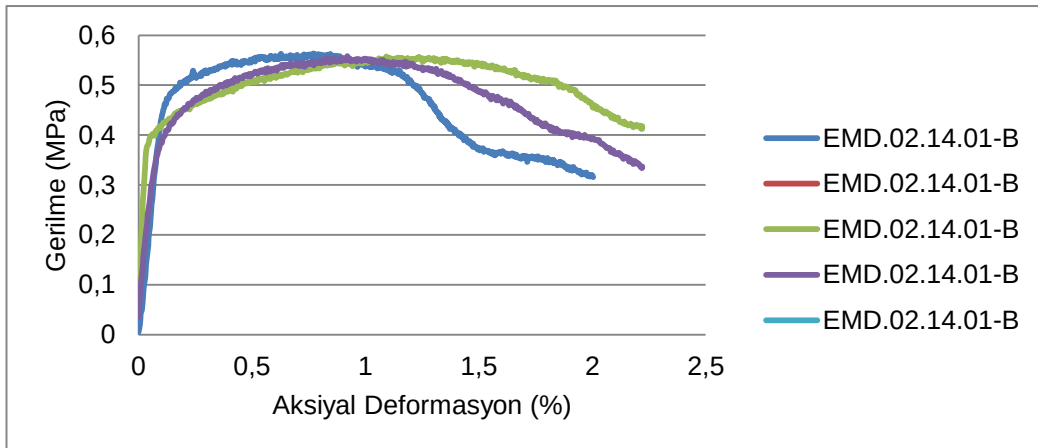
EK A-16



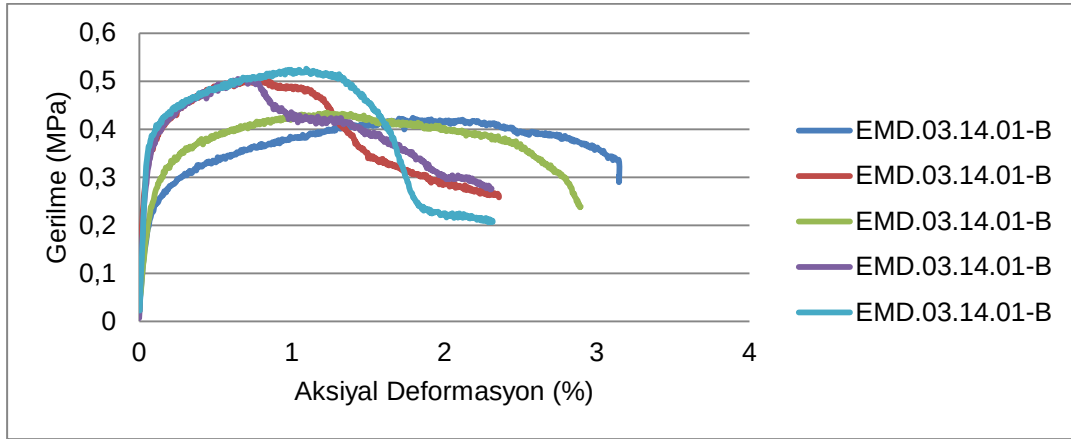
EK A-17



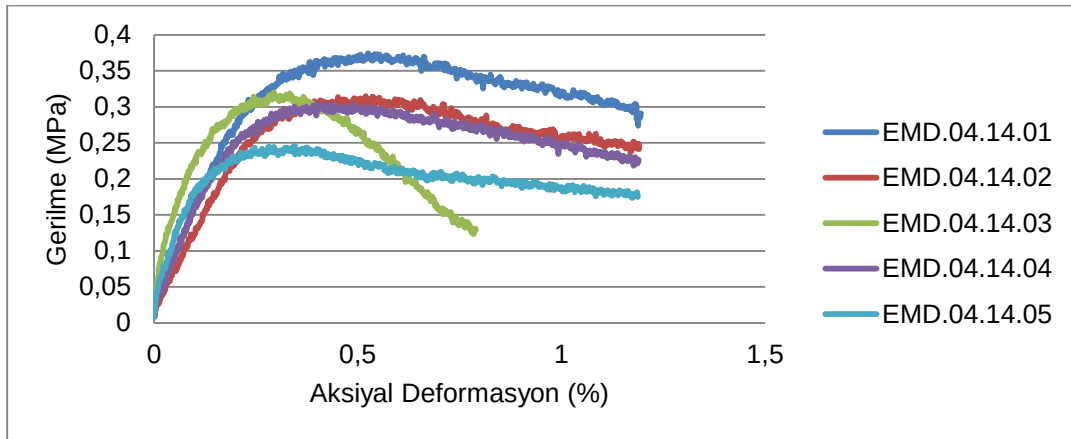
EK A-18



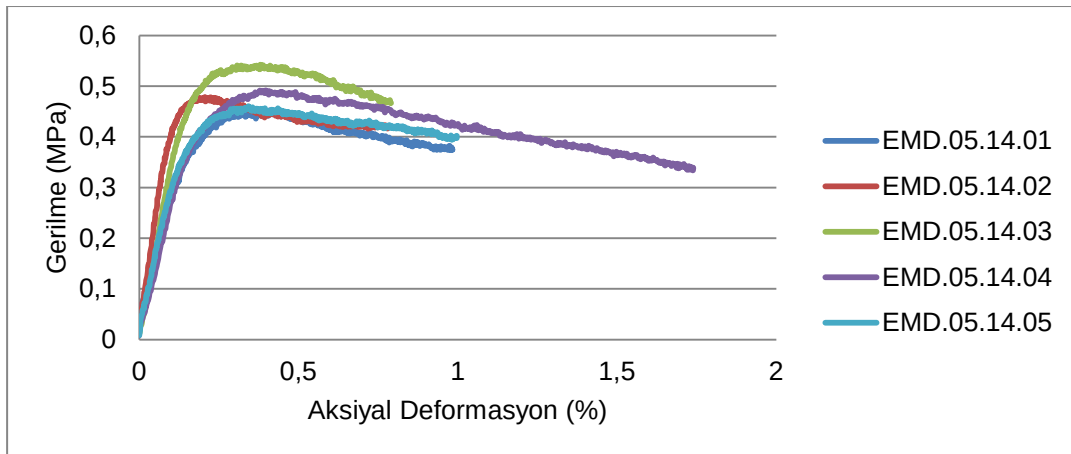
EK A-19



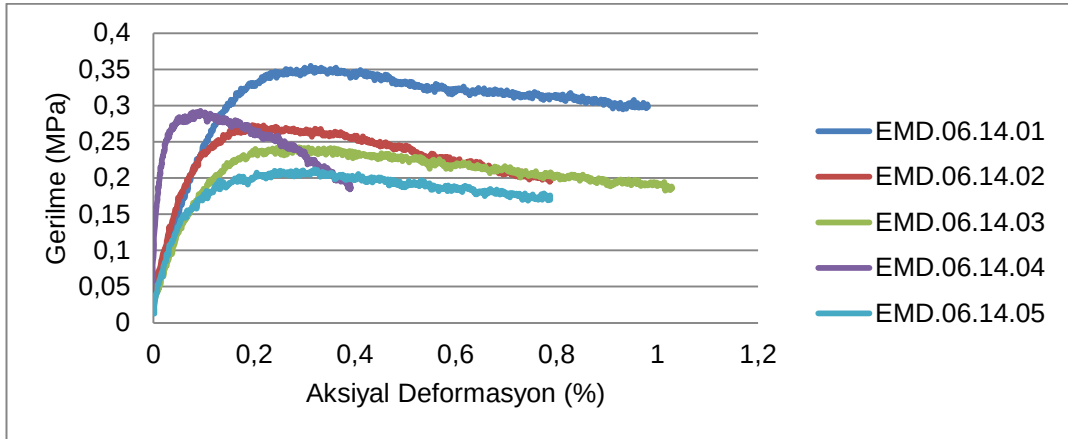
EK A-20



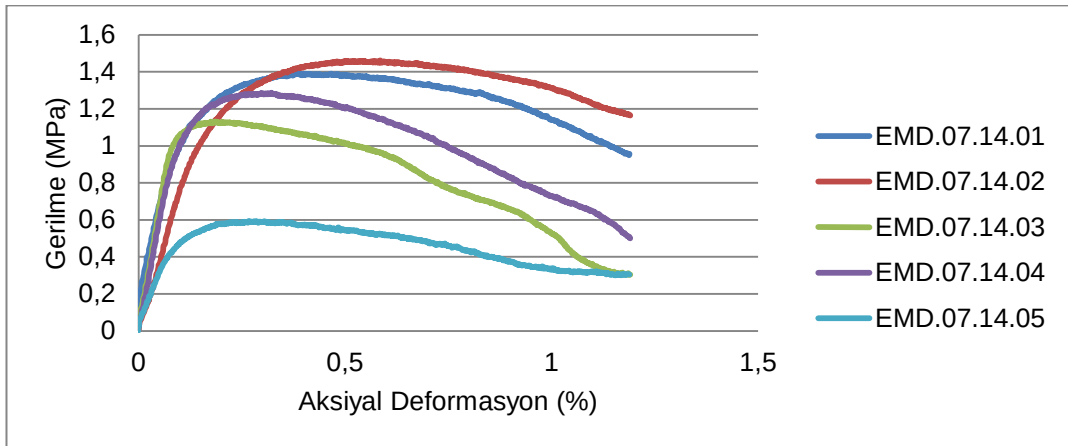
EK A-21



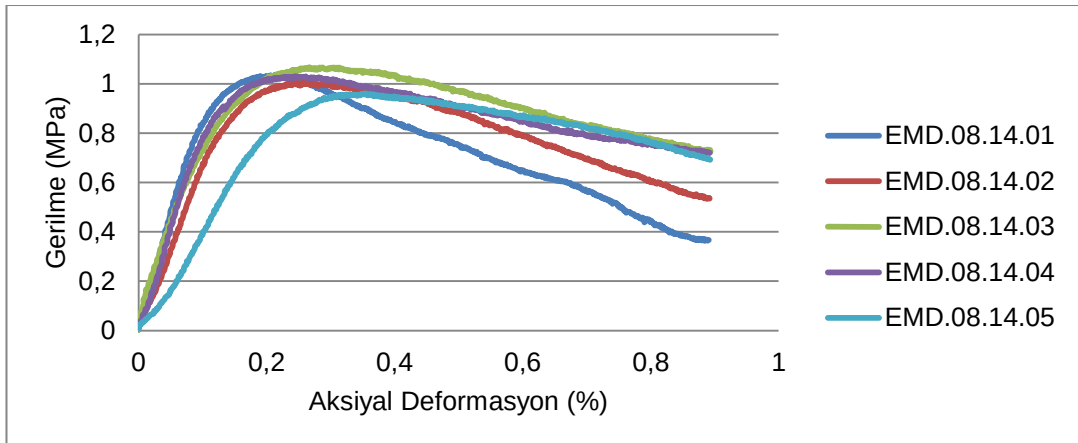
EK A-22



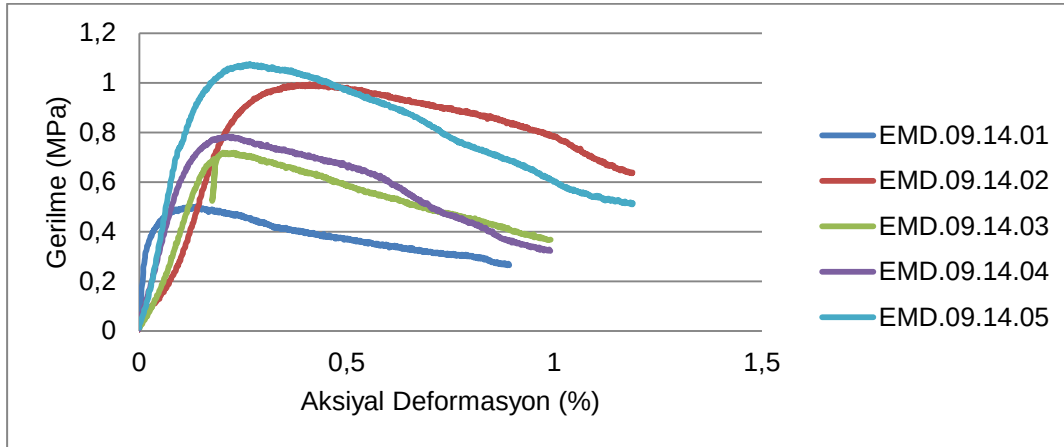
EK A-23



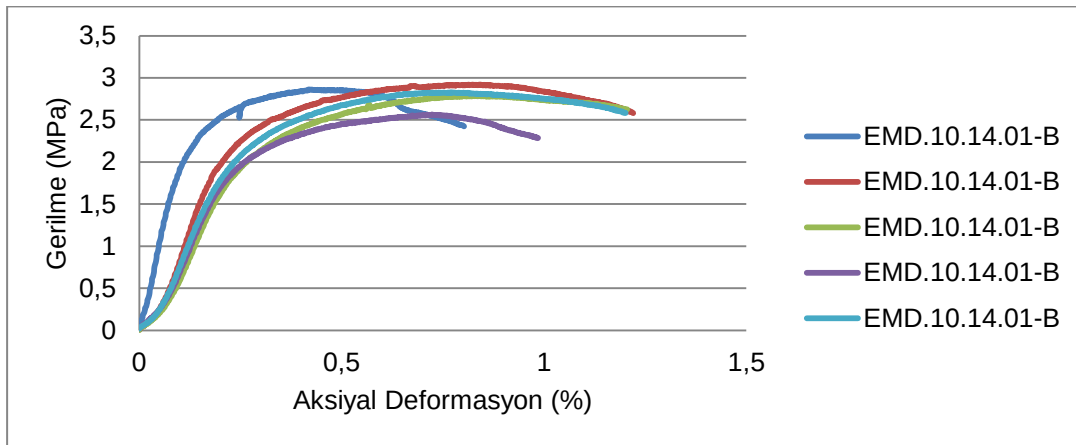
EK A-24



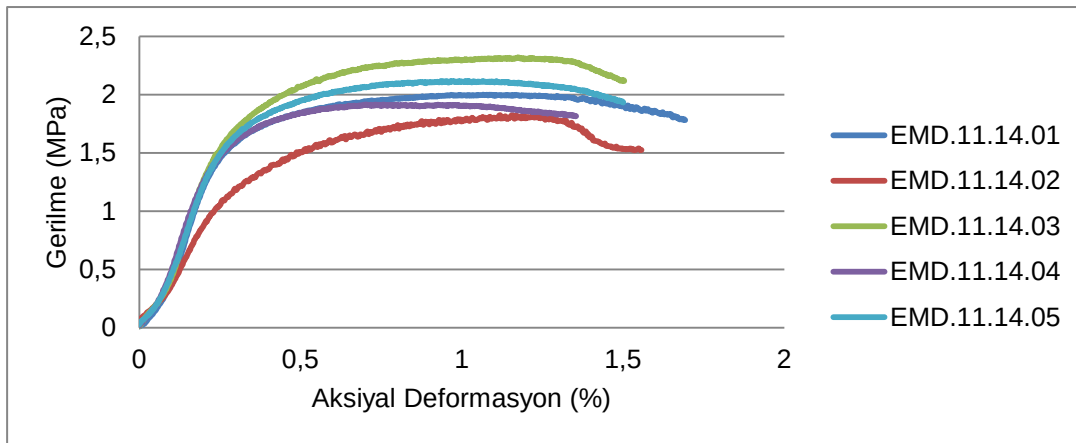
EK A-25



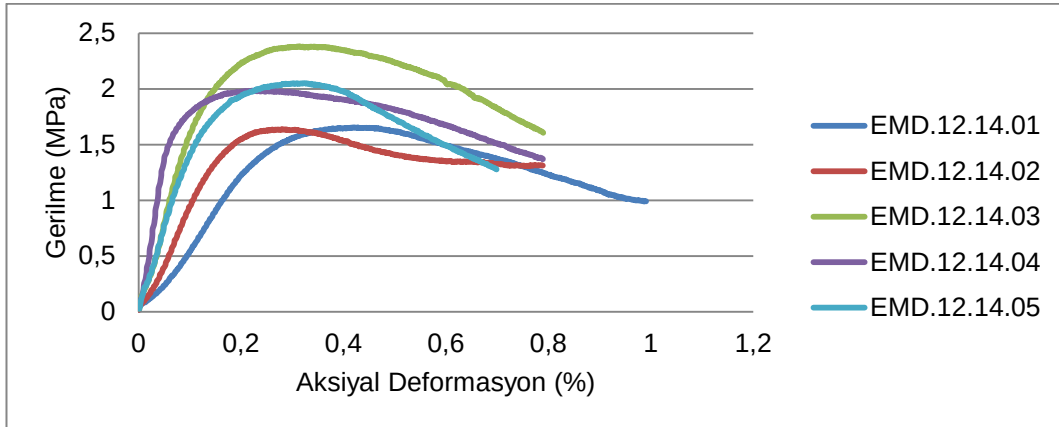
EK A-26



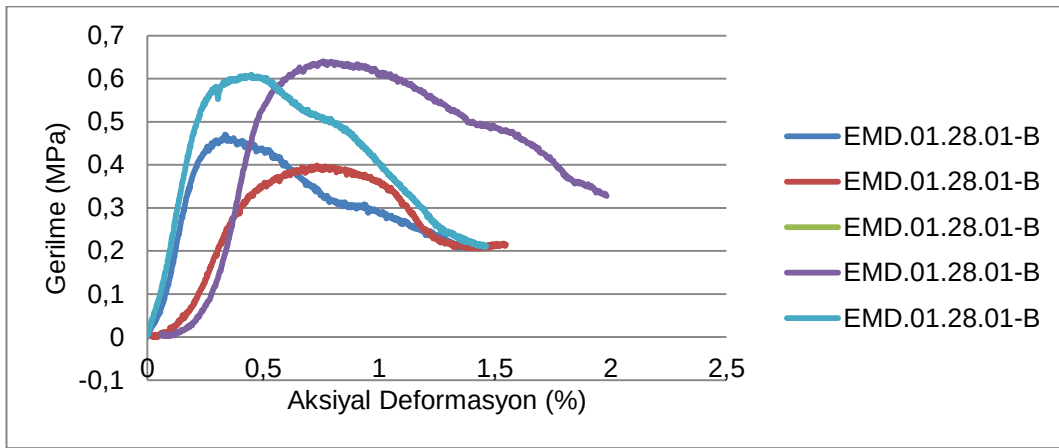
EK A-27



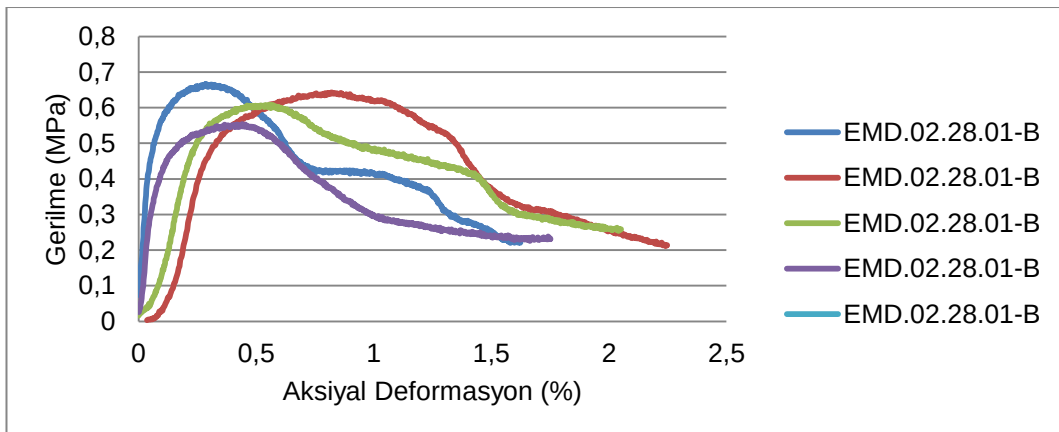
EK A-28



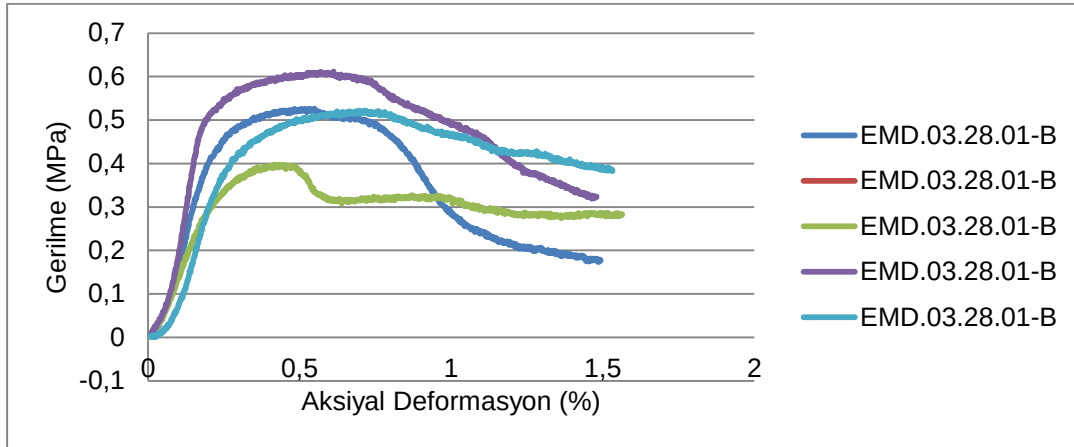
EK A-29



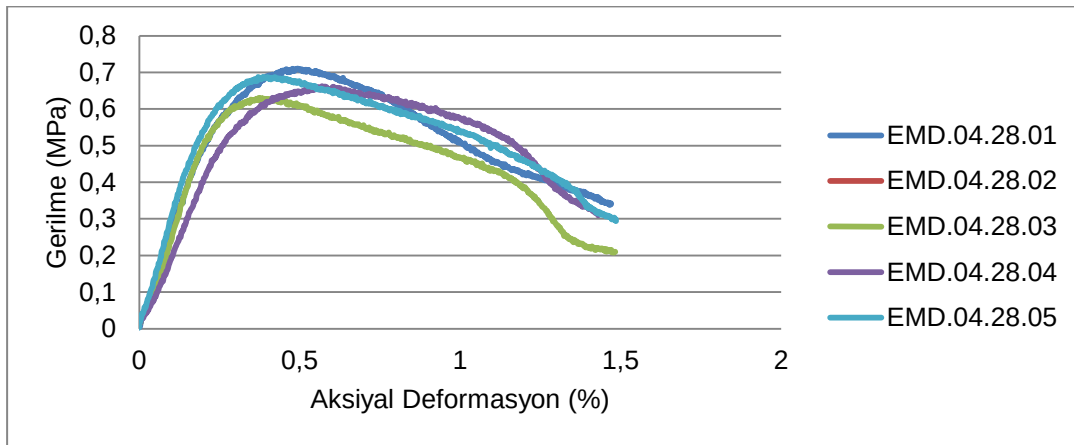
EK A-30



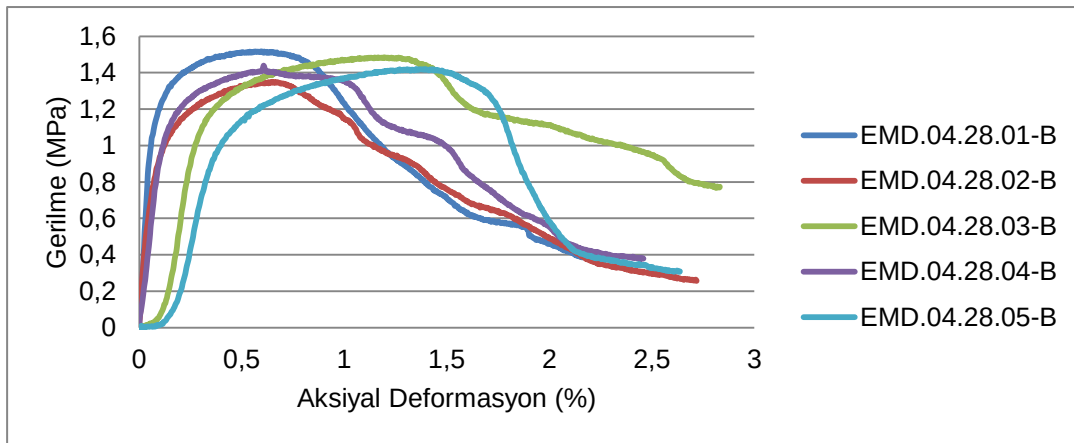
EK A-31



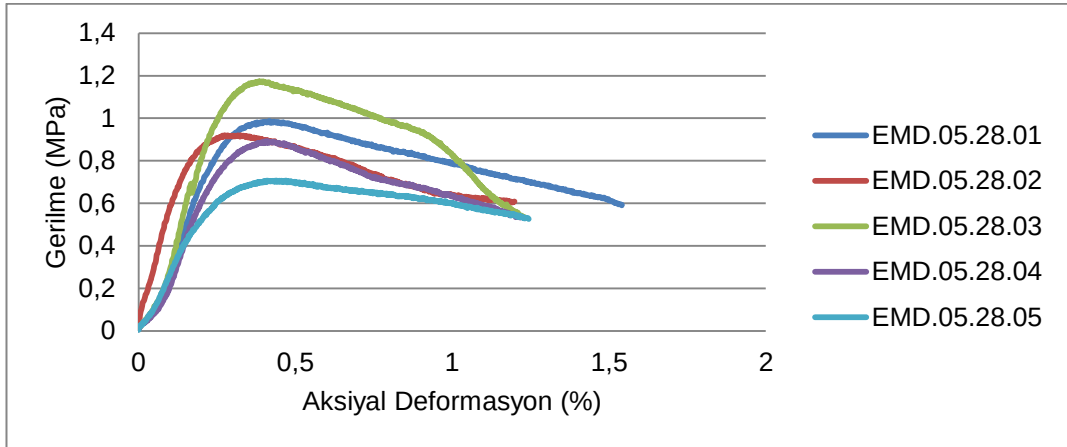
EK A-32



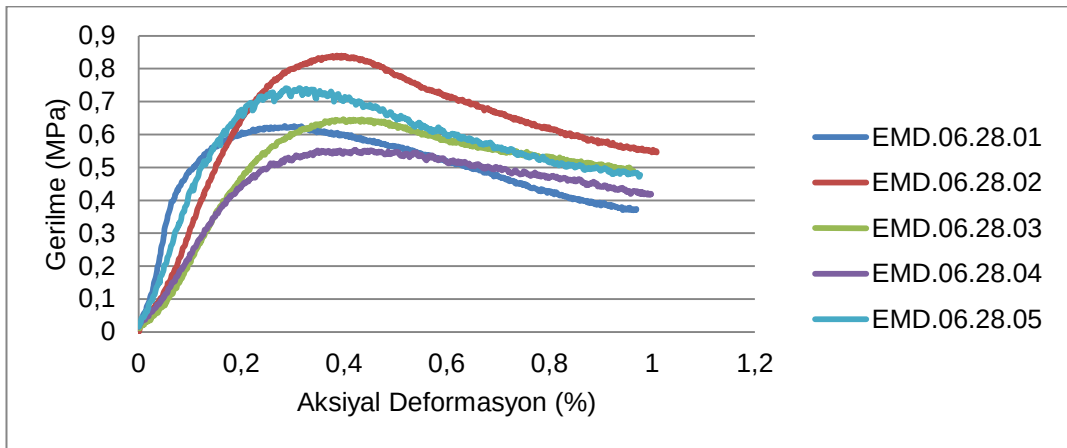
EK A-33



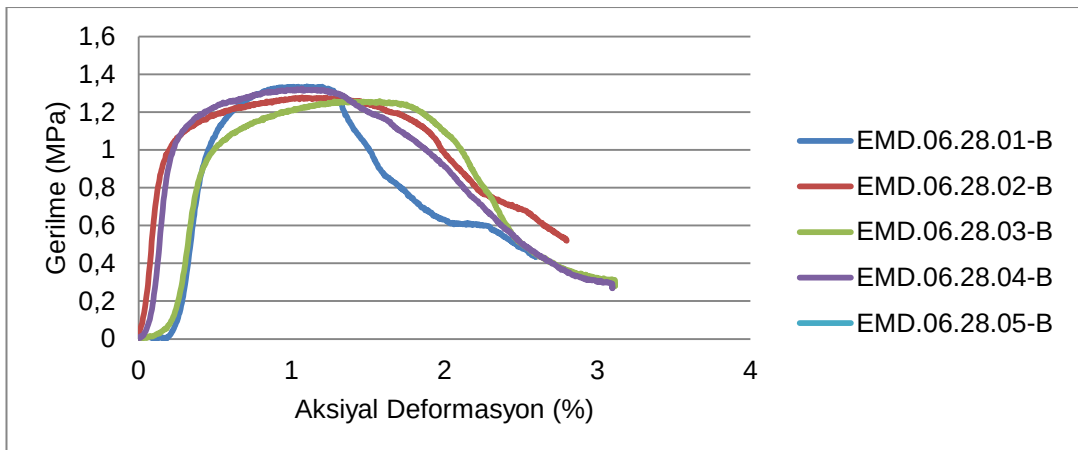
EK A-34



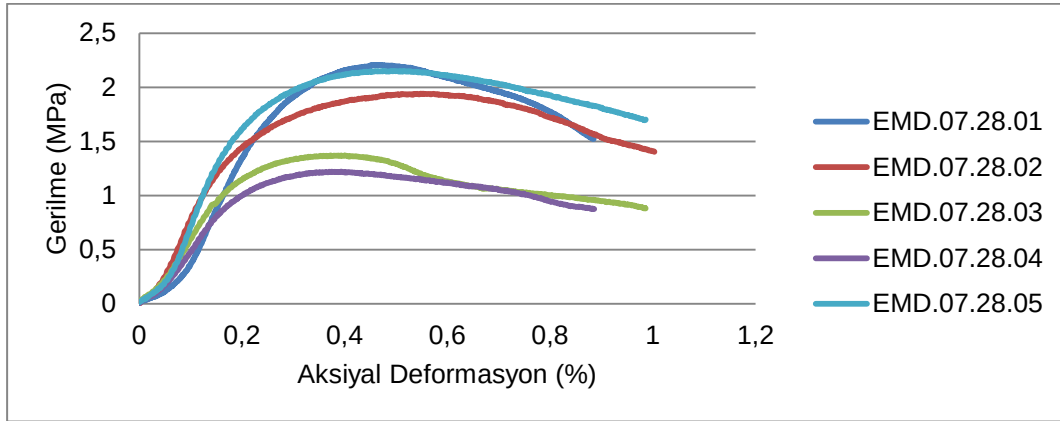
EK A-35



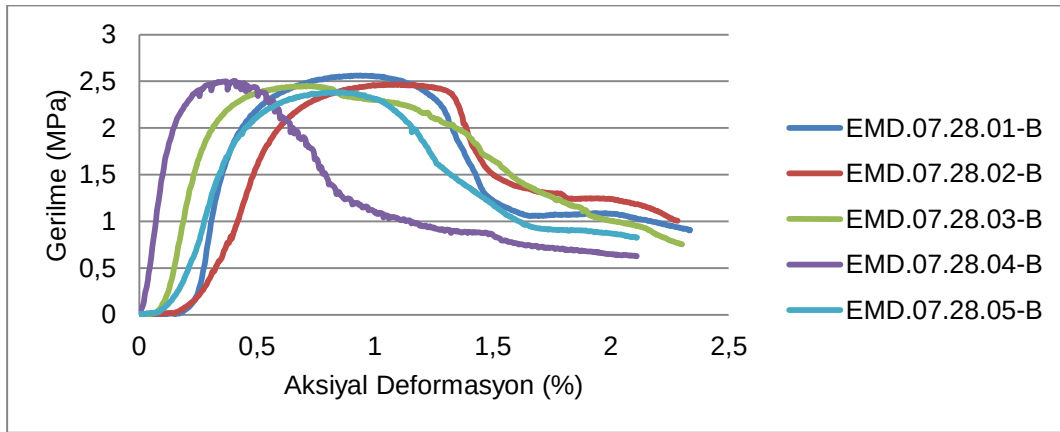
EK A-36



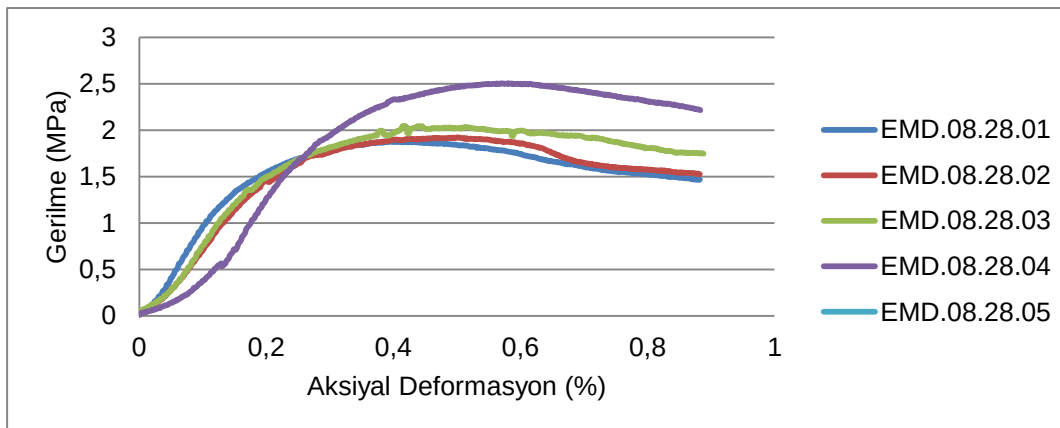
EK A-37



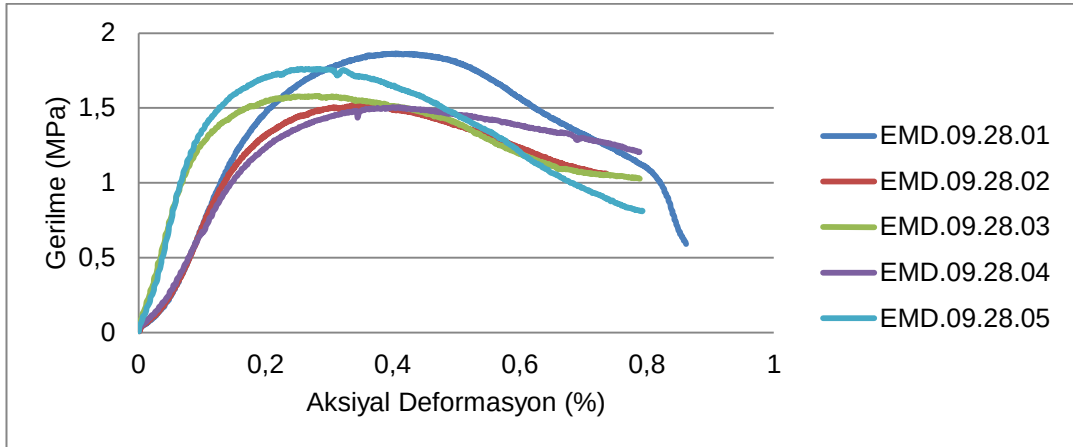
EK A-38



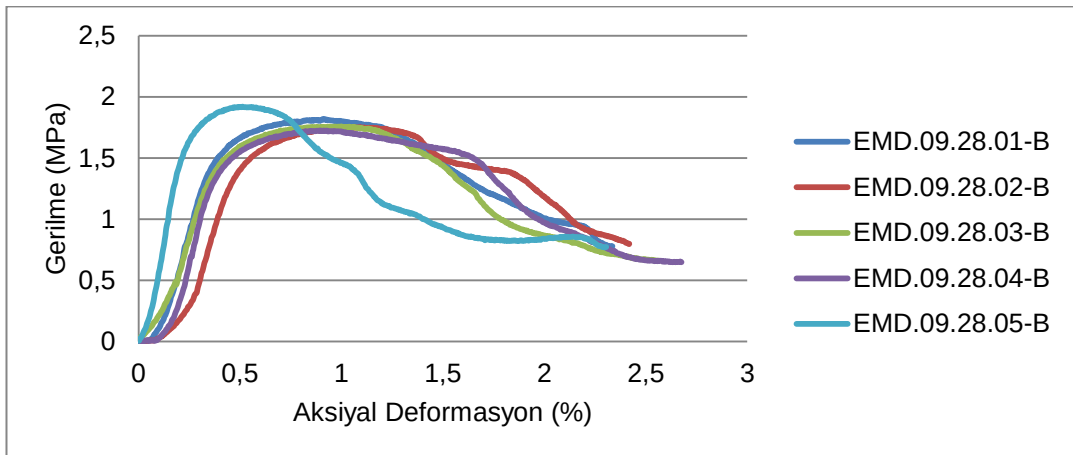
EK A-39



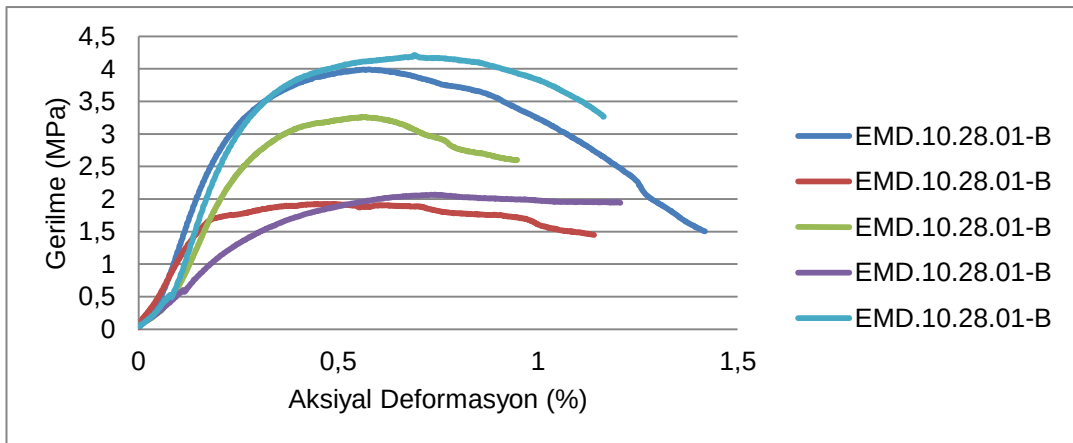
EK A-40



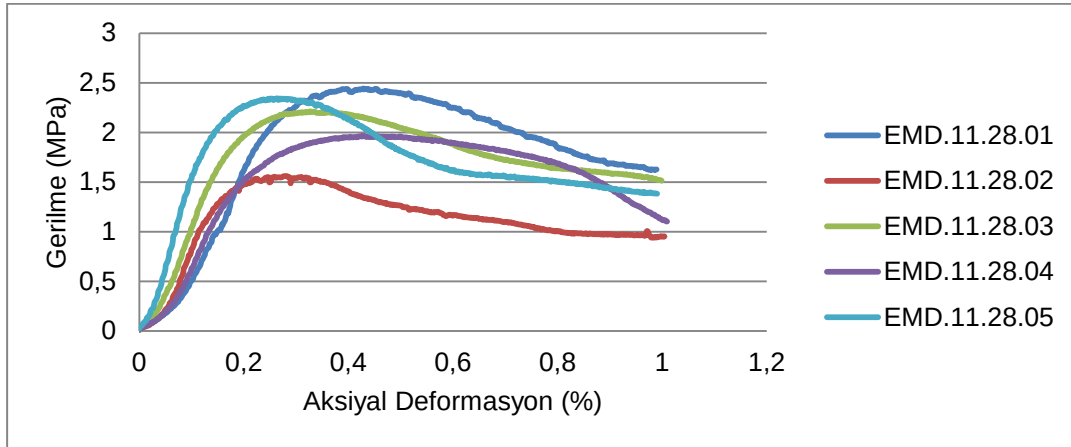
EK A-41



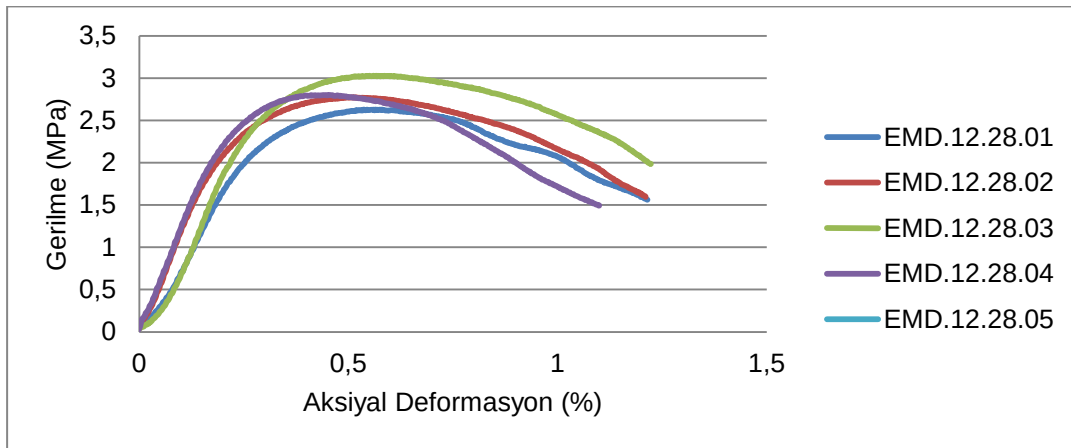
EK A-42



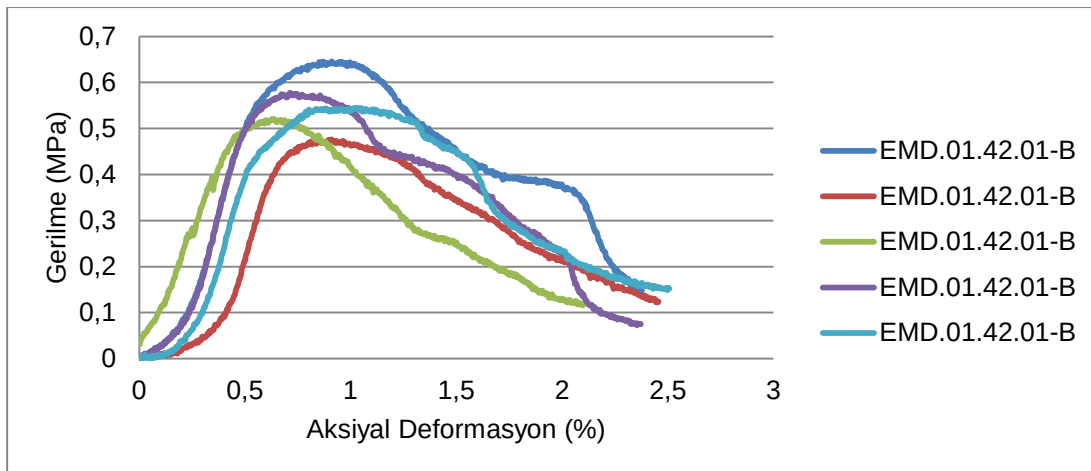
EK A-43



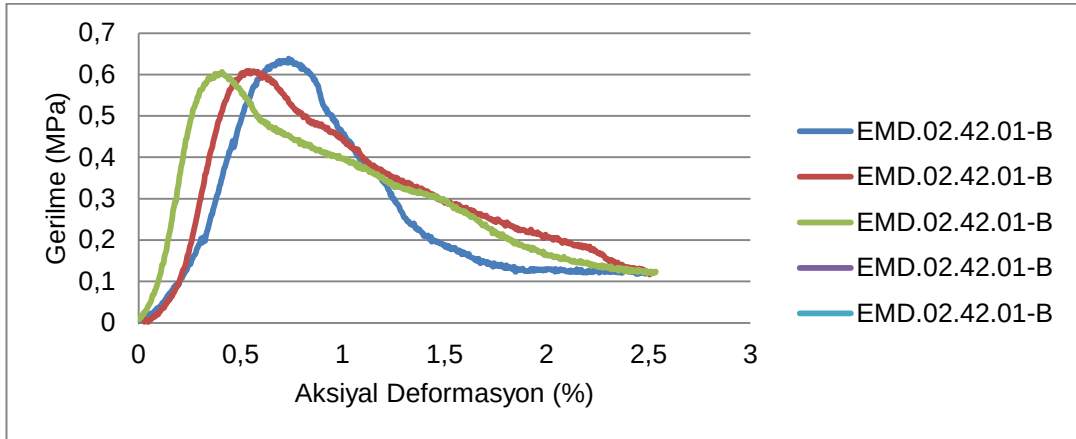
EK A-44



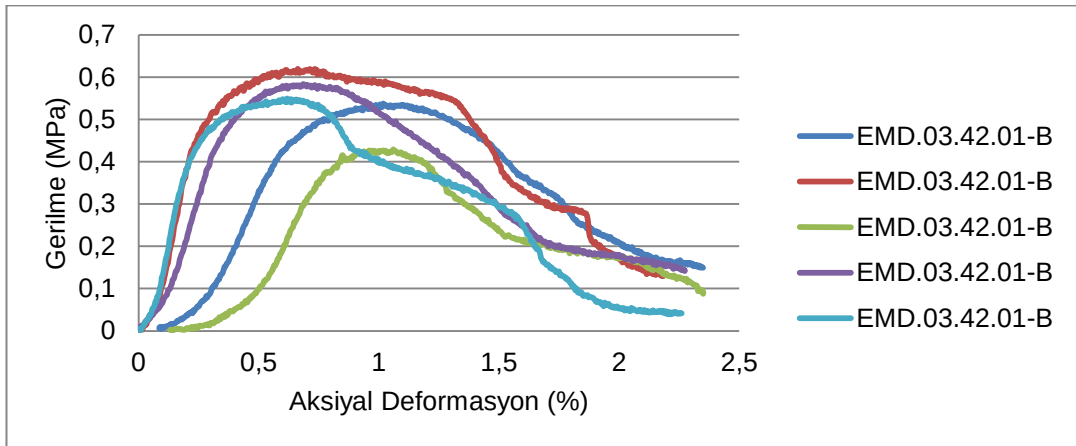
EK A-45



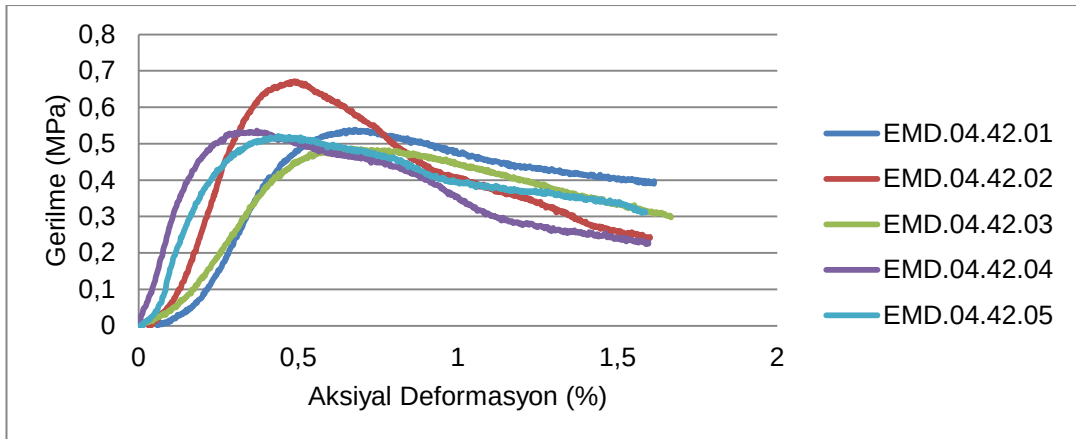
EK A-46



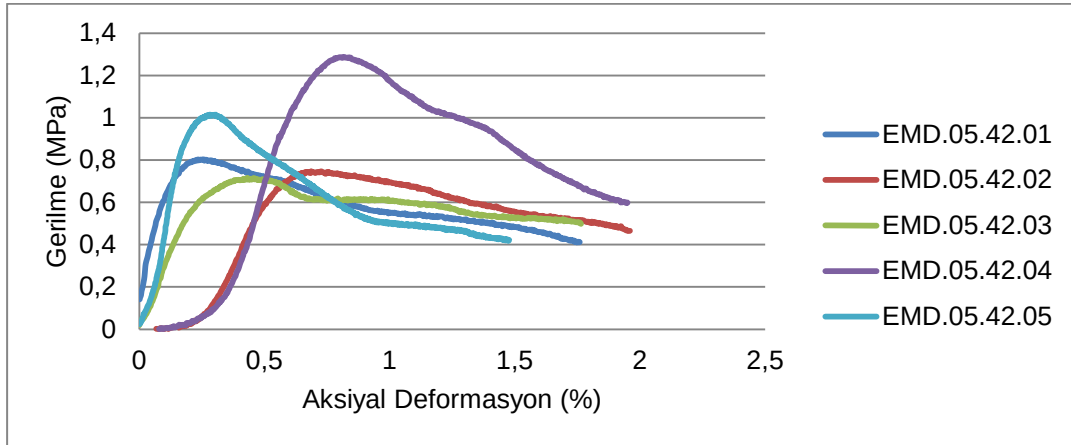
EK A-47



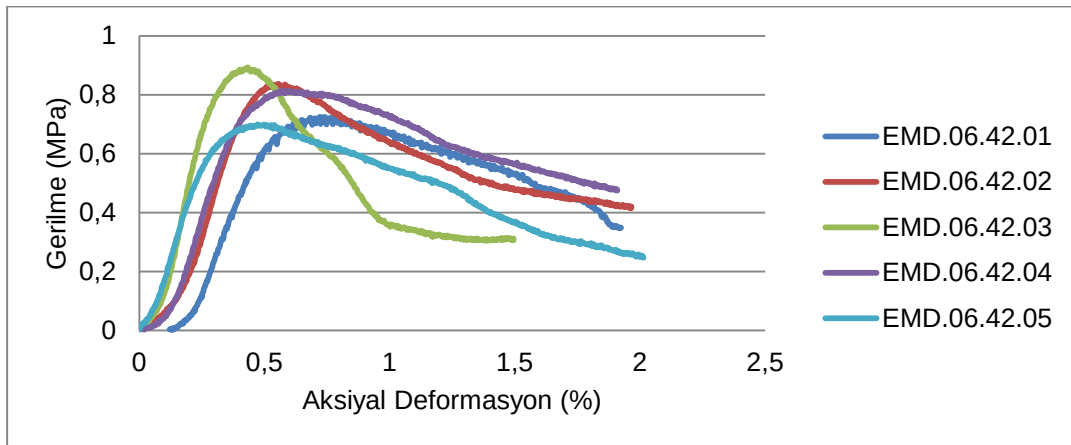
EK A-48



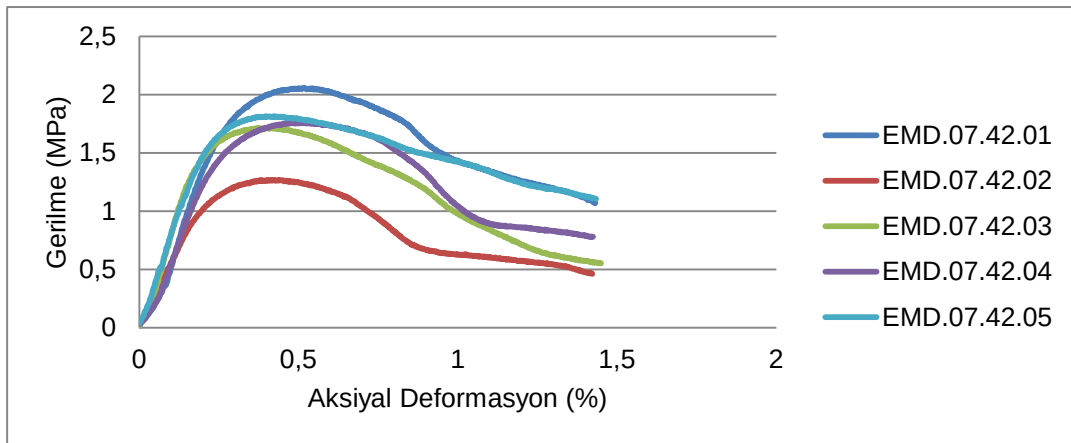
EK A-49



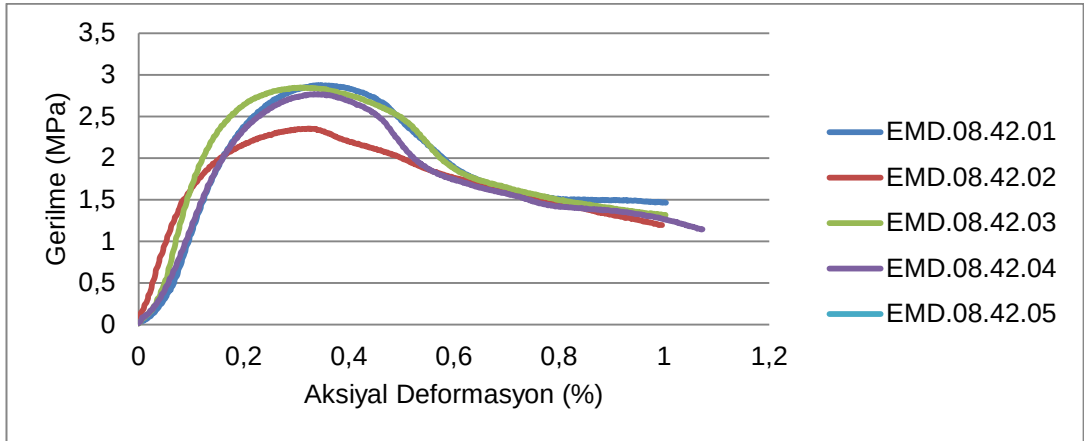
EK A-50



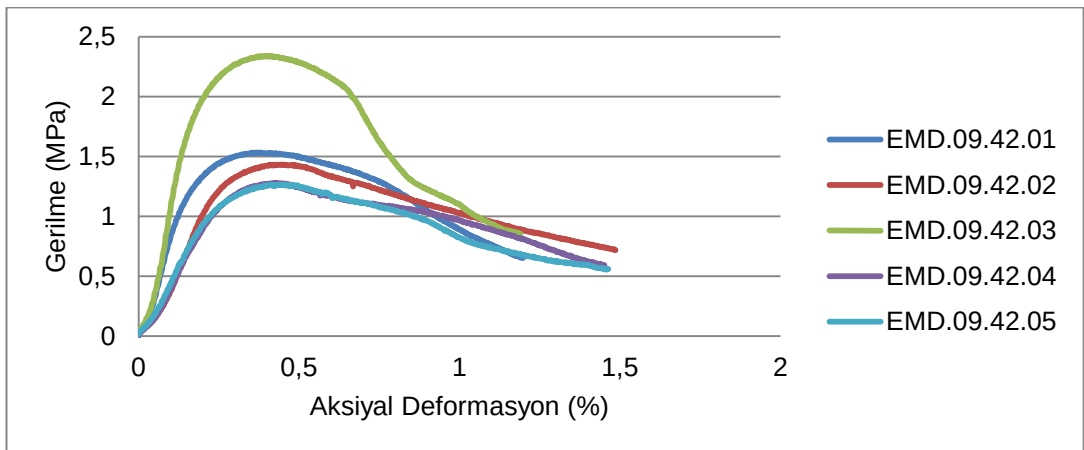
EK A-51



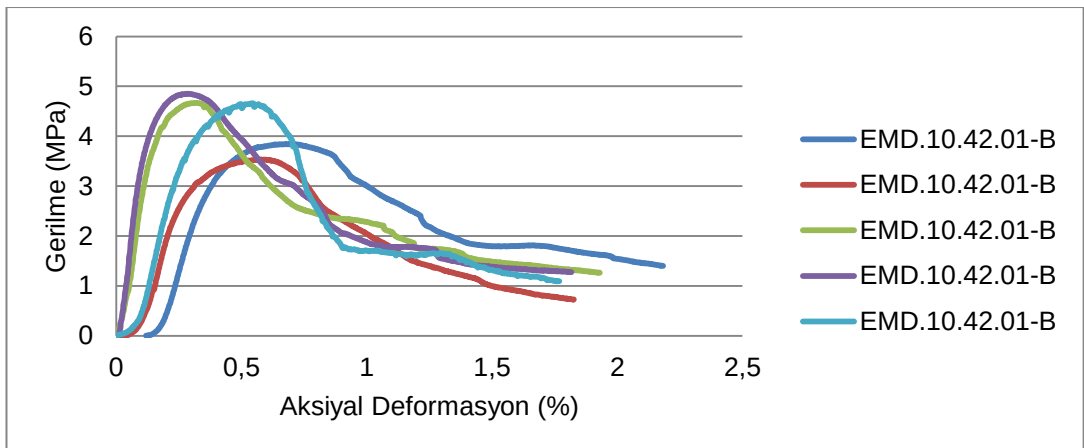
EK A-52



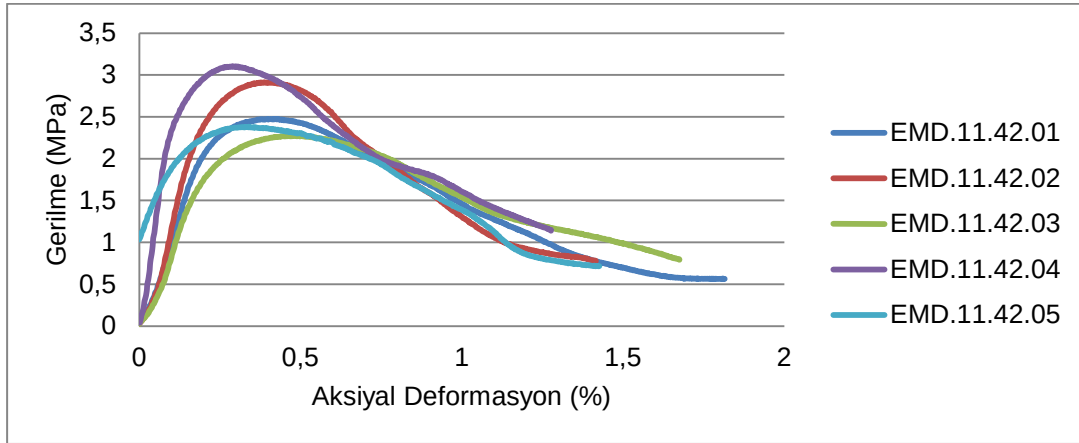
EK A-53



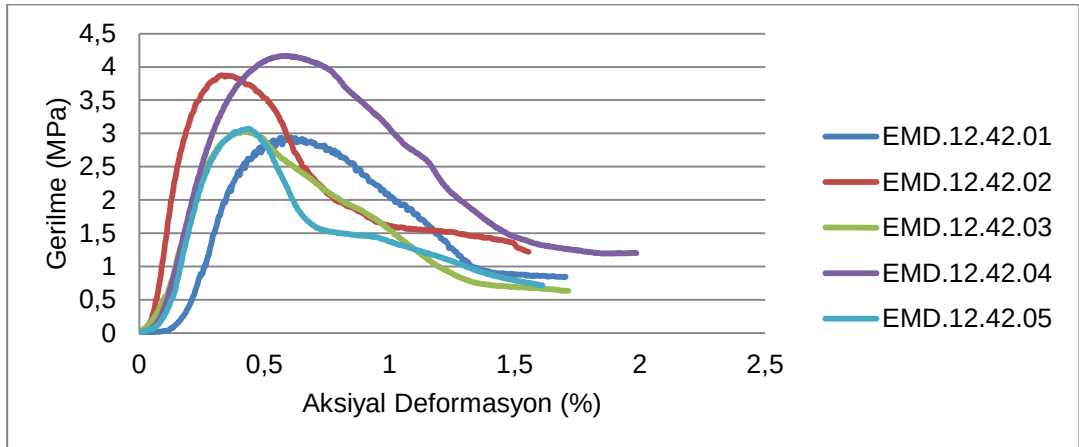
EK A-54



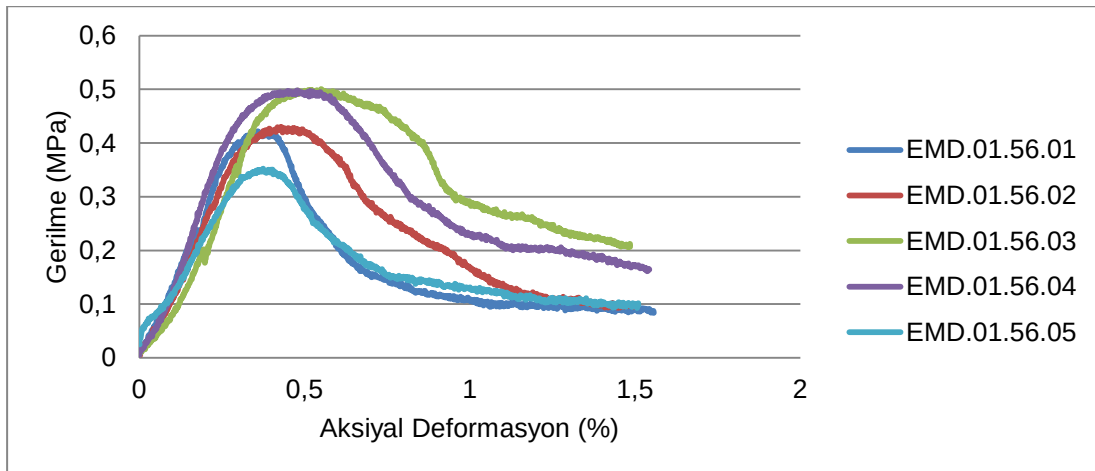
EK A-55



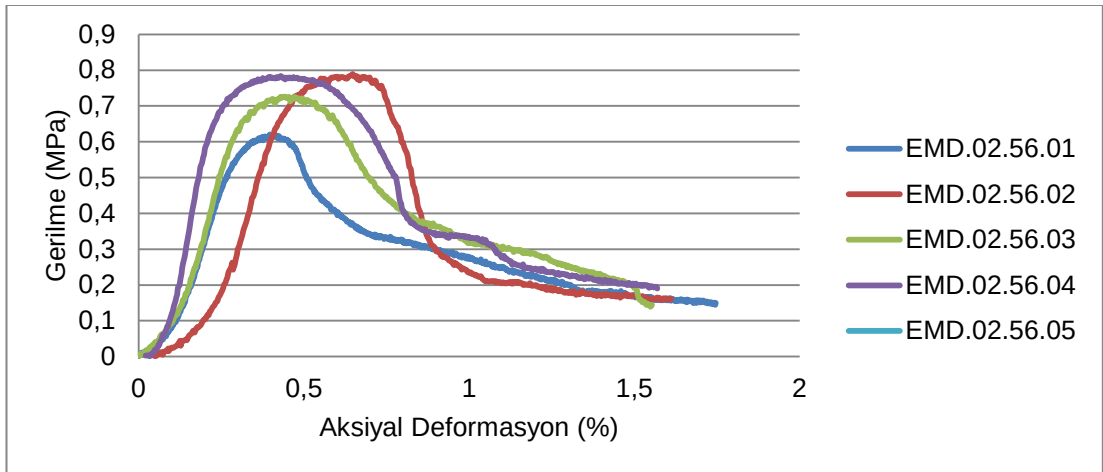
EK A-56



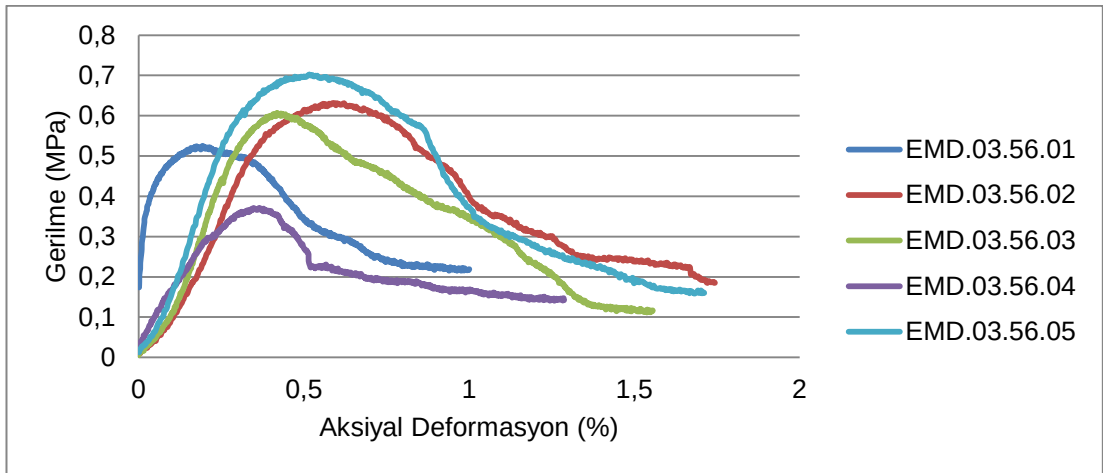
EK A-57



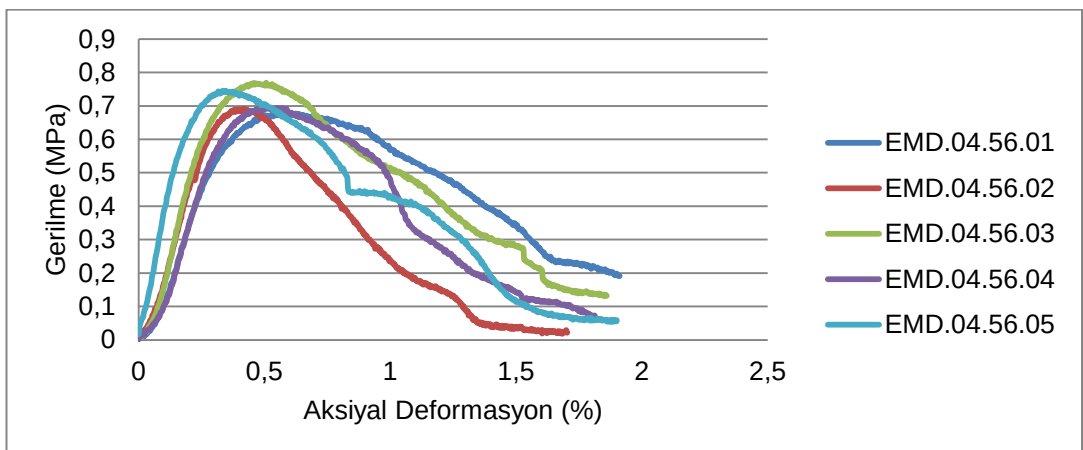
EK A-58



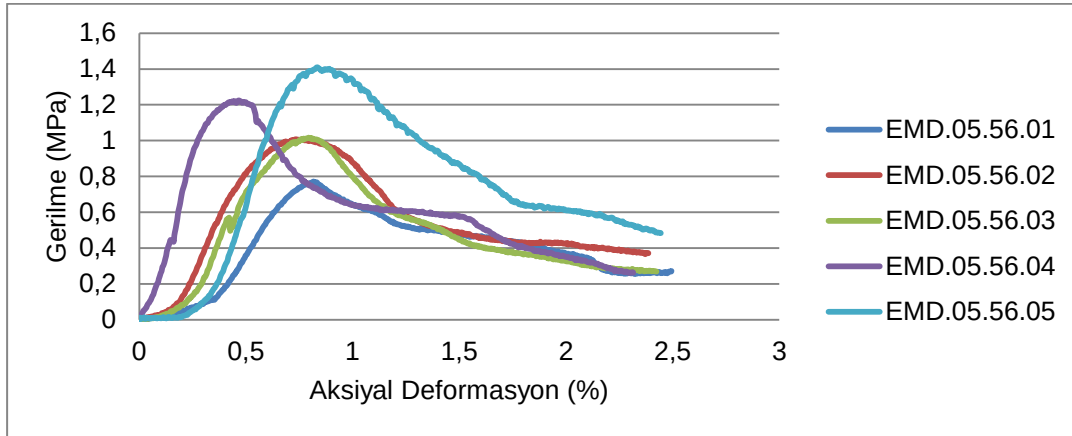
EK A-59



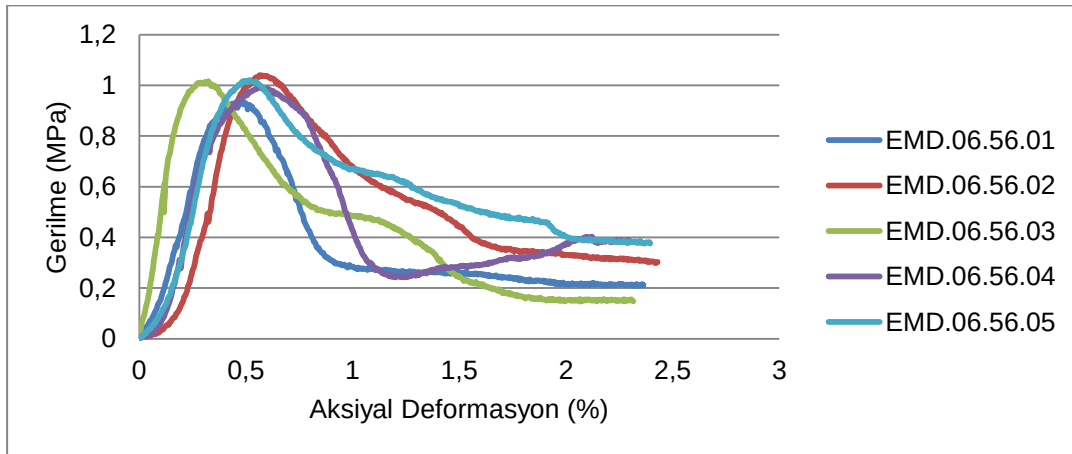
EK A- 60



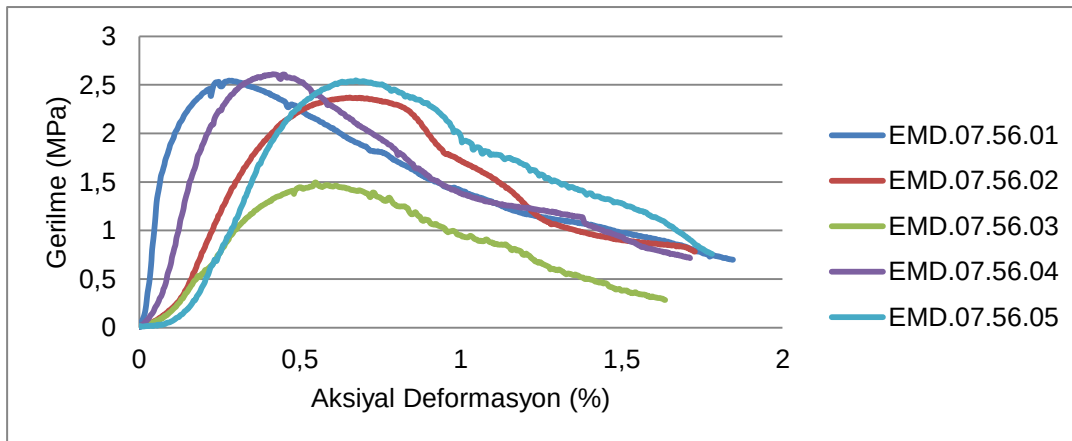
EK A-61



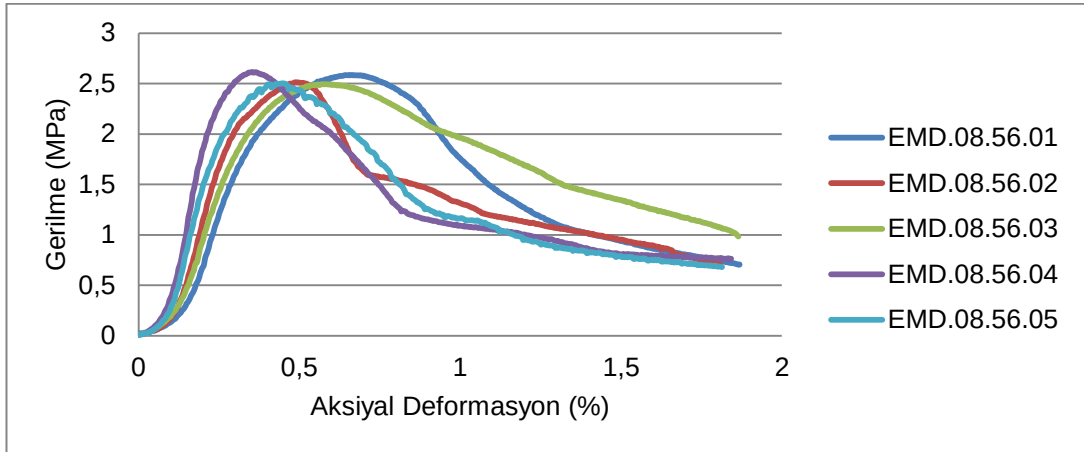
EK A-62



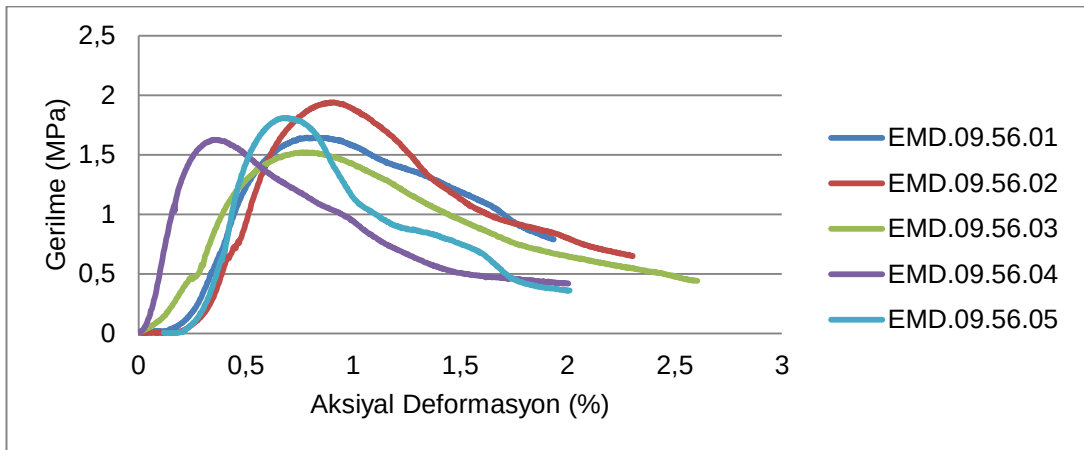
EK A-63



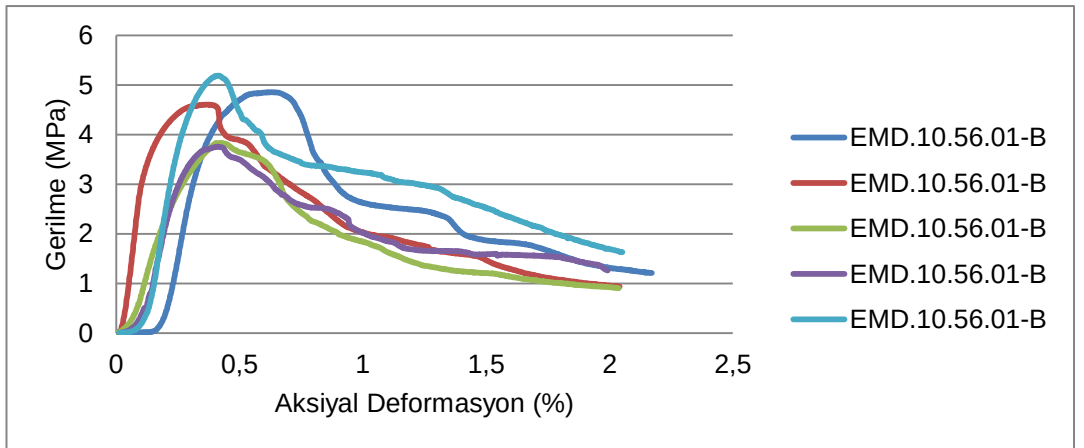
EK A-64



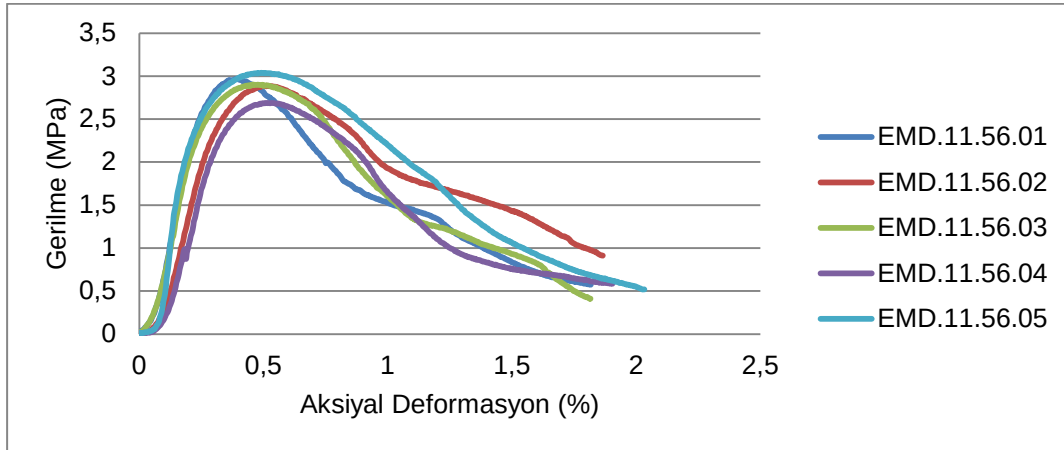
EK A-65



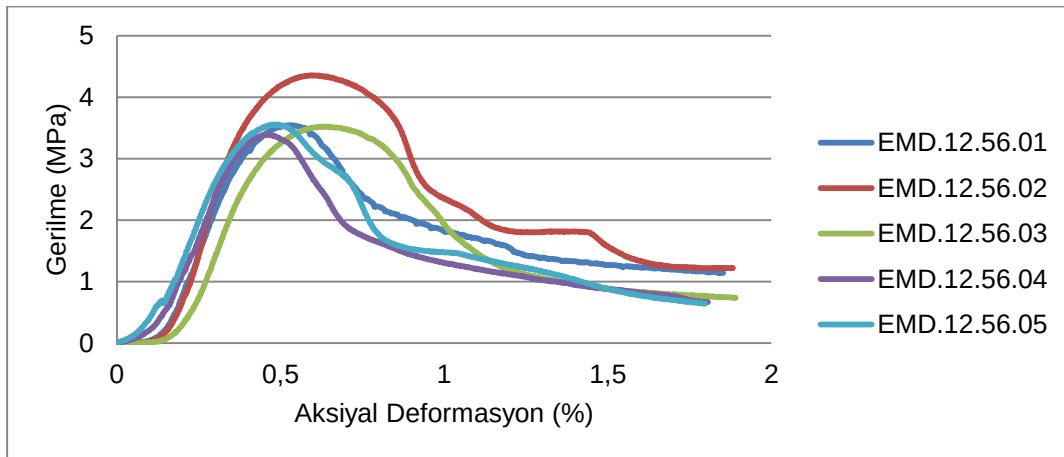
EK A-66



EK A-67



EK A-68



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Ömer Faruk UĞURLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Eminönü/İSTANBUL - 1988
Adres : Güngören/İSTANBUL
E-Posta : ofugurlu@gmail.com
Lisans : İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü
Haziran – 2011

Ömer Faruk Uğurlu 1988 yılında İstanbul’da doğdu. İlkokul öğreniminin ilk 5 yılını Yeşilköy Halil Vedat Fıratlı Beslenmeli ve Etüdlü İlköğretim Okulu’nda yaptıktan sonra kalan 3 yılı Bağcılar Burç Koleji’nde tamamladı. Lise Öğrenimini ise Pertevniyal Anadolu Lisesi – Fatih ‘te tamamladı. 2006 yılında İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü’ne girmeye hak kazandı. 2011 senesinde fakülteden mezun olarak mühendis ünvanı almıştır. Aynı sene İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü’nde Yüksek Lisans öğrenimine kabul edilen Ömer Faruk Uğurlu, 2014 senesi için McGill Üniversitesi-Kanada’da Maden Mühendisliği Doktora programına kabul edilmiştir.

Bu Yüksek Lisans Tezi 25-27 Eylül 2013 tarihinde gerçekleştirilecek olan 13. Üretim Araştırmaları Sempozyumu’nda “Enerji ve Çevre” başlığı altında “Cevher Hazırlama Tesis Atıklarının Yeraltı Açıklıklarına Depolanması” başlığı altında bildiri kabulü almıştır.