

ALÇITAŞI VE ANHİDRİT ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

A Study on Gypsum and Anhydrite

Y. Selami İSTANBULLUOĞLU¹⁾

Anahtar Sözcükler: Alçıtaşı, Anhidrit, Kristal Suyu, Taban Yolu, Dolgu Duvarı, Basınç Dayanımı

ÖZET

Bu makalede, alçıtaşından yapay anhidrit elde etmek için yapılan deneylerin sonuçları ve elde edilen anhidrit IIFün basınç dayanımı özellikleri sunulmaktadır. Deneyler, Beypazarı Havzası Alçıtaşı Yatakları'ndan alınan örnekler üzerinde yürütülmüştür. Alçıtaşının alçı ve anhidrite dönüştürülebilmesi için gereken en düşük dezitratasyon sıcaklıkları bulunmuştur. Fırında bekletilme süresi, alçıtaşının ve anhidritin tane boyutları gibi faktörlerin, elde edilen anhidrit IIFün özellikleri üzerine olan etkileri incelenmiştir. Anhidrit IIFün suyla karıştırılıp katılaştıktan sonraki basınç dayanımları ile betonun ve doğal anhidritinkiler karşılaştırılmıştır. Anhidrit IIFün taban yolu dolgu duvarları yapımında kullanılan betonun yerini alıp alamayacağı araştırılmıştır.

ABSTRACT

In this paper, the results of the experiments aimed at producing artificial anhydrite from gypsum and the compressive strength characteristics of anhydrite III produced are presented. The experiments were carried out on the samples taken from Beypazarı Gypsum Field. The minimum calcining temperatures to convert gypsum into plaster and anhydrite were found. The effects of factors such as waiting time in oven, sizes of gypsum and anhydrite pieces on the characteristic of anhydrite III produced were investigated. The compressive strength of anhydrite III, which was mixed with water and hardened, was compared with those of concrete and natural anhydrite. Anhydrite III was also tested whether it can be replaced with concrete used in pack walls of gate roadways.

¹⁾Dr. Maden Yük. Müh., TKİ Genel Müdürlüğü, ANKARA

1. GİRİŞ

Alçıtaşı (Jibs) iki molekül su içeren kalsiyum sülfattır ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Doğal anhidritin (CaSO_4) milyonlarca yıl içerisinde hidratize olması sonucu oluştuğu kabul edilir (Bates, 1969). İkincil ürün olmasına karşın alçıtaşı doğal anhidritten daha yaygın olarak tanınır ve kullanılır.

Alçıtaşından ısıtılarak alçı elde edilmesi ve bu amaçla alçıtaşı üretilmesi bilinen en eski madencilik faaliyetlerinden birisidir. M.Ö. 8000-9000 yıllarında bile Orta Anadolu'daki Çatalhöyük'de alçı biliniyordu ve kullanılıyordu. Rastlantıların ortaya çıkardığı ilkel yöntemlerle alçı üretilmesi ve kullanılması, bilginin binlerce yıl boyunca nesilden nesile aktarılmasıyla sürdürülmüştür. Alçıtaşı ve bunun ürünleriyle (özellikle alçıyla) ilgili ilk bilimsel araştırmalar, alçı sıvanın yangınlarda yapıları koruduğunun farkedilmesi sonucu, XVII'inci Yüzyıl'ın ortalarında, Paris'de başlamıştır (Albayrak, 1991). Alçıtaşının ürünleri ve doğal anhidrit, bugün, başta inşaat sektörü olmak üzere, endüstrinin bir çok alanında ve tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizin alçıtaşı ve doğal anhidrit yatakları rezervi henüz kesin olarak saptanmış değildir. Çayırılı (1991) bu potansiyelin milyarlarca ton ekonomik değere sahip alçıtaşı ve anhidrit olarak verilebileceğini bildirmektedir. Türkiye geniş alanlara yayılmış olan zengin alçıtaşı yataklarına sahiptir. Bu alanların önemlileri 11 ayrı havzada toplanmıştır ve bunlardan sadece Beypazarı Havzası'nda 1 milyar tonun üzerinde alçıtaşı rezervi olduğu tahmin edilmektedir (Çayırılı, 1991). Bu büyük ekonomik potansiyelden ülkemizde, ne yazık ki, yeterince faydalanılamamaktadır.

Doğal anhidrit, aynı alçı gibi, suyla karıştırıldığında, başka bir bağlayıcıya gerek duymadan, katı ve dayanıklı bir malzeme olan dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)'a dönüşür. Bu

özelliğinden faydalanılarak doğal anhidritin uzun ayak dolgu (ramble) duvarı yapımında kullanılması düşünülmüş ve ilk deneme 1964'de Almanya'daki Holland Ocağında gerçekleştirilmiştir (Yüksel, 1971). Denemenin başarılı olması üzerine Anpak adı verilen bu monolitik dolgu yöntemi önce Almanya'nın Ruhr ve Saar Kömür Havzaları'nda, sonra da İngiltere'de yaygın olarak uygulanmaya başlanmıştır (Whittaker ve ark., 1980). Doğal anhidrit piyasaya "Anpak-C" ve "Anhydrite Spec-2" adlarında iki ayrı ürün olarak sunulmaktadır. Doğal anhidritin dışında, sulfirik asit kullanılarak floritten hidroflorik asitin üretilmesi sırasında bir yan ürün olarak ortaya çıkan sentetik anhidrit de yeraltı madenciliğinde, taban yolu duvarlarında sızdırmazlık veya kaplama elemanı olarak kullanılmaktadır (Clark ve Newton, 1985). Sentetik anhidrit Almanya ve İngiltere'deki lokal kömür ocaklarında monolitik dolgu malzemesi olarak da kullanılmıştır (Nixon ve Mills, 1981).

Çayırhan Yeraltı Kömür İşletmesi'nde tam mekanizasyona geçildikten sonra uzun ayak dolgu duvarları için yılda yaklaşık 15.000-20.000 m³ beton kullanılmaya başlandı. Bu çalışma, daha ucuza elde edilebilecek olan anhidritin Çayırhan Ocağı'nda betonun yerine dolgu duvarı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması düşüncesinden doğmuştur. Beypazarı Havzası Alçıtaşı Yatakları'nın İşletmenin hemen yakınında yer alması da bu düşünceyi zorlayan önemli bir etken olmuştur.

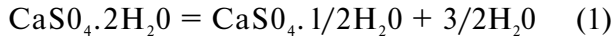
Dolgu duvarı malzemesi olarak önce doğal anhidritin denenmesi düşünülmüştür. Bir arama galerisi ile (Alçı Bacası) yüzeye yakın alçıtaşı tabakaları delinip geçilmiş ve derinlerde olabileceği var sayılan doğal anhidrit oluşumları aranmıştır. Ancak, doğal anhidrit bulunamamıştır. Böylece, araştırmalar, civarda bol miktarda bulunan alçıtaşının ısıtılarak yapay anhidrite dönüştürülmesi ve bu malzemenin denenmesi üzerine yoğunlaştırılmıştır. Bu

makalede, Beypazarı Havzası alçıtaşlarından anhidrit elde edilmesi için yapılan deneyler anlatılmaktadır. Elde edilen yapay anhidritin suyla karıştırılıp katılaştıktan sonraki basınç dayanımları ile betonun ve doğal anhidritin basınç dayanımları karşılaştırılmaktadır.

2. ALÇITAŞININ DEZİTRATASYONU

Saf alçıtaşının içerisindeki kristal suyunun ağırlık olarak oranı %20,90'dır. Alçıtaşının yapısında bulunan ve ağırlığının %20,90'ını oluşturan iki molekül suyun fiziksel veya kimyasal yöntemlerle, kısmen veya tamamen alınması olayına dezitratasyon veya dehidrasyon denir (Gürdal, 1991). Uygulanan fiziksel yol, genellikle, ısıtılarak sıcaklığın artırılması şeklinde olur. Sıcaklık artışına bağlı olarak alçıtaşının kristal suyu kaybı oranını (ağırlığındaki azalmayı) ve elde edilen ürünleri Appleyard (1975) aşağıdaki şekilde sıralamıştır.

i - Alçıtaşı 95 - 165 °C arası sıcaklıklarda bünyesindeki kristal suyunun %75'ini kaybeder ve ağırlığı % 15,68 oranında azalır.



Bu aşamada elde edilen ürün kalsiyum sülfat yarımhidratdır ve alçının ana maddesini oluşturur. Yazıda bu ürüne kısaca alçı denilecektir.

ii - Alçıtaşı 190 - 210 °C ısıtılınca içerdiği kristal suyunun tümünü kaybeder ve ağırlığı %20.90 oranında azalır.



Bu aşamada elde edilen ürüne ise Anhidrit III veya Çözünür Anhidrit adı verilir. Anhidrit III alçıdan daha az plastiktir ancak uygun şartlarda tekrar suyla birleştiği zaman (rehidrasyon) alçıdan daha yoğun ve dayanımı daha yüksek bir kütle oluşturur. En belirgin özelliği suya

1 karşı çok fazla duyarlı olmasıdır. Eğer izole

edilmezse üretildikten hemen sonra havanın içerisindeki nemle reaksiyona girer ve kısa sürede yarımhidrata dönüşür. Neme karşı olan bu aşırı eğilimi anhidrit IIFün korunmasını ve depolanmasını güçleştirirken sanayide kurutucu olarak kullanılmasını sağlamıştır.

iii - Sıcaklık 340-480 °C'lara ulaşınca ekzotermik bir reaksiyon gelişir ve Anhidrit III, Anhidrit II veya Çözünemez Anhidrit adı verilen bir maddeye dönüşür. Anhidrit H'nin su ile birleşerek katılma özelliği yoktur ve kalsiyum sülfat formları içerisinde en az çözünebilir olanıdır. Keenes çimentosu üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılır.

iv - Anhidrit II ısıtmaya devam edilirse 900-1200 °C sıcaklıklarda Anhidrit F e dönüşür. Bu sıcaklıklarda malzeme akkor durumuna gelir, kalsiyum sülfat ayrışmaya ve bünyesindeki sülfürü SO₂ gazı olarak serbest bırakmaya başlar, dolayısıyla malzeme içindeki kalsiyum oksit oranı artar. Bu nedenle Anhidrit I, suyla karıştırıldığı zaman alçıtaşının öteki ürünlerine göre daha yavaş katılır. Katıldığı zaman ise öteki ürünlerden daha yoğun, sert ve mukavemetli bir kütle oluşturur.

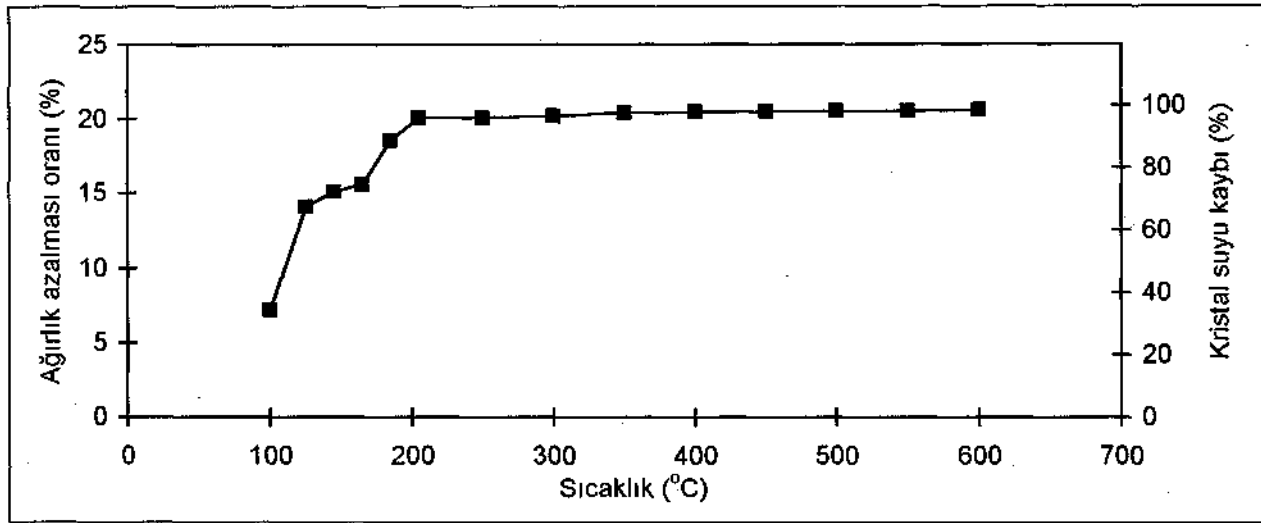
3. BEYPAZARI ALÇITAŞLARI İÇİN DEZİTRATASYON SICAKLIĞININ BULUNMASI

Alçıtaşının yapay anhidrite dönüştürülmesi sırasında uygulanacak olan dezitratasyon (kavurma) sıcaklığının bulunabilmesi için bir dizi deney yapıldı. Deneylerin amacı, alçıtaşının kristal suyunun tümünün ayrıştığı eri düşük kavurma sıcaklığının belirlenmesiydi. Bu amaçla, Beypazarı Havzası Alçıtaşı Yatakları'ndan alınan 0-25 mm arası alçıtaşı örnekleri 100 °C'tan başlayıp 600 °C'a kadar farklı sıcaklıklarda ısıtıldı ve ağırlıklarındaki azalmalar ölçüldü. Deney sonuçları Şekil 1'de gösterilmektedir.

Alçıtaşının ağırlığı, Çizelge 1'de de görülebileceği gibi, 165 °C kavurma sıcaklığında % 15,58 oranında ve 205 °C kavurma sıcaklığında %20,10 oranında azalmıştır. 205 °C'ten sonra ağırlığındaki azalma ihmal edilecek kadar azdır (600 °C'ta %20,61). Bir başka deyişle, alçıtaşı 165 °C'ta kristal suyunun %74,52'sini, 205 °C'ta ise %96,14'ünü kaybetmiştir. Bulunan bu değerler literatürde alçı ve anhidrit için verilen ağırlık azalması oranlarına (% 15,68 ve %20,90) ve kristal şüyu kaybı oranlarına (%75 ve %100)

çok yakındır. Araziden getirilen örneklerinin yüzde yüz saf olamayacağı da göz önüne alınır, 205 °C'ta alçıtaşının kristal suyunun tümünün ayrıştığı kabul edilebilir. Bu sonuçların ışığı altında kavurma sıcaklıkları; alçı için 165 °C ve anhidrit için 205 °C olarak belirlenmiştir. 205 °C'ta elde edilen ürün anhidrit III'dür.

Alçıtaşının ağırlığındaki azalmaların oranları başka bir deneyde; fırının ısı 205 °C'a eriştikten sonra numuneler bekletilmeden



Şekil 1. Farklı kavurma sıcaklıklarında alçıtaşının ağırlığındaki azalma ve kristal suyu kaybı oranları.

Çizelge 1. Alçıtaşının Bazı Dezitratasyon (Kavurma) Sıcaklıklarında Ağırlık Azalması

| No | İlk Ağırlık (gr) | 165 °C | | 205 °C | | 600 °C | |
|----------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
| | | Ağırlık (gr) | Azalma Oranı (%) | Ağırlık (gr) | Azalma Oranı (%) | Ağırlık (gr) | Azalma Oranı (%) |
| 1 | 125,75 | 106,32 | 15,45 | 100,45 | 20,12 | 99,85 | 20,60 |
| 2 | 112,82 | 94,73 | 16,03 | 90,16 | 20,09 | 89,53 | 20,64 |
| 3 | 121,84 | 103,25 | 15,26 | 97,37 | 20,08 | 96,75 | 20,59 |
| Ortalama | | | 15,58 | | 20,10 | | 20,61 |

Çizelge 2. 205 °C'da Fırında Bekletilme Süresinin Ağırlık Azalmasına Etkisi.

| No | İlk Ağırlık (gr) | Bekletilmedi | | Yarım Saat Bekletildi | | Bir Saat Bekletildi | |
|----------|------------------|--------------|------------------|-----------------------|------------------|---------------------|------------------|
| | | Ağırlık (gr) | Azalma Oranı (%) | Ağırlık (gr) | Azalma Oranı (%) | Ağırlık (gr) | Azalma Oranı (%) |
| 1 | 109,22 | 87,66 | 19,79 | 87,28 | 20,09 | 87,52 | 19,87 |
| 2 | 108,42 | 87,52 | 19,28 | 86,67 | 20,06 | 86,89 | 19,86 |
| 3 | 133,54 | 107,74 | 19,32 | 106,95 | 19,91 | 107,01 | 19,87 |
| Ortalama | | | 19,46 | | 20,02 | | 19,87 |

çıkartılınca % 19,46, yarım saat bekletilince %20,02 ve bir saat bekletilince %19,89 olarak bulunmuştur (Çizelge 2). Bir saatlik bekletilmede ağırlığın, çok az da olsa, tekrar artmasının nedeni; anhidrit IIFün fırın içindeki ikinci yarım saatlik bekleme süresinde ortamdaki yüksek orandaki nemden etkilenmesi ve bu nem ile kısmi birleşme yapması olabilir. En fazla ağırlık azalması (kristal suyu kaybı) bu seçenekte tesbit edildiği için sonraki deneylerde fırında bekletilme süresi yarım saat olarak uygulanmıştır. Kristal suyu kaybının belirlendiği bu bölümdeki deneylerin yöntemi, alçı için

hazırlanmış olan TSE 6917'den yararlanarak geliştirilmiştir.

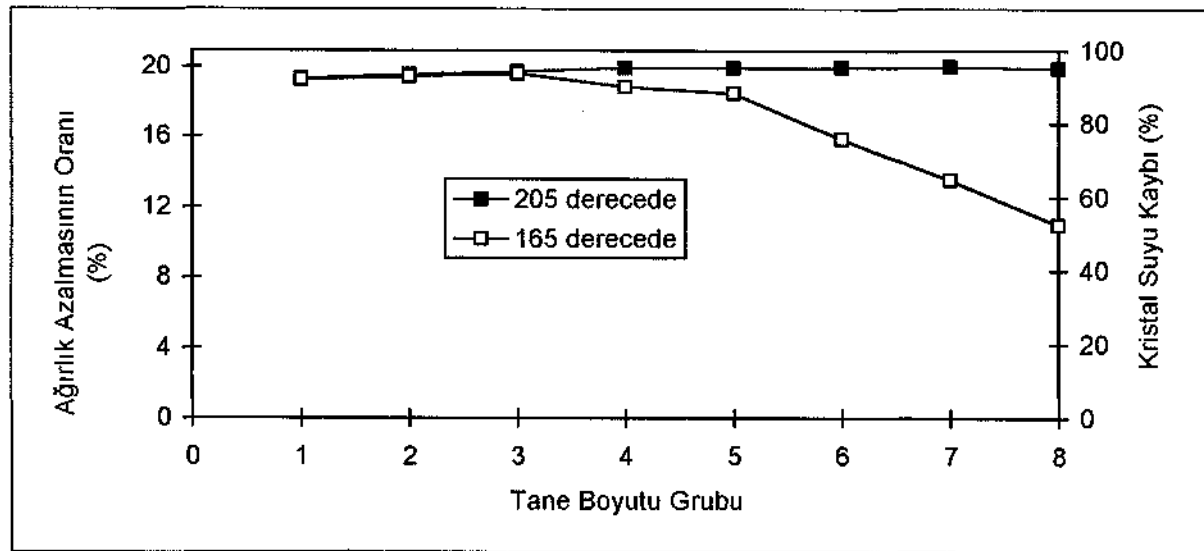
4. TANE BOYUTU DENEYLERİ

Deneylerin bu bölümünde: a) Alçıtaşı tane boyutunun, alçıtaşı alçı ve anhidrit III'e dönüşürken kristal suyu kaybı üzerine olan etkisi ve; b) anhidrit III tane boyutunun serbest ortamda tekrar su kazanma eğilimi üzerine etkisi incelenmiştir.

Çizelge 3. Farklı Tane Boyutu Grubundaki Alçıtaşlarının Ortalama Ağırlık ve Kristal Suyu Azalması Oranları.

| Grup No | Tane Boyutu* (mm) | Ağırlık Azalması Oranı (%) | | Su Kaybı Oranları (%) | |
|---------|-------------------|----------------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| | | 165 °C'de | 205 °C'de | 165 °C'de | 205 °C'de |
| 1 | 0-1,19 | 19,24 | 19,31 | 92,01 | 92,35 |
| 2 | 1,19-2,38 | 19,43 | 19,54 | 92,92 | 93,45 |
| 3 | 2,38-4,76 | 19,60 | 19,71 | 93,74 | 94,26 |
| 4 | 4,76-9,525 | 18,84 | 19,93 | 90,10 | 95,31 |
| 5 | 9,525-12,70 | 18,50 | 19,94 | 88,47 | 95,36 |
| 6 | 12,70-19,05 | 15,88 | 19,96 | 75,94 | 95,46 |
| 7 | 19,05-25,40 | 13,56 | 19,99 | 64,85 | 95,60 |
| 8 | >25,40 | 10,97 | 19,89 | 52,46 | 95,12 |

* Çizelgedeki değerler aynı tane boyutu grubu ile yapılan deneylerin sonuçlarının ortalamasıdır.



Şekil 2. Tane boyutunun ağırlık azalmasına ve kristal suyu kaybına etkisi.

4.1. Alçıtaşı Tane Boyutunun Kristal Suyu» Kaybına Etkisi.

Tane boyutunun kristal suyu kaybı oranına etkisini araştırmak için 8 farklı tane boyutu grubundaki alçıtaşı örnekleri 165 °C (alçı) ve 205 °C (anhidrit III) kavurma sıcaklıklarında ısıtılarak ağırlık değişimleri ölçülmüştür (Çizelge 3 ve Şekil 2). Tane boyutunun kristal suyu kaybına etkisi, 165 °C ve 205 °C kavurma sıcaklıklarında birbirinden oldukça farklı olmuştur.

205 °C kavurma sıcaklığında tane boyutu büyüdükçe kaybedilen kristal suyu miktarı, çok az oranlarda da olsa, artmaktadır. Bu küçük artışların nedeni, anhidrit IIFün, fırından çıkar çıkmaz çevresindeki havanın nemi ile yüzeysel birleşme yaparak kaybettiği miktarın bir bölümünü tekrar geri alması ve toplam yüzey alanı daha küçük olan iri parçaların daha az su ile reaksiyona girmesi olabilir. Ağırlık azalması oranları arasındaki farklılıklar çok küçük ve fırından çıkartıldıktan sonra olduğu için, 205 °C kavurma sıcaklığında alçıtaşı tane boyutunun kristal suyu kaybını etkilemediği kabul edilmiştir.

Kavurma sıcaklığının 165 °C olduğu durumda ise, 4,76 mm tane boyutuna kadar 205 °C ısıtma ile aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bu noktadan sonra tane boyutu büyüdükçe kristal suyu kaybı azalmıştır. Bu azalmanın hızı 4,76 mm ile 12,70 mm aralığında yavaş, 12,70 mm'den sonra ise oldukça fazladır. 165 °C ısıtmada alçıtaşı örneklerinin parça boyutu büyüdükçe orta kısımları yeterli ısıyı alamamaktadır ve daha az kristal suyu ayrışmaktadır.

Çizelge 3 ve Şekil 2 bir bütün olarak değerlendirilecek olursa, 12,70 - 19,05 mm boyutundaki alçıtaşı örnekleri 165 °C ısıtıldığında %15,88 ve 205 °C ısıtıldığında %19,96 ağırlık azalması oranları ile alçı ve anhidrit III için literatürde belirtilenlere en yakın sonuçları vermektedir.

4.2. Anhidrit III Tane Boyutunun Tekrar Su Kazanma Oranına Etkisi

Deneylede 205 °C'a kadar ısıtılarak elde edilen ürün anhidrit IIFdür ve serbest ortamda ısı işlem sırasında kaybettiği kristal suyunun bir kısmının tekrar bünyesine alarak yarımhidrata dönüşme eğilimi çok yüksektir. Öyle ki, anhidrit III fırından çıkartılır çıkartılmaz hava içerisindeki suyla (nemle) tekrar reaksiyona girmektedir ve ağırlığı artmaya başlamaktadır. Bir süre sonra özellikleri değişen ve artık anhidrit III olmayan bu malzeme ile de basınca dayanıklı, sağlam bir kütle elde etmek mümkün olamamaktadır.

Çizelge 4 ve Şekil 3, farklı tane boyutlarındaki 8 anhidrit III grubunun fırından çıkartıldıktan 3, 6, 24, 36 ve 480 saat sonra ağırlıklarındaki artış oranlarını ve tekrar kazandıkları su oranlarını göstermektedirler. Çizelge 4 ve Şekil 3'den şu genel sonuçları çıkarmak mümkündür:

i - Anhidrit IIFün tane boyutu büyüdükçe ağırlığındaki artışın oranı (tekrar su kazanma hızı) düşmektedir. Fırından çıkartıldıktan 3 saat sonra 0-1,19 mm örneklerin ağırlığı ortalama olarak %6,34 oranında artmışken, 25,40 mm'den büyük parçalarda bu oran %1,24 olmuştur. Ağırlık artış hızı zamanla da ters orantılıdır. Bütün tane boyutu gruplarında en fazla ağırlık artışı ilk 24 saat içerisinde olmuştur.

ii - Bütün gruplarda, örneklerin ağırlıkları %7 civarında artıktan sonra (veya ısı işlem sırasında kaybettikleri kristal suyunun yaklaşık %35'ini geri aldıktan sonra) denge durumuna geçilmektedir. 9,525 mm'den daha küçük anhidrit III örneklerinde denge durumuna 24 saat içinde erişilirken 25,40 mm'den büyük örneklerde 480 saat sonra geçilmiştir. 480'inci saatten sonra örneklerin ağırlıklarında dikkate değer bir değişim olmamıştır. Özetlenecek olursa, 100 gram alçıtaşı 205 °C'ta ısıtıldığı zaman ağırlığı %20 civarında azalmıştır ve 80 grama düşmüştür. Fırından çıkartıldıktan 480

saat sonra ise ağırlığı kendiliğinden, %7 civarında artarak 85,6 grama çıkmıştır.

iii - 12,70 mm'den küçük anhidrit III parçalarının ağırlıkları 36'ncı saat ile 480'inci saat arasında, çok küçük miktarlarda da olsa, tekrar azalmıştır. Fırından çıkartıldıktan hemen sonra havadaki nemle reaksiyona giren ve yarımhidrata dönüşen tanecik yüzeysel bölgesi bir süre sonra, atmosferik ortamda kendiliğinden oluşan küçük kurumaların da etkisiyle, aldığı suyun çok az bir kısmını geri vermiştir.

Bu bölümdeki deneylerin sonucunda; hem alçı ve anhidrit III için gerçeğe en yakın kristal suyu kaybı oranlarını vermesi, hem de anhidrit III'e dönüştükten sonra kendiliğinden tekrar yarımhidrata dönüşme hızının göreceli olarak düşük olması nedeniyle sonraki basınç dayanımı deneylerinde 12,70 ile 19,05 mm arası alçıtışı kullanılmasına karar verilmiştir.

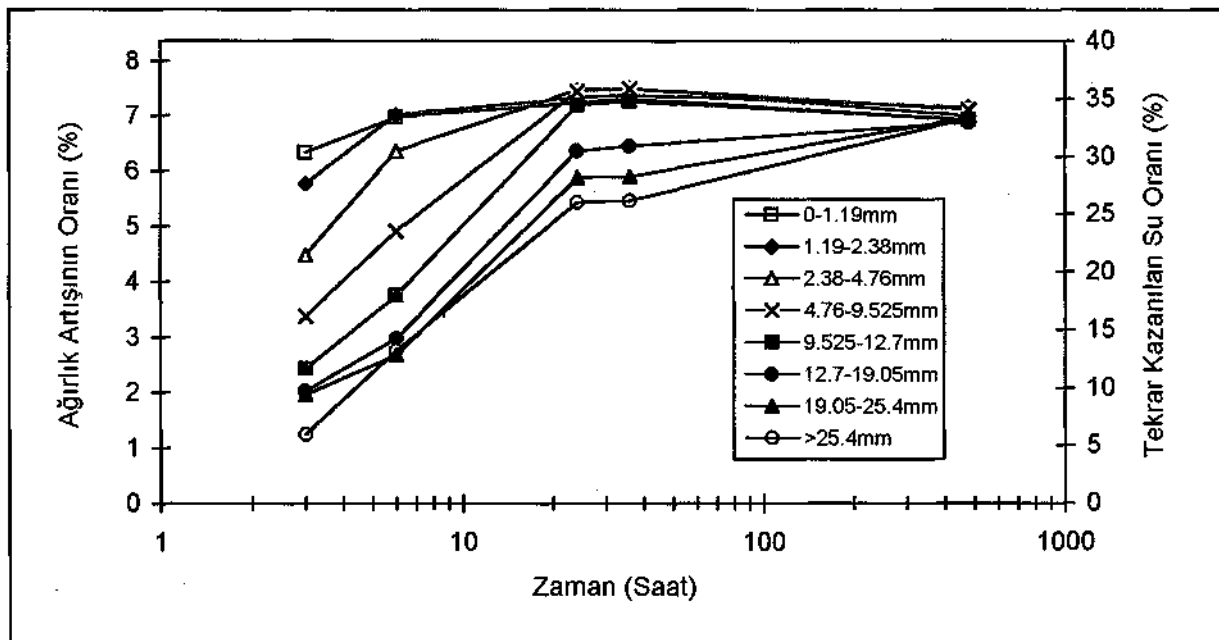
5. BASINÇ DAYANIMLARININ İRDELENMESİ

12,70 ile 19,05 mm arası alçıtışlarından üretilen anhidrit III tekrar kırılıp elendikten sonra Çizelge 5'te gösterilen tanecik

Çizelge 4. Anhidrit III Ağırlığının Tane Boyutu ve Zamana Göre Değişimi.

| No | Tane Boyutu(mm) | Ortalama Ağırlık Artışı Oranları (%)* | | | | |
|----|-----------------|---------------------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| | | 3 Saat Sonra | 6 Saat Sonra | 24 Saat Sonra | 36 Saat Sonra | 480 S. Sonra |
| 1 | 0-1,19 | 6,34 | 6,98 | 7,25 | 7,32 | 6,94 |
| 2 | 1,19-2,38 | 5,77 | 7,03 | 7,34 | 7,39 | 7,17 |
| 3 | 2,38-4,76 | 4,48 | 6,37 | 7,48 | 7,51 | 7,01 |
| 4 | 4,76-9,525 | 3,37 | 4,92 | 7,45 | 7,50 | 7,12 |
| 5 | 9,525-12,70 | 2,43 | 3,75 | 7,20 | 7,27 | 6,93 |
| 6 | 12,70-19,05 | 2,03 | 2,98 | 6,37 | 6,46 | 6,89 |
| 7 | 19,05-25,40 | 1,96 | 2,68 | 5,89 | 5,91 | 6,98 |
| 8 | >25,40 | 1,24 | 2,75 | 5,44 | 5,47 | 6,97 |

* Çizelgedeki değerler aynı tane boyutu grubu ile yapılan deneylerin sonuçlarının ortalamasıdır.



Şekil 3. Tane boyutunun serbest ortamda anhidrit III'ün ağırlık artışına etkisi.

dağılımında (granülometride) hazırlanmıştır. Bu dağılım, Almanya' daki dolgu duvarı uygulamalarında seçilen doğal anhidrit tanecik dağılım esas alınarak belirlenmiştir. (....., 1990).

Çizelge 5. Anhidrit IIFün Tanecik Dağılımı

| Tane Boyutu Aralığı (mm) | Ağırlık Olarak Oranı (%) |
|--------------------------|--------------------------|
| < 0,149 | 21,81 |
| 0,149-0,297 | 4,47 |
| 0,297-0,590 | 8,32 |
| 0,590-1,190 | 7,22 |
| 1,190-2,380 | 23,42 |
| 2,380-4,760 | 19,90 |
| 4,760-9,525 | 13,64 |
| >9,525 | 1,22 |

Daha sonra karma suyu ile karıştırılan anhidrit III agregası 20 x 20 x 20 cm boyutlarındaki kalıplara doldurularak donmaya bırakıldı. Karma suyu oranı (Uygulanan karma suyu miktarının kuru anhidrit III miktarına ağırlık olarak oranı) %31-%33 arasında alınmıştır. Daha az su uygulandığında harçta ıslanmamış kısımlar kalması nedeniyle harç kıvamının işlenebilirliği azalmıştır. Daha fazla su ilave edildiğinde ise numunenin basınç dayanımının düştüğü belirlenmiştir.

Dihidrata dönüşerek sertleşen numuneler belli zaman aralıklarında kalıptan çıkartılmıştır ve tek eksenli basınç dayanımları ölçülmüştür. Test sonuçları Çizelge 6'da verilmektedir. Çizelge 6'da Çayırhan'da halen kullanılmakta olan dolgu duvarı betonunun tek eksenli basınç dayanımları (İstanbuluoğlu, 1988) ve doğal anhidrit (Anpak) ürünlerinin tek eksenli basınç dayanımları (....., 1984) da yer almaktadır.

Betonun ve anhidrit IH'ün basınç dayanımlarının zamana göre artışını gösteren eğriler çok büyük benzerlik göstermektedir (Şekil 4). Anhidrit III harcı betondan daha erken katılaşmaya başlamaktadır ve ilk saatlerdeki basınç dayanımları betonunkilerden biraz daha fazladır. Anhidrit IH'ün bu özelliği dolgu duvarı kurulduktan kısa süre sonra

üzerine gelen ilk yükleri karşılayabilmesi açısından önemlidir. 15'inci saatden sonra betonun basınç dayanımı anhidrit III'ü geçmektedir ve fark küçük artışlarla devam etmektedir.

Çayırhan'da yapılan ölçümlere göre (istanbulluoğlu, 1995) beton dolgu duvarı üzerindeki basıncın dolgu duvarının basınç dayanımına en yakın olduğu dönem, duvar kurulduktan sonraki ilk 50 saattir (Şekil 5). Bir başka deyişle, betonun harcı atıldıktan sonraki ilk 50 saat dolgu duvarının dayanımı ve taban yolunun duraylılığı açısından en kritik zamandır. Öte yandan, anhidrit IH'ün ve betonun ilk 50 saatteki basınç dayanımlarının birbirine çok yakın olduğu bulunmuştu (Şekil 4). Dolgu duvarı üzerindeki basıncın betonun basınç dayanımına en fazla yaklaştığı 30'uncu saatte dayanım/basınç oranı 1,4 olmuştu. Betonun yerine anhidrit III kullanılması durumunda ise bu oran 1,35 olmaktadır.

Şekil 5'de görüldüğü gibi, ilk 50 saatlik kritik zamandan sonra basınç ile basınç dayanımı arasındaki fark (basınç dayanımı lehine) hızla artmaktadır. İlk 50 saatden sonra taban yolu duraylılığı açısından rahatlamaktadır. Örneğin, 3 60'inci saatte basınç 2 MPa civarında olurken, betonun basınç dayanımı 21,6 MPa'a, anhidrit IH'ünkü ise 17,3 MPa'a erişmektedir.

Sonuç olarak, anhidrit III Çayırhan Kömür Ocağı'ndaki dolgu duvarlarının yapımında betonun yerine kullanılabilir. Basınç dayanımı taban yolunun duraylılığının sağlanması için yeterlidir.

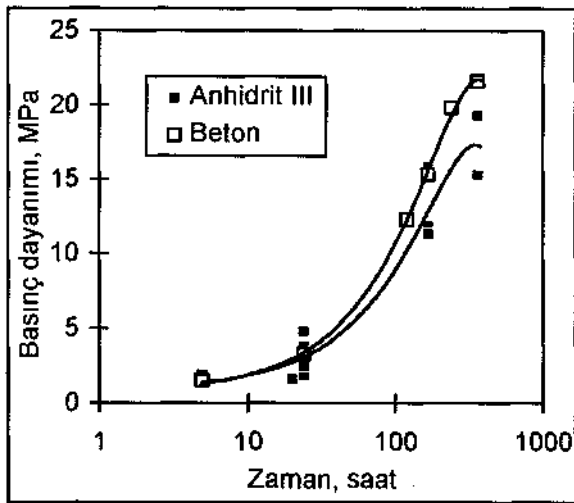
Doğal anhidrit ürünlerinin (Anpak C ve Spec 2) basınç dayanımları anhidrit IU'den oldukça yüksektir (Çizelge 6). Anhidrit III ile ilgili araştırmaların devam ettirilmesi, özellikle sonraki bölümde anlatılacak olan zorlukların giderilmesi durumunda daha yüksek basınç dayanımı değerlerinin elde edilmesi ve doğal anhidritle arasındaki farkın giderilmesi olasılığı yüksektir.

Basınç dayanımı testlerinin değişik aşamalarında malzemelerin yoğunlukları da ölçülmüştür. Ortalama değerler olarak yoğunluklar; malzeme anhidrit III durumundayken 1,284 kg/dm³, suyla karıştırılıp harç haline getirilince 1,634 kg/dm³ ve dihidrit

durumuna geçip iyice katılaştıktan sonra (60 gün sonra) 1,548 kg/dm³ bulunmuştur. Olabilecek çok küçük hacimsel genişleme ihmal edilecek olursa, 1 dm³ anhidrit dihidrite dönüşürken ağırlığı %20,56 oranında artmıştır [(1,548/1,284)x100=20,56] ve bu değer alçıtaşı

Çizelge 6. Tek Eksenli Basınç Dayanımları.

| Anhidrit III Testlerin Sonuçları | | | | | Betonun Basınç Dayanımı (MPa) | D. Anhidritin Basınç Dayanımı (MPa) | |
|----------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------------|--------|
| No | Su Oranı (%) | Bekletilme Süresi (Saat) | Basınç Dayanımları (MPa) | | | Anpak-C | Spec-2 |
| | | | Dayanım | Ortalama | | | |
| 1 | 33 | 5 | 1,9 | | | | |
| 2 | 33 | 5 | 1,9 | 1,9 | 1,5 | 2,06 | |
| 3 | 33 | 24 | 2,5 | | | | |
| 4 | 32 | 24 | 2,5 | | | | |
| 5 | 33 | 24 | 3,1 | | | | |
| 6 | 33 | 24 | 1,9 | 3,1 | 3,3 | 6,89 | 4,75 |
| 7 | 32 | 24 | 3,8 | | | | |
| 8 | 31 | 24 | 3,8 | | | | |
| 9 | 32 | 24 | 2,5 | | | | |
| 10 | 32 | 24 | 4,8 | | | | |
| 11 | 32 | 168 | 15,8 | | | | |
| 12 | 33 | 168 | 11,8 | 13,0 | 15,3 | 22,60 | 18,45 |
| 13 | 33 | 168 | 11,3 | | | | |
| 14 | 32 | 360 | 15,3 | | | | |
| 15 | 32 | 360 | 19,3 | 17,3 | 21,6 | | |

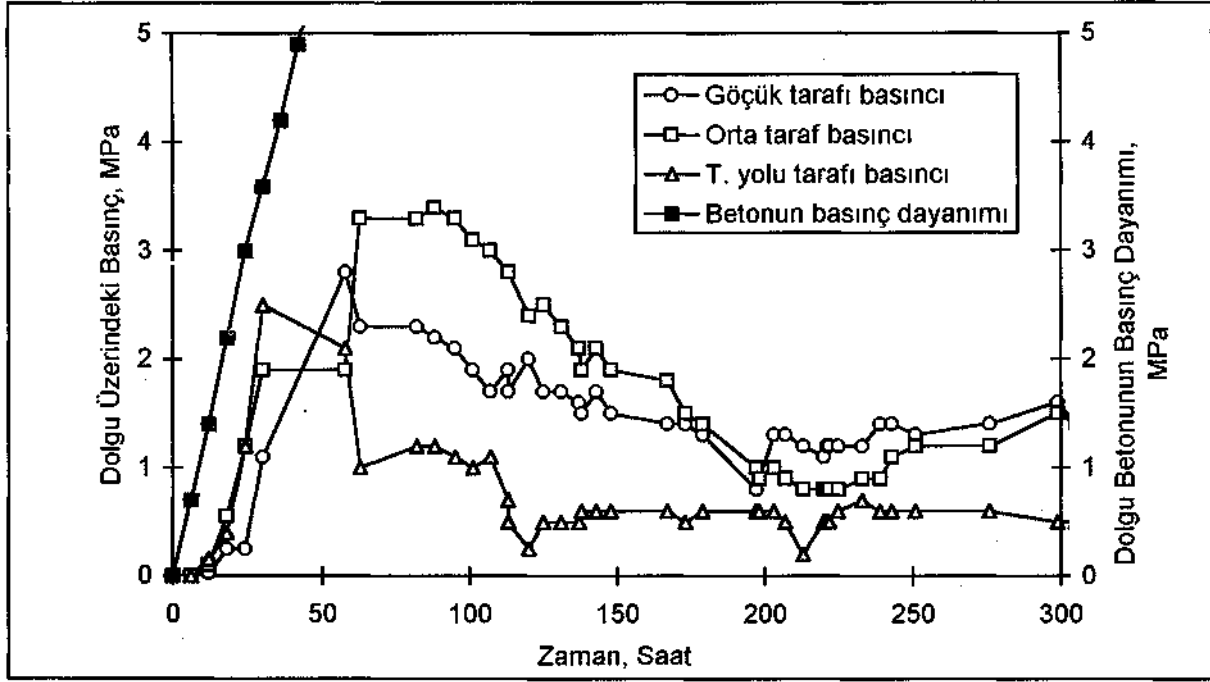


Şekil 4. Anhidrit III ve betonun karakteristik basınç dayanımı eğrileri.

anhidrit II'ye dönüşürken ölçülen ağırlığındaki azalma oranına (%20,10) çok yakındır. Alçıtaşı, dihidrat durumundan anhidrit III'e geçişi sırasında kaybettiği kristal suyunun tümünü tekrar dihidrata dönüşürken geri almıştır.

6. DENEYLER SIRASINDA KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

Anhidrit III'ün suya karşı çok fazla duyarlı olması deneylerin iki aşamasında ciddi zorluklar yaratmıştır. Bunlardan birincisi, daha önce sözü edilen, anhidrit III'ün fırından çıkartıldıktan hemen sonra havanın içerisindeki nemle reaksiyona girerek özelliğini kaybetmesidir.



Şekil 5. Dolgu duvarı üstündeki basınçlar ve dolgu duvarı betonunun basınç dayanımı (İstanbulluoğlu, 1995).

Önlem olarak, fırından çıkartılan anhidrit III suyla karıştırılıp harç yapılıncaya kadar geçen sürede hava ve nemden izole edilerek korunmuştur ve bu süre olabildiği ölçüde kısa tutulmuştur. Ayrıca, nemle birleşme hızı göreceli olarak daha yavaş olan 12,70 ile 19,05 mm arası tane boyutundaki alçıtaşları ile çalışılmıştır.

İkinci zorluk ise anhidrit III agregasının harç durumuna getirilmesi için katkı suyuyla karıştırılması sırasında yaşanmıştır. Kuru anhidrit III tanecikleri üzerine su dökülünce çok hızlı bir şekilde ve bölgesel olarak bağlanıp prizlenmişlerdir. Su ile karşılaşan kısımlar işlenebilir bir kıvam oluşmadan, irili ufaklı topraklar halinde donmuştur. Bu durumda, her topak tek başına son derece dayanıklı olmasına rağmen, topraklar arası bağ oldukça zayıf olduğu için numunenin genel basınç dayanımı çok küçük olmuştur. Bu zorluğa karşı önlem olarak ise, anhidrit IIFün katkı suyulla karıştırılması ve kalıplara doldurulması işlemleri topaklaşmaya meydan verilmeyecek kadar hızlı yapılmıştır.

7. SONUÇLAR

Yapılan deneylerin sonunda Beypazarı Havzası alçıtaşlarının (kalsiyum sülfat dihidrat) 165 °C ısıtılmada kristal suyunun % 15,5 8'ini kaybederek alçıya (yarımhidrata) ve 205 °C ısıtılmada kristal suyunun % 20,10'unu kaybederek anhidrata dönüştüğü bulunmuştur. 205 °C'ta elde edilen ürün anhidrit IIFtür ve en fazla kristal suyu kaybı anhidrit IIFün Arında yarım saat bekletildiği durumda olmuştur.

205 °C ısıtılmada alçıtaşının tane boyutu büyüklüğü kristal suyu ayrışmasını etkilememiştir. 165 °C ısıtılmada ise alçıtaşının tane boyutu büyüdükçe ayrışan kristal suyunun oranı düşmüştür.

Anhidrit III fırından çıkartıldıktan sonra hava içerisindeki nemle birleşerek ısı işlem esnasında kaybettiği kristal suyunun bir kısmını geri almıştır ve tekrar yarımhidrata dönüşmüştür. Bu kendiliğinden yarımhidrata dönüşme işlemi anhidrit IIFün ağırlığı %7 oranında artıktan sonra bitmektedir. Anhidrit IIFün tane boyutu büyüdükçe kendiliğinden yarımhidrata dönüşme hızı azalmıştır. 0 - 1,19 mm tane

boyutundaki anhidrit III örnekleri 24 saat içerisinde yarımhidrata dönüşürken, 19,05 ile 25,40 mm arası örneklerin yarımhidrata dönüşmesi 480 saat sonra tamamlanabilmiştir.

Anhidrit III üretimi için en uygun alçıtaşı tane boyutu aralığı 12,70 - 19,05 mm olarak bulunmuştur.

Anhidrit III tanecikleri karma suyu ile karıştırıldıktan ve birbirlerine bağlanıp sertleştikten sonra (tekrar dihidrata dönüştükten sonra) ölçülen tek eksenli basınç dayanımları; 5 saat sonra 1,9 MPa, 24 saat sonra 3,1 MPa, 168 saat sonra 13,0 MPa ve 360 saat sonra 17,3 MPa olmuştur. Bu değerler Çayırhan Ocağı taban yolları dolgu duvarının yapımında halen kullanılan betonun basınç dayanımı değerlerine son derece yakındır. Dolgu duvarının basınç dayanımının üzerindeki basınç oranı beton dolgu duvarında en düşük 1,4 olmuştur. Betonun yerine anhidrit III kullanılması durumunda ise bu oran 1,35 gibi çok yakın bir değer olmaktadır. Sonuç olarak, Beypazarı Havzası alçıtaşlarından elde edilen anhidrit IIFün, taban yollarının duraylılığı açısından, Çayırhan Ocağı'ndaki dolgu duvarının yapımında kullanılan betonun yerini alabileceği bulunmuştur.

Deneylerin sonunda bulunan basınç dayanımı değerleri ve eğrisi ile anhidrit IIFün, sadece Çayırhan Kömür Ocağı'ndaki dolgu duvarlarında değil, başka bir çok kullanım alanında da betonun yerini alabilecek potansiyele sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

Albayrak, İ. E., 1991; "Bölme Duvarlarında Alçı Kullanımı", Ulusal Alçı Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 42-51.

Appleyard, F. C., 1975; "Gypsum And Anhydrite", Industrial Minerals And Rocks, New York, s. 185-199.

Bates, R. L., 1969; "Geology of the Industrial Rocks And Minerals", Dover Publications, New York, 459 s.

Çayırılı, H., 1991; "Alçıtaşı ve Türkiye Alçıtaşı Yatakları", Ulusal Alçı Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 7 -14.

Clark, A. C. ve Newson, S. R., 1985; "A Review of Monolithic Pumped Packing System", The Mining Engineer, s. 491-495.

Gürdal, E., 1991; 'Ulusal Alçı Kongresi Bildiriler Kitabı', İstanbul, s. 21-29.

İstanbuluoğlu, Y. S., 1988; "Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonunun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma", Madencilik, Cilt XXVII, Sayı 3, s: 19-31.

İstanbuluoğlu, Y. S., 1995; 'Strata Control Aspects at the Gate Roadways of OAL Underground Mine', Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, 220 s.

Nixon, D. W. ve Mills, P. S., 1981; 'Pump Packing Development At Hem Heath Colliery', The Mining Engineer, March, s. 645-652.

Whittaker, B. N., Singh, R. N. ve Whittaker, P. E., 1980; "Anhydrite Packing In European Coalfield", The Mining Magazine, Nottingham Univ., Vol. 32, s. 59-73.

Yüksel, V., 1971; "Su İle Karıştırılınca Sertleşen Malzemedeki Yapılan Galeri Refakat Barajları", Madencilik, Cilt X, Sayı 2, s. 42-52.

.....1984; 'Pump Packing - The Safety Way To Pack', Colliery Guardian, February, s. 58-64.

.....1990; 'Kornverteilung -Grain Analysis', Bergbau - Forchung Raporu.

