

UÇUCU KÜLLERİN DOLGU MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASI: ÖRNEK BİR UYGULAMA (ÇAYIRHAN)

Potential Use of Flyash as a Backfill Material: A Case Study (Çayırhan)

Geliş (received) 14 Nisan (April) 2008; Kabul (accepted) 02 Haziran (June) 2008

İbrahim ÇAVUŞOĞLU(*)

ÖZET

Genellikle yeraltı madenciliği uygulamalarında, cevherin çıkarılmasıyla oluşan boşlukların çeşitli zemin stabilite problemlerine yol açtığı bilinmektedir. Bunun giderilmesi için genellikle açılan boşlukların tamamı ya da bir kısmı dolgu malzemeleriyle doldurulur. Boşluklara doldurulan dolgu malzemesi aynı zamanda yeryüzü tasman oluşumunu azaltmakta ve yeraltı tahkimat ünitelerine de yardımcı olmaktadır.

Dolgu malzemesi olarak genellikle atık kayaç, zenginleştirme atıkları, taş ocağı malzemesi, kum, çakıl ve bağlayıcı gibi malzemeler kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda birçok araştırmaya da konu olan uçucu külün dolgu malzemesi olarak kullanımı da yaygınlaşmaya başlamıştır. Santral atığı olan uçucu küller, pulverize kömürün yakılmasından sonra santral baca filtrelerinde kalan ve genellikle çok ince boyutlu (1µm–200µm) malzemelerdir. Çayırhan yeraltı işletmelerinde uçucu küller yeraltı dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır ve bu çalışmada bu dolgunun uygulanışı gösterilmektedir. Ayrıca laboratuvar ortamında, uçucu kül ve çimento kullanılan dolgu karışımına değişik oranlarda priz hızlandırıcı ve süperakışkanlaştırıcı (SA) ilave ederek priz başlangıç-bitiş sürelerine ve dayanıma olan etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Yeraltı Dolgu, Uçucu Kül, Priz Süresi, Mekanize Uzunayak.

ABSTRACT

It is known that cavities created by extracting ore generally cause various ground stability problems during underground mining operations. In order to avoid these problems, whole or some part of these created cavities is generally filled with backfill materials. Materials used for backfilling of cavities reduce the ground subsidence and also sustain the underground support systems.

Types of materials such as waste rock, mill tailings, quarried rock, sand, gravel and binder are generally used as backfill materials. Particularly in recent years, utilization of fly ash as a backfill material, which has examined by many researchers, has become widespread. The fly ashes which are waste materials of power plants are fine materials (1µm–200 µm) remaining in the power plants' filter after the combustion of pulverized coal. For the years, fly ashes have been used as backfill materials in Çayırhan underground operations and this way of backfilling is being studied in this paper. In addition to this, in the laboratory, the effects on initial set time-last set time and strength were investigated by adding different ratios of set-accelerator and superplasticizers to this backfill mixture with cement and fly ash.

Anahtar Sözcükler: Underground Backfill, Fly Ash, Setting Time, Mechanized Longwall.

(*) Maden Yük. Müh., Park Termik Elektrik San. ve Tic. A.Ş. cavusogluibrahim@hotmail.com

1. GİRİŞ

Madencilikte, yeraltından cevherin çıkarılmasından sonra doldurulması gerekli büyük boşluklar oluşmaktadır. Maden dolgusu, ekonomik olarak çalışma ortamını güvenli halde tutmak için madencilikle oluşturulan bu boşlukların tamamına veya bir kısmına doldurulan malzeme veya malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Özellikle son yıllarda dolgu malzemesi olarak genellikle maden işletmelerinin atıkları kullanılmaktadır. Maden atıklarının yeraltında kullanılmasıyla, yüzeyde yeniden atık barajlarının veya atık depolama alanlarının yapılmayacak olmasından dolayı çevresel etki azaltılmış olur. Ayrıca bölgesel stabilite ve madenin bulunduğu faaliyet alanının daha güvenli olması ve ekonomik madenciliğin oluşması için kullanılabilir bir malzeme temin edilmiş olur (Benzaazoua, vd. 2002; Rankine, 2002; Sivakugan(a), vd. 2006).

Son yıllarda atık malzemelerin depolanma alanlarında ve çevresel problemlerden kaynaklı yaşanan sıkıntılar nedeniyle, özellikle madencilik ve inşaat sektörlerinde atık malzemelerin dolgu olarak kullanımında büyük bir artış söz konusu olmaktadır. Madencilikte genellikle yeraltı uygulamalarında kullanılan dolgunun yeraltı kömür işletmelerinde kullanılmasının avantajlarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz (Didari, 1992; İstanbulluoğlu, 1995; Shimada, vd. 2003);

1. Cevheri alınmış bölgelerin doldurulmasıyla zemin kontrolü ve tahkimatin güçlenmesi
2. Özellikle oda-topuk ve uzunayak madencilik sistemlerinde kömür kazanımının artması
3. Göçük içine oluşabilecek hava sızıntısını önleyerek taban yolunda yangın ve zehirli gaz oluşma riskini azaltması
4. Atık kayaçlar ve kömür hazırlama tesis atıklarıyla ilgili olarak çevresel kontrolünün artması
5. Birleşik madencilik alanları arasında kısa devre havalandırmayı azaltması
6. Atıkların atık havuzlarına ve boş alanlara nakliye maliyetini azaltması ve dolayısıyla bu faaliyetleri gözleme ve bakım maliyetlerini de azaltması.

Yeraltında madencilikle oluşturulan boşluklara doldurulan malzeme veya malzemeler olarak bilinen maden dolgusunun genel olarak sağladığı faydalar ve maliyetler çizelge 1'de görülebilir.

Mevcut dolgu çeşitleri arasında geçmişten günümüze birçok isimle adlandırılan dolgular olmasına karşın temelde kaya dolgusu, hidrolik dolgu ve son zamanlarda artan biçimde macun dolgu kullanılmaktadır. Bu dolgu tipleri arasındaki fark kullanılan malzeme ve boyutundan kaynaklanmaktadır. Dolgular kendi içlerinde çimentolu veya çimentosuz yapılar şeklinde de ayırt edilebilir. Uygulamada kullanılacak dolgu ise tamamen madencilik üretim yöntemine, arazi şartlarına, uygulama kolaylığına ve ekonomisine

Çizelge 1. Dolgunun Faydaları ve Maliyetleri (Anon, 2007).

Faydaları	Maliyetler
<u>Ekonomik:</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Daha yüksek kazı oranı sağlar▪ Seyrelmeyi azaltır▪ Topuk kazanımına yardımcı olur	<u>Ekonomik:</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Bağlayıcı kullanıldığında maliyeti artar▪ Madencilik evresinde gecikmeler ortaya çıkar▪ İlave insan gücü ve alt yapı gereksinimi▪ Dolgu sebebiyle seyrelme
<u>Emniyet:</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Dolgu, madenin bulunduğu bölgede stabiliteyi sağlar▪ Kaya patlamaları riskini azaltır	<u>Emniyet:</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Atıkların sınıflandırılması ve kalıp hataları nedeniyle oluşan risk▪ Birleştirilmiş dolgu kalıplarının çökmesiyle oluşan risk▪ Dolgunun yeteri kadar doldurulmaması ve boşluklu yapısından dolayı oluşacak gaz sızıntı riski
<u>Çevre:</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Dolgu, atıkların bertaraf edilmesine yardımcı olur ve böylelikle yeryüzünde oluşabilecek karışıklıklar minimize edilmiş olur	<u>Çevre:</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Zemin suyu kirlenmesi

bağlı olarak seçilmektedir (Çavuşoğlu, 2007).

Düşük maliyeti nedeniyle yeraltı boşluklarının doldurulmasında yaygın olarak hidrolik dolgu kullanılmaktadır. Bunun nedeni madencilik metoduna uygun olarak çimentolu veya çimentosuz biçimlerde yapılabilmesidir (Kuganathan, 2007). Hidrolik dolgu bazen klasik dolgu, bulamaç dolgu veya kum dolgusu olarak da ifade edilmektedir. Genel prensibi ince (kum) boyuttaki katı taneciklerin su ve bağlayıcı ile karıştırılarak hidrolik güç ünitesiyle çalışan ekipmanlarla yeraltına nakliyesidir. Karışım katıların özgül ağırlığına bağlı olarak ağırlıkça yaklaşık %60–75 oranında katı içermektedir (Sivakugan(b), 2006; Anon, 2007).

2. UÇUCU KÜL (SANTRAL ATIĞI)

Toz haline getirilmiş kömürün yanması sonucu ve yanma kazanlarından dışarı çıkan gazlar tarafından taşınan çok ince tanelere ayrılmış tortulara “uçucu kül” denir. Uçucu küller, kömür yakarak elektrik ve buhar üreten tesislerden elde edilir. Toz haline getirilen kömür hava yardımıyla, doğrudan tutuşmasını sağlamak amacıyla kazanların yanma odalarına üflenir ve burada ısı üretimi ve erimiş mineral tortular elde edilir. Kazanlardan gelen ısı kazan borularıyla çıkartılarak baca gazının soğuması ve erimiş mineral tortunun sertleşmesi sağlanır ve böylelikle kül şekillenmiş olur (Anon, 2003).

Bugün dünyada ortaya çıkabilecek uçucu kül miktarı, yılda 600 milyon ton civarındadır. Türkiye’de halen Afşin–Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleri olmak üzere 11 termik santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallerden yıllık uçucu kül üretimi, ortalama 16 milyon ton (2006 yılı ortalama veri) kadar olmakta, ancak doğalgaz santrallerinin devreye girmesi ile yıldan yıla değişmektedir (Türker, vd. 2007; TUİK, 2008).

Termik santrallerde çok ince öğütülerek yakılan kömürden dört farklı şekilde ürün elde edilmektedir (Türker, vd. 2007; Açar, 2007);

1. Göreceli olarak iri taneli olup baca gazları ile taşınamayan ve kazan tabanına düşen “taban külü”,
2. Siklon tipi ocaklarda yakılan kömürün suda

soğutularak uzaklaştırılması ile elde edilen “ham kül”,

3. Çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan “uçucu kül”.

4. Desülfürizasyon tesisi bulunan santrallerde sülfür içeren gazların, baca gazlarından ayrılması sırasında oluşan ürüne “baca gazı desülfürizasyon atıkları” denir.

Kaba kül parçacıkları, taban külü veya cürufu olarak adlandırılır ve yanma odalarının tabanında kalırlar. Uçucu kül olarak adlandırılan çok ince tanecikler ise baca gazında askıya geçerler. Baca gazının dışarıya salınmasından önce, elektrostatik çöktürücü ve fabrika baca filtreleri gibi bir takım emme özellikli araçlarla uçucu küller toplanır.

Uçucu küller genellikle inşaat ve karayolları mühendislik uygulamalarının içerdiği; portland çimentolu betonlar, çimento imali, toprak veya yol stabilizasyonlarında, akışkan dolgular, zeminler, yapısal dolgu ve asfalt dolgusu gibi alanlarda kullanılmaktadır (Anon, 2003). Bunların yanında özellikle madencilik alanında dolgu malzemesi olarak kullanımında da son yıllarda artış görülmektedir.

Uçucu kül taneleri çoğunlukla küresel yapıda olup, büyüklükleri 1–200 µm arasında değişmektedir. Bir uçucu külün tane boyutları termik santrallerdeki kül toplama yöntemi ve ekipmanına bağlıdır. Uçucu küllerin renkleri açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar değişiklik gösterebilir. İçindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça uçucu küllerin renkleri koyulaşır. Uçucu kül çimento inceliğinde, kohezyonlu zemin ya da kil görünümüne ve sıkıştırıldığında düşük geçirimsilikte bir maddedir (Açar, 2007).

Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları santralde kullanılan kömürün içerdiği mineral safsızlıklarının tipi ve miktarına bağlıdır. Genellikle uçucu küllerin %85’ini SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO ve MgO oluşturur (Açar, 2007).

3. ÇAYIRHAN YERALTI İŞLETMESİNDE DOLGULU ÇALIŞMA

Yaklaşık 400 milyon ton kömür bulunan Çayırhan havzasında kömür, bir ara kesmeyle ayrılarak iki damar halinde konumlanmıştır. Bu iki damarın 150 m altında henüz işletmeye alınmamış ve kalınlığı 2–11 m arasında değişen üçüncü

bir kömür damarı daha mevcuttur. Sahanın batısında iki damar arasındaki ara kesme kalınlığı 1,2–1,8 m kalınlığında iken sahanın doğu kesiminde ara kesmenin kalınlığı 0,5–1 m arasında değişmektedir. Bu nedenle sahanın batısında (B sahası) iki damar ayrı ayrı çalışılacak şekilde planlanırken sahanın doğusunda ise (C ve G sahasları) tek ayak çalışılacak şekilde planlanmıştır ve bütün makine-ekipman buna göre seçilmiştir (Aydın, 2000).

Çayırgan yeraltı işletmelerinde kömür üretimi dönümlü göçertmeli uzun ayak şeklinde tam mekanize olarak gerçekleştirilmektedir. Dolgu sistemin bir parçası olmasından dolayı sistemi tam olarak “dönümlü göçertmeli dolgu tam mekanize uzun ayak yöntemi” şeklinde tarif etmek de mümkündür.

Yöntemde taban yolu ihtiyacını en aza indirmek, rezervlerin daha iyi kullanılmasını sağlamak, kömürün kendiliğinden yanma riskini azaltmak için her sahada panoların alt taban yolları bir sonraki pano için üst taban yolu olacak şekilde planlanmıştır. Bu panolarda ayak başlarına yapılan dolgu taban yollarında bulunan mevcut tahkimat sistemine destek olarak bir sonraki panoda kullanımı için yardımcı olmaktadır.

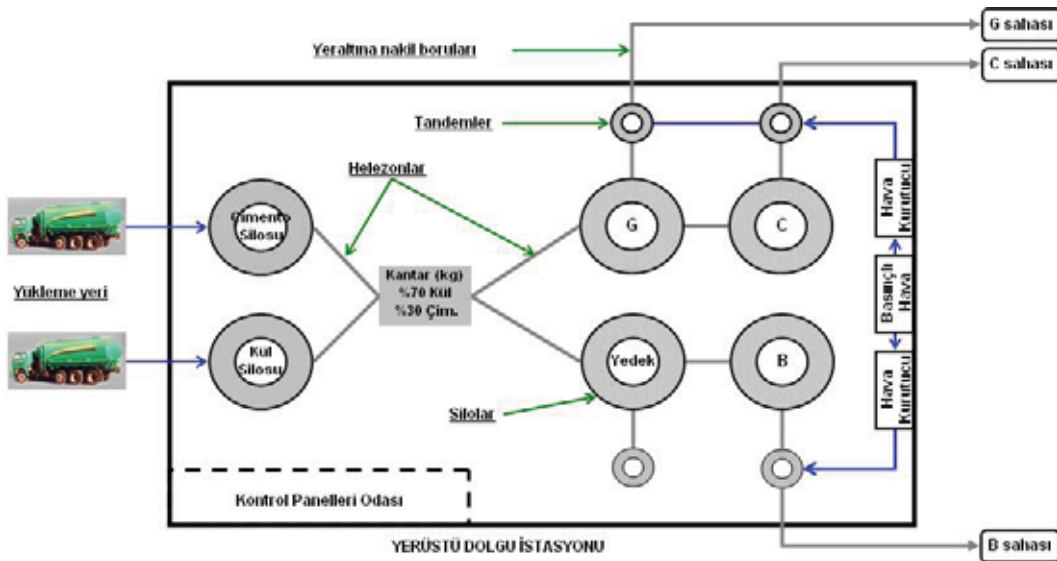
3.1. Yerüstü Dolgu Tesisi

İşletmede dolgu malzemesi ilk olarak yerüstü tesisinde kuru bir biçimde karıştırılarak basınçlı hava ve borular yardımıyla yeraltına

nakledilmektedir. Yerüstü tesisinde 4 adet karışım ve 1'er adet kül ve çimento silosu olmak üzere 100 ton kapasiteli toplam 6 adet silo bulunmaktadır (Şekil 1). İlk olarak termik santral atığı olan kül ve piyasadan temin edilen portland kompozite çimento (Cem II 42,5 R) silo kamyonlar vasıtasıyla çimento ve kül silosuna boşaltılmaktadır. Buradan ağırlıkça %75 kül ve %25 çimento olacak biçimde otomasyon haline getirilen kantarda malzemelerin tartımı yapılır ve bu karışım malzemesi taşıyıcı helezonlar vasıtasıyla ocakların karışım silolarına aktarılır. Karışım malzemesi basınçlı hava sistemi ile yeraltında konumlandırılmış ara istasyon adı verilen ve 20 m³ kapasiteli olan silolara kuru bir biçimde nakledilir. Ara istasyonlar malzemenin yeraltına çok uzun mesafeden olan kaybını ve olası arızaları en aza indirmek için konumlandırılmışlardır. Basınçlı hava, sistemde nemden kaynaklı herhangi bir tıkanıklığa sebebiyet vermemesi açısından hava kurutuculardan geçirilmektedir.

3.2. Yeraltı Dolgu İşleyişi

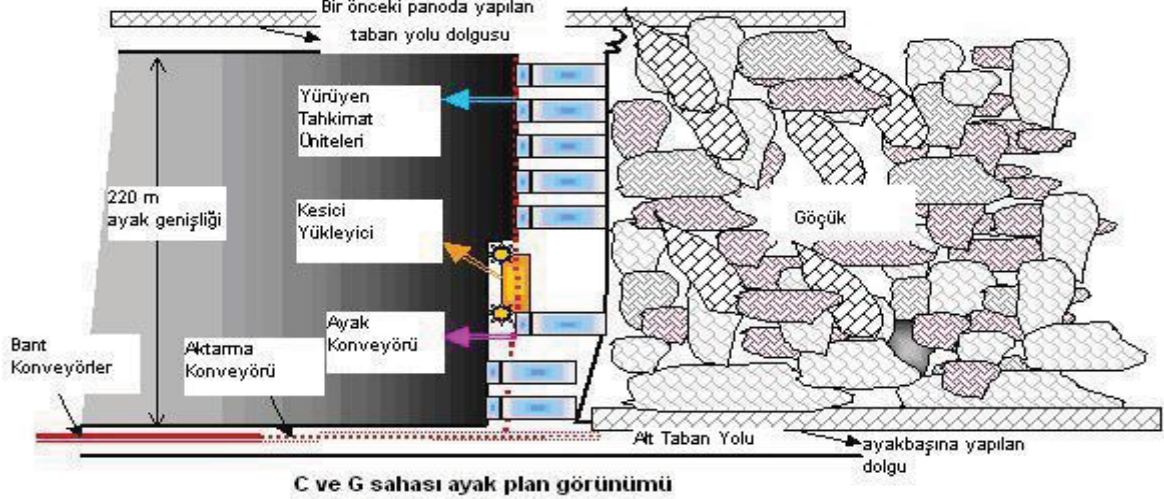
Yeraltında ara istasyondan ayrı olarak ayakbaşlarına yakın mesafelerde ayakbaşı dolgu istasyonları mevcuttur (Şekil 2). Ara istasyonlardan gelen kuru malzeme buradaki nispeten daha küçük (8 m³) kapasiteli siloda toplanmaktadır. Artık dolgunun nihai olarak bulamaç (macun kıvamı) halini aldığı bölge burasıdır. Mikserler vasıtasıyla yeteri kadar su ile (katı oranının yaklaşık %30-35'i kadar)



Şekil 1. Yerüstü dolgu karışım istasyonu (Çavuşoğlu, 2007).

Şekil 4'de tek ayak yöntemiyle üretim yapılan C ve G sahasında üretim yapılan bölgenin plan görünümü görülmektedir. C ve G sahasında sadece ayak başlarında kalıp yapılıp dolgu alın-

maktadır. Kalıbın genişliği 3 metre civarında olup yüksekliği ise kömür kalınlığına bağlı olarak genelde 4–4,7 m civarında olmaktadır.



Şekil 4. C ve G sahaları ayak plan görünümleri (İbuk, 2006).

Yeraltında kullanılan dolgunun diğerlerinden farkı, alınır alınmaz ya da çok kısa sürede zamana göre değişken ve önemli büyüklükteki arazi yükleri altında kalacak olmasıdır. Dolgunun mukavemeti genel olarak yapıldığı andan itibaren zamana bağlı olarak artar. Üretim yapılan bölgede, bir yandan arazi basınçları zamana bağlı olarak artarken diğer yandan bunu karşılayacak dolgunun mukavemeti de artmaktadır. Burada önemli olan dolgunun yeraltı tahkimat ünitesiyle birlikte arazi basınçlarına yeteri kadar mukavemeti sağlayıp arazi basınçlarını karşılayabilmesidir (Çavuşoğlu, 2007).

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR ve İRDELEME

4.1. Uçucu Kül ve Çimento

Çayırhan termik santrali atığı olan ve yeraltı dolgu uygulamaları ve farklı endüstriyel alanlarda kullanıma sunulan uçucu kül üzerine elek analizi ve kimyasal analizler yapılarak malzemenin boyut dağılımı ve hangi kül sınıfına dahil olduğu belirlenmiştir.

Yapılan analizlerden de görüldüğü üzere Çayırhan uçucu külü S+A+F >%70 koşulunu sağladığından dolayı ASTM standardına göre F sınıfına, reaktif kireç miktarının <%10

olmasından dolayı V (silissi uçucu kül) sınıfına dâhil olmaktadır. Ancak analitik CaO miktarının >%10 olmasından dolayı kireçsi kül sınıfına da girmektedir. Bütün bu değerlerden yola çıkarak Çayırhan uçucu külünün standartlardaki değerleri karşıladığı görülmektedir. Uçucu kül ve çimentoya ait değerler çizelge 2'de verilmiştir.

Dolguda kullanılacak malzemeler genellikle farklı tür ve atık malzemelerden kullanıldıkları için ortak tane boyu dağılımına yönelik kabul görmüş bir boyut dağılım grafiği olmamasına karşın dolguda kullanılacak malzemenin tane boyu dağılımının iyi bilinmesi gerekmektedir. Malzemenin tane boyu dağılımı dolgu nakliye işlemini etkilemektedir. İyi bir boyut dağılımına sahip olmayan dolgu malzemesini yerleştireceği alana homojen bir şekilde transfer etmek zor olmaktadır. Bu transfer sonrasında kalıp içerisindeki dolguda bir ayrışma ve sivilaşma görülmekte ve bu durumda da dolgunun uzun dönemli dayanım ve durabilitesi olumsuz yönde etkilenmektedir. Genellikle dolgu karışımı içindeki malzemenin optimum bir tane boyu dağılımı göstermesi için her tane boyut aralığından malzeme içermesi gerekmektedir.

Çayırhan uçucu külüne ait elek analiz değerleri çizelge 3'de görülmektedir. Elek analizinde 45µm elek altı malzemenin %57,96 gibi iyi bir değerde olduğu düşünülmektedir. İnce boyutlu

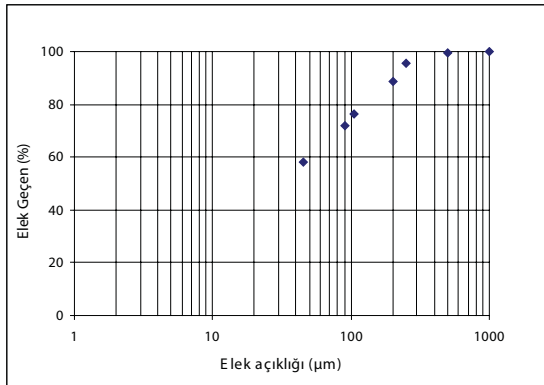
Çizelge 2. Çayırhan Uçucu Külü ve Kullanılan Çimentonun Kimyasal Yapısı ve Bazı Fiziksel Özellikleri.

Oksit (%)	Uçucu Kül	Çimento	Uçucu Kül Sınıfı				Çimentonun Fiziksel Özellikleri				
			ASTM C618		TS 639	TS ENV197-1					
			F	C		V	W				
SiO ₂	50,38	23,68						Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,11		
Al ₂ O ₃	14,06	6,77						Priz Başlangıç	3 s 05 dk		
Fe ₂ O ₃	9,90	3,32						Priz Sonu	3 s 47 dk		
S+A+F	74,34	33,77	> 70	> 50	> 70			Özgül Yüzey (cm ² /gr)	4328		
CaO	13,25	58,22						Çimentonun Basıncı Davanımı (N/mm ²)			
MgO	1,20	1,18						2 günlük	25,8		
SO ₃	3,16		< 5	< 5	< 5			28 günlük	57,1		
K ₂ O	1,97							Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri			
Na ₂ O	3,18							Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,25		
KK	0,86	2,44	< 5	< 5	< 10	< 5	< 5	Rutubet	0,3 TS639 (< 5)		
Cl	0,17	0,01						Uçucu Külün Puzolanik Aktivite İndeksi (%)			
Serb. CaO	0,91	0,44						28 günlük	73 TS639 (>70)		
Reak. SiO ₂	40,89										
Reak. CaO	8,78										

malzemelerin iri taneler arasında kalan boşlukları doldurmak sureti ile düşük çimento içeriklerinde yüksek dayanım verdiği bilinmektedir (Yılmaz, 2003).

Çizelge 3. Elek Analizi

Elek boyutu (µm)	% Geçen
1000	100,00
500	99,37
250	95,64
200	88,73
106	76,20
90	71,68
45	57,96



Şekil 5. Elek analizi grafiği.

4.2. Karışım Deneyleri

Çayırhan işletmesinde yeraltı üretim yönteminin çok hareketli olmasından dolayı üretimin aksamaması ve sürekliliği için yapılan dolgunun

da üretime ayak uydurması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bunun neticesinde dolgu olarak kullanılacak olan malzemelerin de bu çerçevede seçilmesi ve kullanılması gerekmektedir. Yeraltı dolgularında sistemin gerekliliği de göz önünde tutularak bazen dolgu malzemeleri ile beraber bir takım katkı maddeleri de kullanılmaktadır. Bu maddeler priz hızlandırıcı ve süperakışkanlaştırıcılardır (SA).

Yapılan karışımlarda çimento ve uçucu kül oranları sabit tutulmuş (%25 Çimento, %75 Kül), sodyum silikat tipi priz hızlandırıcı ile beraber 3 adet SA (naftalin sülfonat esaslı, betona reoplastik özellik vererek betonun erken ve nihai dayanımlarını artıran, yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı) değişik oranlarda kullanılmıştır. SA'lar, beton endüstrisinde yüksek etkili su azaltıcı, plastikleştirici, akışkanlaştırıcı polinaftalin sülfonatlar, polimelamin sülfonatlar gibi değişik isimlerle bilinmektedir. Su/bağlayıcı oranının düşük olduğu karışımlarda, SA'ların taneler arasında elektrostatik itme kuvvetleri yaratarak tanelerin dağılmasını sağladığı ve böylece çimento taneciklerinin zincir gibi birbiriyle kenetlenmesi sonucunda hapsolan suyun açığa çıkmasını kolaylaştırarak karışımı daha akışkan hale getirdiği bilinmektedir (Arioğlu, 1997).

Bu çalışmada, SA kullanmadan ve farklı karışım miktarlarında kullanarak 4x4x16 cm'lik kalıplarda numuneler oluşturulmuş ve SA'ların çimento taneleri arasında yaratmış olduğu bu etkinin priz başlangıç-bitiş ve tek eksenli basma dayanım değerlerine olan etkisi belirlenmiştir.

Karışım-1'de (K1) herhangi bir katkı malzemesi kullanılmadan priz başlangıç-bitiş ve dayanım

değerleri belirlenmiş, diğer karışımlarda ise yalnız başına priz hızlandırıcı ve 3 farklı SA ile beraber kullanılarak numuneler oluşturulmuştur. Yapılan karışımların 2, 7 ve 28 günlük dayanımlarının yanında priz başlangıç-bitiş ve çökme değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 4).

Priz süresi, beton veya dolgu gibi malzemelerde bağlayıcıların suyla temasa geçtikten sonra kazandıkları plastik davranışı (akışkanlığı) kaybetmeye başladığı ana kadar olan süre olarak bilinir. Bu süre, özellikle dolgulu çalışılan yeraltı mekanize uzunayak uygulamalarında sistemin hareketli olduğundan dolayı çok önemlidir.

Çayırhan yeraltı mekanize üretim yönteminde arazi basınçlarının yoğun olarak görüldüğü bölge üretimin yapıldığı bölgelerdir. Bundan dolayı taban yollarında ayakbaşlarında ve kuyruk bölgesinde arından 12-20m'lik mesafelerde hidrolik direk tahkimat üniteleriyle destek tahkimat yapılmaktadır. Günlük ilerleme hızının 6-10m olduğu yöntemde 2 günlük ilerlemeden sonra (12-20m) hidrolik tahkimat üniteleri üretim yapılarak geçilen bölgeden sökülerek ilerleme yönüne doğru yeni yerlerine yerleştirilir. Geçilen bölgede arazi basınçları taban yolu tahkimat üniteleri ve dolgu tarafından karşılanmaktadır. Bundan dolayı dolgunun 2 günlük mukavemeti önem arz etmektedir.

Çizelge 4. Yapılan Karışım Değerleri.

Ağırlıkça (gr)	KARIŞIM-1	KARIŞIM-2	KARIŞIM-3	KARIŞIM-4	KARIŞIM-5	KARIŞIM-6	KARIŞIM-7	KARIŞIM-8	KARIŞIM-9	KARIŞIM-10
Çimento	450	315	315	315	315	315	315	315	315	315
Kül (Çayırhan)	1350	946	946	946	946	946	946	946	946	946
Su	540	300	260	271	267	269	260	270	270	275
SA 1			15 (%4,8)	4 (%1,3)	3,15 (%1)					
SA 2							4 (%1,3)			
SA 3					4,75 (%1,5)	6,3 (%2)		6,3 (%2)	7,88 (%2,5)	9,45 (%3)
Priz Hız.		13,6 (%4,3)	9 (%2,8)	9 (%2,8)	9 (%2,8)	9 (%2,8)	9 (%2,8)	13,6 (%4,3)	13,6 (%4,3)	13,6 (%4,3)
Çökme (cm.)		21,4	20,3	17,8	17,4	17,1	16,8	16,8	16,9	17,7
İlk Priz	5 s 55 dk	2 s 20 dk.	2 s 30 dk.	3 s 15 dk.	3 s 15 dk.	2 s 45 dk.	2 s 50 dk.	3 s 35 dk.	3 s 25 dk.	3 s 40 dk.
Son Priz		3 s 40 dk.	4 s 35 dk.	5 s 30 dk.	5 s 35 dk.	4 s 20 dk.	4 s 00 dk.	4 s 25dk.	4 s 50 dk.	5 s 15 dk.
2 gün (N/mm ²)	3,5	8,7	6,1	11,7	7,7	10,9	9,1	8,2	9	8,5
7 gün (N/mm ²)	5,9	13,4	18,8	18,9	18,5	19,5	22,1	17,6	17,2	17,4
28 gün (N/mm ²)	15	18,8	26,4	25,3	22,1	26,5	33	25,9	25,5	25,4

() = Çimentonun %'si olarak verilmiştir.
SA = Süper akışkanlaştırıcı

Karışım deneylerine bakıldığında SA kullanılanlarda su miktarında K2'ye göre %9-13 arasında bir azalma olmuş ve K4'ten K10'a kadar çökme değerleri genelde 17-18 cm arasında ölçülmüştür. K3'te ise %4,8'lik bir SA kullanıldığından çökme değeri diğer SA kullanılanlara göre bir miktar yüksek çıkmıştır. K2'de ise SA kullanılmamış, çökme değeri ise yüksek su içeriğinden dolayı diğer karışımlara göre daha fazla değerde çıkmıştır. K1'de ise çökme değeri tespit edilmemiş, sadece priz başlangıç değerleri ile birlikte mukavemet değerlerinin karşılaştırmasına yönelik olarak hazırlanmıştır.

Priz başlangıç değerlerine bakıldığında, katkı kullanılmayan K1 ile katkı kullanılan diğer karışımlar arasında büyük fark olduğu görülmektedir. En erken prizlenme zamanı çimentonun %4,3'ü kadar priz hızlandırıcı kullanılan K2'de görülmüştür. Diğer karışımlarda

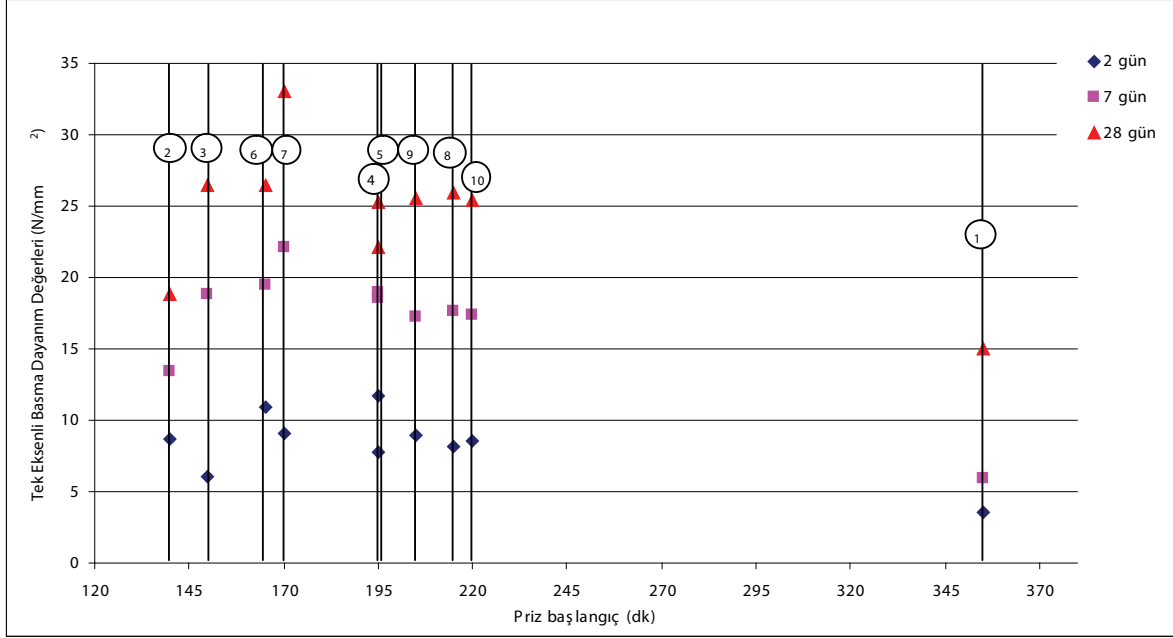
ise (K3,K4,K5,K6,K7) priz hızlandırıcı dolgunun ekonomikliği de göz önünde tutularak %2,8 oranında kullanılmış ve buna ilaveten SA kullanılarak mukavemette artış sağlanmıştır. Bu karışımlarda sadece K3'teki priz başlangıç süresi K2'ye yakın değerde çıkmış, priz sonu ise yine K2'den 55 dk geç gerçekleşmiştir.

K2 ile aynı oranda priz hızlandırıcı kullanılan karışımlarda (K8,K9,K10) yine priz başlangıç süreleri K2'ye göre daha geç sürelerde gerçekleşmiştir. Burada aynı oranda katkı ve priz hızlandırıcı kullanılan örneklerde SA'ların priz süresine bir miktar olumsuz etki ettiği gözlenmiştir. Ancak bu numunelerdeki su miktarında, kullanılan SA'dan dolayı bir miktar azalmaya gidilmiş bu da dayanıma olumlu yönde yansımıştır.

Akışkanlaştırıcıların genel olarak betondaki; sabit işlenebilmede su gereksinimini %6,5'dan fazla

azaltabildikleri, her yaştaki basınç dayanımını %10'dan fazla arttırabildikleri, daha sıkı bir beton elde ederek donma-çözölmeye ve agresif ortama dayanıklılığı arttırabildikleri, geçirimsizlik sağlayabildikleri ve yüzey görünümü düzelttikle-

ri olumlu etkileri olarak bilinmektedir. Bunun yanında priz süresinde gecikmelere sebep olduğu, rötreyi arttırdığı ve çökme kayıpları gibi bir takım olumsuz etkileri de bilinmektedir (Yazıcı, 2003).



Şekil 6. Priz başlangıç süreleri ve dayanım değerleri arasındaki ilişki grafiği.

Şekil 6, yapılan karışımların priz süreleri ile dayanımları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Burada karışımların 3 ayrı şekilde gruplandırıldığı söylemek mümkündür. Priz başlangıçlarının 140–170 dk arası olanlar (K2,K3,K6,K7), 195–220 dk arası olanlar (K4,K5,K8,K9,K10) ve priz başlangıcı 355 dk olan (K1) (hiçbir katkı kullanılmayan karışım) şeklindedir.

Birinci gruba baktığımızda K2 ve K3'ün priz başlangıçlarının birbirine yakın değerde oldukları ve diğer K6 ile K7'den daha akışkan bir malzeme oldukları görülmektedir. K2'de sadece priz hızlandırıcı kullanıldığından dolayı priz başlangıcı diğerlerine göre daha erken zamanda başlamıştır. Priz hızlandırıcı ve su/çimento oranının aynı olduğu K3 ve K7'de SA oranı ve çökme değeri daha yüksek olan K3'ün priz başlangıcı daha erken gerçekleşmiştir. Bu, SA kullanımının fazla olduğunda priz başlangıç değerinin daha geç zamanlarda gerçekleştiği durumuna aykırı düşmektedir. Kullanılan SA'ların farklı olması ve karışımdaki çimento taneleri arasındaki yarattıkları farklı statik itme

kuvvetleri sayesinde priz başlangıç değerleri farklı olmaktadır. Dayanım değerlerinde ise K7, 7 ve 28 günlük dayanımlarda en yüksek değeri vermiştir.

İkinci grupta yer alan karışımlarda katı ve su/çimento oranları birbirine yakın değerdedir. K4 ve K5'te priz hızlandırıcı %2,8, diğerlerinde ise %4,3 oranında kullanılmıştır. Dayanım değerlerinde K5 diğerlerinden 2 ve 28 günlük dayanımlarda biraz daha düşük değerde çıkmıştır.

Üçüncü grupta ise herhangi bir priz hızlandırıcı veya SA kullanılmayan K1 yer almaktadır. Priz başlangıcı ve dayanım değerleri diğerlerine oranla kötü bir performans göstermiştir. Çayırhan işletmesi gibi tam mekanize uygulamalarda sistemin çok hareketli olmasından dolayı bu tip karışımları kullanmak hem üretim açısından hem de çalışılan ortamın emniyeti açısından oldukça sakıncalı görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yeraltı madencilik uygulamalarında, üretim yöntemine de bağlı olarak genellikle cevherin çıkarılmasıyla oluşan boşluklar dolgu malzemeleriyle doldurulurlar. Dolgu, yeryüzü tasman oluşumu azaltması, tahkimat ünitelerine yardımcı olması, özellikle kömür uygulamalarında taban yollarına gaz sızıntısını engellemesi ve çalışılan ortamın emniyetini sağlaması bakımından yeraltı uygulamalarında sistemin önemli bir parçasıdır. Özellikle mekanize çalışılan uygulamalarda sistemin hareketli oluşu dolgunun önemini daha da arttırmaktadır.

Çayırhan işletmesinde dönümlü göçertmeli tam mekanize uzun ayak yöntemi kullanılmaktadır. Göçertmeli çalışılan işletmede üretim yapılarak geçilen bölgelerde büyük arazi basınçları oluşmaktadır. Özellikle alt taban yolunun bir sonraki panoda kullanılabilmesi için yapılan dolgu ile beraber taban yolu tahkimat ünitelerinin bu basınçları karşılayabilmeleri gerekmektedir. Sistemde ilerleme hızının yüksek olması dolgu malzemelerinin seçimini de etkilemektedir. Bu tip yöntemlerde mutlaka dolgu karışımının özelliklerini iyileştirmek için bir takım katkı malzemelerinin (priz hızlandırıcı, akışkanlaştırıcı vb.) kullanılması gerekmektedir. Katkı malzemelerinin kullanılması ile:

- Daha hızlı üretim
- Kömür kazanım artışı
- Kısa ve uzun süreli zemin kontrolü ve tahkimatın güçlenmesi, gibi avantajlar görülür. Yapılan deneysel çalışmalarda priz hızlandırıcı kullanılan numunelerin kullanılmayan numuneye göre daha erken zamanda prizlendiği, 2, 7 ve 28 günlük dayanımlarda daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Priz hızlandırıcı ile beraber kullanılan SA'ların priz süresine olumsuz etki ettiği belirlenmiştir. En yüksek dayanım sonucu veren K7 ve en iyi priz başlangıç sürelerine sahip K2 ve K3 karışımlarının daha farklı karışım oranlarında detaylı bir şekilde incelenmesi ve optimum bir karışım oranı, priz süresi ve dayanım değeri bulunması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazar, Çayırhan yeraltı üretim yöntemini şekilsel açıdan gösteren çizimlerini paylaşan Sayın Müh. Ahmet İBUK'a teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

Ağar, E., 2007; "Seyitömer Termik Santral Uçucu Küllerinin Yapı Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Müh. Bölümü, 1-75.

Anon, 2003; "Flyash Facts for Highway Engineers", American Coal Ash Association, Technical Report Documentation Page, 1-75.

Anon, 2007; "Mine Backfill Engineering", www.mininglife.com/Miner/Backfill/

Arıoğlu, E., 1997; "Silika Füme İçeren Beton Karışımlarının ($20 \text{ MPa} \leq f_{28} \leq 120 \text{ MPa}$) Karışım Tasarımlarının Rasyonelleştirilmesi", Prof. Dr.Rifat Yarar Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, <http://www.ym.com.tr>

ASTM C618, "Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement", American Society for Testing and Material.

Aydın, Y., ve Kaygusuz, Y., 2000; "Modern Teknolojiyle Donatılan Park Teknik Çayırhan Kömür İşletmesinin Tanıtılması", Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 117-128.

Benzaazoua, M., Belem, T., ve Bussièrè B., 2002; "Chemical Factors That Influence the Performance of Mine Sulphidic Paste Backfill", Cement and Concrete Research, **32**, 1133-1144.

Çavuşoğlu, İ., 2007; "Park Termik Yeraltı Dolgu Uygulamaları", Yayınlanmamış Teknik Not, 1-10.

Didari, V., 1992; "O.A.L. İşletmesi Müessesesi Yeraltı Ocaklarında Taban Yolu Kenar Dolgusu Yapımında Çayırhan Termik Santral Artığı Malzemenin Kullanım Olanaklarının Araştırılması: Proje Sonuç Raporu", Hacettepe Üniversitesi Zonguldak Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 1-66.

İbuk, A., 2006; "Park Teknik Çayırhan Yeraltı İşletmesi", Yayınlanmamış Teknik Not, 1-50.

İstanbuluoğlu, S., 1995; "O.A.L.İ. Müessesinde Pnömatik Dolgu Uygulaması", 1-40.

Kuganathan, K., 2007; "Some Insights into Permeability Testing for Hydraulic Fill Application",<http://www.amccconsultants.com.au>

Rankine, K., S., 2002; "Permeability and Drainage Characteristics Of Hydraulic Fills in Underground Mines", Thesis; Bachelor of Civil Engineering, James Cook University, Civil Engineering, 1-126.

Sivakugan, N., Rankine, R.M., Rankine, K.J., ve Rankine, K.S., 2006a; "Geotechnical Considerations in Mine Backfilling in Austuralia", Journal of Cleaner Production, **14**, 1168-1175.

Sivakugan, N., Rankine, K., ve Rankine, R., 2006b; "Permeability of Hydraulic Fills and Barricade Bricks", Geotechnical and Geological Engineering, **24**, 661-673.

Simada, H., Sasaoka, T., Kubota, S., Matsui, K., ve Yoshida, Y., 2003; "The Application of Flyash Cement in Mining Backfill Material", Twelfth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection (MPES'2003), 1-9.

TS639, 1975; "Uçucu Küller", Ankara.

TS EN450, 1998; "Uçucu Kül-Betonda Kullanılan-Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrol", Ankara.

Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., ve Yeğınobalı, A., 2007; "Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri", Ar-Ge Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliđi Ankara, 1-102.

TUİK, 2008; "Termik Santral Su ve Atık İstatistikleri, 2000–2006", <http://www.tuik.gov.tr>

Yazıcı, Ş., 2003; "Süper Akışkanlaştırıcıların Betondaki Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi", **5**, (1), 103-114.

Yılmaz, E., 2003; "Sülfit İçeren Maden Atıklarından Hazırlanan Çimentolu Macun Dolgu Örneklerinin Dayanım Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Müh. Bölümü, 1–117.