

## ÇİMENTO KLİNKERİ VE TRAS KARIŞIMLARININ ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

### GRINDABILITY CHARACTERISTICS OF CEMENT CLINKER AND TRASS MIXTURES

Ç. AVŞAR

ODTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

Ç. HOSTEN

ODTÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

**ÖZET:** Çimentoyu oluşturan malzemelerin öğütülebilirlikleri -ayn ve beraber öğütüldüklerinde- Bond ve Hardgrove (standart ve hacimsel) öğütülebilirlik yöntemleri kullanılarak saptanmıştır. Ayrıca, Bond değirmeninin içerisinde gerçekleşen öğütme mekanizmalarını ve etkileşimleri anlamak için çimentoyu oluşturan malzemelerin öğütme parametreleri (öğütme hızı ve öğütme dağılım fonksiyonları) öğütme zamanı gözönüne alınarak belirlenmiştir. Ek olarak, çimentoyu oluşturan malzemelerin beraber öğütülürken aynı tükettikleri enerjiler, modifiye edilmiş Charles enerji-boyut indirgeme yasası kullanılarak saptanmıştır. Deneyler sonucunda, Bond yöntemi karışımlar için kullanıldığında standart ve hacimsel Hardgrove yöntemlerine göre daha hassas sonuçlar vermiştir. Hacimsel Hardgrove sonuçları Bond sonuçlarına standart Hardgrove sonuçlarından daha yakın bulunduğu için hacimsel Hardgrove yöntemi hızlı yöntem olarak kabul edilmiştir. Klinkerin ve trassın öğütme hızı fonksiyonları zamana göre bağımsız olduğu görülmüştür. Bununla beraber klinkerin öğütme dağılım fonksiyonunun değirmen içerisindeki malzemelerden bağımsız olduğu bulunurken, trassın öğütme dağılım fonksiyonunun bağımlı olduğu bulunmuştur.

**ABSTRACT:** Grindability of cement raw materials when ground separately and as a component of a binary mixture was determined by using Bond and Hardgrove (standart and volumetric) grindability methods. Also, In order to understand grinding mechanisms and interactions taking place in the Bond mill, the breakage parameters -breakage rate and breakage distribution functions- of the cement raw materials were determined by taking grinding time into consideration. In addition, the modified Charles energy-size reduction relationship was used to determine the energy consumption of the cement raw materials when they are ground as a component of a binary mixture. As a result of the experiments, Bond test gave more consistent results than those of standart and volumetric Hardgrove tests when they are applied to the mixtures of the cement raw materials. Volumetric Hardgrove test was accepted as a rapid procedure to determine the grindabilities of the materials, as its results were closer to the results of the Bond tests when compared to the standart Hardgrove tests. The breakage rate functions were found time-independent for clinker and trass in the Bond mill. While the breakage distribution functions of clinker were found to be environment-independent, those of trass were found to be environment-dependent.

## I GİRİŞ

Son zamanlarda katkı malzemeleri ile karıştırılarak hazırlanan çimento üretiminin yaygınlaştığı gözlenmektedir ve özellikle Avrupa ülkelerinde bu yöntem daha çok rastlanmaktadır. Bu tip çimentolarda katkı maddesi olarak genellikle trass, uçucu kül, yüksek fırın cürufu veya kireçtaşı kullanılmaktadır. Bu çimentoların diğer çimentolara göre kullanımının artması kısaca şu sebeplere bağlanabilir (Opoczky, 1993)

Katkı malzemeleri ile hazırlanan çimentoların kullanılabilirliği ve zaman içerisindeki dayanıklılığı diğer çimentolara göre daha fazladır.

Katkı malzemeleri ile hazırlanan çimentoların içerisindeki klinker oranı diğer çimentolara göre daha azdır. Bu da, dolaylı olarak, çevrenin korunması ve ekonomi açısından çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Örneğin, klinker üretimi için daha az yakıt kullanılmakta, buna bağlı olarak da açığa çıkan karbondioksit miktarı düşmektedir.

Bu tip çimentolar genellikle beraber öğütülerek üretildikleri için çimentonun kalitesi doğrudan bileşenlerin öğütme sırasındaki davranışlarından etkilenir. Çimento üretimi için gerekli toplam enerjinin yaklaşık üçte birinin de klinkerin öğütülmesinde harcandığı gözönünde bulundurulduğunda, öğütme işleminde katkı

maddelerinin ve klinkerin etkileşiminin anlaşılması *öğütmenin* etkinliği ve kontrolü açısından önem kazanmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada klinker ve tras içeren çimentonun öğütülebilirlik karakterleri detaylı olarak incelenmiştir.

Klinker ve trasın öğütülebilirlikleri, ayrıca bu hammaddelerin karışım oranları değişikçe öğütülebilirliğin nasıl değiştiği hakkında bilgi edinmek için Bond öğütülebilirlik yöntemi kullanılmıştır. Buna ek olarak, standart ve hacimsel Hardgrove öğütülebilirlik yöntemleri aynı malzemelere uygulanmış ve çıkan sonuçlar Bond sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Böylece, uygulanabilirliği Hardgrove yöntemine göre daha uzun ve zahmetli olan Bond yöntemine alternatif geliştirilmeye çalışılmıştır. Daha önce belirtildiği gibi çimento üretiminde, klinkerin öğütülmesi aşırı enerji tüketen bir işlem olduğundan, sürekli kontrol gerektirmektedir. Bu da ancak doğru öğütülebilirlik verilerinin mümkün olduğunca çabuk elde edilmesiyle sağlanır.

Ayrıca, Bond değirmeninde gerçekleşen klinker ve tras karışımlarının öğütme mekanizmalarını ve etkileşimlerini anlamak için klinker ve trasın öğütme hızı ve öğütme dağılım fonksiyonları öğütme zamanı gözönüne alınarak kinetik deneylerle belirlenmiştir. Bu deneylere bağlı olarak klinker ve trasın beraber öğütülürken aynı enerji tüketimleri enerji modifiye edilmiş Charles enerji-boyut indirgeme bağıntısından yararlanılarak saptanmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Malzeme

Deneyler için, Set Ankara Çimento Fabrikası'nın stok sahasından uygun miktarlarda klinker ve tras numuneleri alınmıştır. Alman klinkerin üst tane boyutu 2.5 cm, trasın ise 10 cm'dir. Numuneler öğütme deneylerinden önce sırasıyla çeneli ve merdane kırıncılardan geçirilerek boyudan küçültülmüştür. Bond öğütülebilirlik yöntemi için 6 meşlik standart Tyler eleğinin elekali malzemesi, Hardgrove öğütülebilirlik yöntemi için 14 ve 28 meşlik standart Tyler eleklerinin ara malzemesi, kinetik deneyler için 14 ve 20 meşlik standart Tyler eleklerinin ara malzemesi temsili olarak alınarak deneyler için hazır hale getirilmişlerdir. Bunlara ek olarak, çok küçük boyutlarda eleme yapmak için Alpine vakumlu ayırıcı ve FLS-Flourmetre'den (25 mikron için) yararlanılmıştır.

### 2.2. Standart Bond Deneyi

Bu deneyde, kuru-kapalı devre öğütme sistemi kurulmuş, bilyalı Bond değirmeniyle devreden yük %250'ye ulaşıncaya kadar deneyler sürdürülerek Bond iş indeksi hesaplanmıştır.

Hazırlanan numunelerden 700 cm<sup>3</sup> temsili olarak alınmış ve ilk öğütme periyodu 100 devir üzerinden yapılmıştır (Değirmen devir hızı 70 devir/dakika'dır). Her periyot sonunda bütün ürün boşaltılarak kontrol eleğinde (100, 150 ve 200 mes) elenmiştir. Eleküstü malzemeye orijinal malzemeden eklenerek toplam ağırlık başlangıç ağırlığına eşitlenmiş ve tekrar değirmene beslenmiştir. İkinci öğütmedeki - devir sayısı dereceli olarak devreden yük %250'ye ulaşacak şekilde hesaplanmıştır. Bu işleme devirdeki ürün elekaltuun sabit olduğu yere kadar devam edilmiştir. Hesaplarda dengede olan son iki öğütme periyodu gözönüne alınmıştır. Bulunan değerler, aşağıdaki Bond formülünde yerine konarak malzemelerin iş indeksleri bulunmuştur (Bond vd., 1943; Bond, 1947).

$$Wi = \frac{44.5}{P_c^{0.25} G^{0.82} \left[ 10 / (P_{10})^{0.5} - 10 / (F_{10})^{0.5} \right]} \quad (1)$$

F<sub>10</sub>: öğütülecek malzemenin %80' inin geçtiği elek açıklığı (um)

P<sub>10</sub>: öğütülen malzemenin %80' inin geçtiği elek açıklığı (um)

W<sub>i</sub>, iş indeksi (work index) (kwh/ shton)

P<sub>i</sub>: Kontrol eleği (147, 104 ve 74 um)

G<sub>p</sub>: Devirdeki elek ağırlığı (gram/ devir)

### 2.3. Standart Hardgrove Deneyi

Bu deney, sadece Hardgrove öğütülebilirlik deneyleri için özel olarak tasarlanmış Hardgrove makinası ile gerçekleştirilmiştir. ASTM standartlarında öngörüldüğü gibi -14+28 meş boyutunda hazırlanmış malzemeden 50+0.01 gr temsili numuneler alınmış ve Hardgrove makinasına 60 devir yaptırılarak öğütülmüştür. öğütülen malzeme daha sonra 200 meşlik standart Tyler eleğinde elenmiş ve elekali tartılarak Hardgrove öğütülebilirlik indeksi aşağıda tanımlanan eşitlikle hesaplanmıştır.

$$HGI = 6.93w + 13 \quad (2)$$

HGI: Hardgrove Öğütülebilirlik indeksi

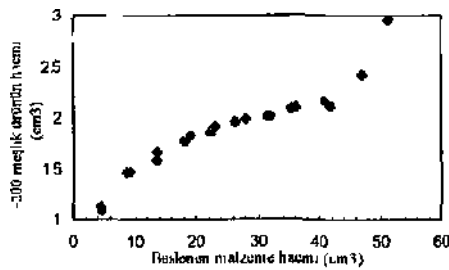
w: Elekara malzemenin ağırlığı (gr)

Bulunan Hardgrove sonuçlarını, Bond sonuçlarıyla karşılaştırmak için, Bond (1954) tarafından geliştirilen eşitlik kullanılmıştır.

$$Wi = \frac{88}{HGI^{0.5}} \quad (3)$$

#### 2.4. Hacimsel Hardgrove Deneyi

Agus ve Waters (1971), kahverengi Avustralya kömüriyle yaptıkları standart Hardgrove deneylerinde kömür numunelerinin Hardgrove makinasında kül bileşenlerine göre iki kat daha fazla hacim kapladığını gözlemlemişlerdir. Bu kül parçaları, makina içerisinde daha fazla oranda öğütücü ortamla temasta bulunmakta dolayısıyla -200 meşlik kül bileşenleri artmaktadır. Buna bağlı olarak da Hardgrove öğütülebilirlik indeksi hatalı olarak bulunmaktadır. Bu durum tamamen kömür ve kül bileşenlerinin yoğunluklarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı çalışmada, değişik yoğunluklara sahip numunelerin Hardgrove deneylerini çeşitli deney hacimleriyle tekrarlamışlar ve bu hacimleri çıkan -200 meş deney ürünleriyle karşılaştırarak grafiklerini çizmişlerdir. Grafiklerde her numune için 36 cm<sup>3</sup> hacmin dönüm noktası olduğunu gözlemlemişlerdir.

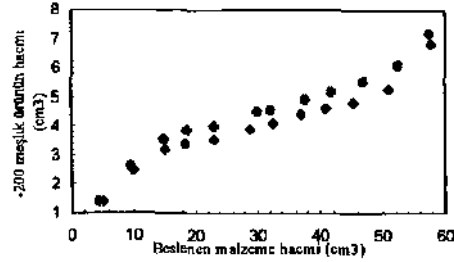


Şekil 1 Klinker için sabit hacim belirleme grafiği

Bu çalışmada, klinker ve tras numuneleri kullanılarak yukarıda anlatılan yöntem tekrarlanmış ve 36 cm<sup>3</sup> 'kik hacim, Şekil 1 ve Şekil 2' de görüldüğü gibi dönüm noktası olarak bulunmuştur. Bu hacim sabit kabul edilerek bütün Hardgrove deneyleri gerçekleştirilmiş ve deney sonuçları aşağıdaki eşitlik yardımıyla Hardgrove öğütülebilirlik indeksi olarak tanımlanmıştır

$$HGI = 6.97G + 15.93 \quad (4)$$

G1 Klinker malzemenin ağırlığı (gr)



Şekil 2 . Tras için sabit hacim belirleme grafiği

Bulunan Hardgrove sonuçlarını, Bond sonuçlarıyla karşılaştırmak için, McIntyre ve Plitt (1980) tarafından geliştirilen eşitlik kullanılmıştır.

$$Wi = \frac{87.5}{GI^{0.81}} \quad (5)$$

#### 2.5. Kimyasal Analiz

Karışımlarla yapılan deneylerden sonra trası klinkerden ayırmak için TSE tarafından standart olarak kabul edilmiş olan P+S (Puzzolan+Süüka) tahmin metodu kullanılmıştır. Bu yöntemle, öğütülmüş tras-klinker karışımlarından 1 gr temsili numuneler alınmış 160 cc damıtılmış su ve 40 cc HCl (1+10'lük) asit karışımına konup, 30 dakika manyetik karıştırıcı ile karıştırılmış ve karışım içerisindeki klinkerin erimesi sağlanmıştır. Geriye kalan iras parçaları, solüsyonun beyaz bant filtre kağıdından geçirilmesiyle tutulmuş ve 105. C° de 2 saat süreyle filtre kağıdıyla birlikte kurutulmuştur. Daha sonra fırından alınan tras-filtre kağıdı tartılmış ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla karışım içerisindeki tras yüzdesi bulunmuştur.

$$P + S = \left[ \left[ \frac{(m_2 - m_1)}{m} \right] * 100 \right] * 1.07 - 1.3 \quad (6)$$

P+S Karışım içerisindeki tras miktarı (%)

m- Klinker-tras karışımı « 1 gr

m<sub>1</sub>: Filtre kağıdının ağırlığı (gr)

m<sub>2</sub>. Tras + Filtre kağıdının ağırlığı (gr)

#### 2.6. Kinetik Deneyler

Bu deneyler, 0,5, 1 0, 2 0 ve 4 0 dakikalık öğül me periyotlarında Bond değimini ve ortamı kuftanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan klinker ve tras tamamen serbest durumda olduğundan ve deneylerde kademeli Öğütme sistemi kullanıldığından, malzemenin Y boyutundaki net hız değişimi aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir (Lynch 1977)

$$\frac{dm_i}{dt} = -k_i m_i + \sum_{j=1}^n B_{i,j} k_j m_j \quad (?)$$

$\frac{dm_i}{dt}$  'i' boyutundaki malzemenin artış hızı

$k_i m_i$  'i' boyutundan daha küçük boyutlara öğütme hızı

$\sum_{j=1}^n B_{i,j} k_j m_j$  'i' boyutuna daha büyük boyutlardan öğütme hızı

Yukarıdaki eşitlik yardımıyla, saf tras ve klinkerin; karışımlar ve karışım içerisindeki tras ve klinkerin aynı ayrı öğütme hızı ve öğütme dağılım fonksiyonları bulunmuştur

### 3, SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bütün öğütülebilirlik ve kinetik deneyler klinker, tras ve bu iki malzemeden oluşan dört karışımla gerçekleştirilmiştir. Karışımlar hazırlanırken çimento endüstrisinde kullanılan sınır değerleri gözönüne alınmıştır (Opoczky, 1993). Buna göre karışım içerisindeki tras oranı %35'i geçmemek, klinker oranı ise %65 ve %50 arasında olmak kaydıyla numuneler hazırlanmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir

#### 3 1 Standart Bond Deneyi

Standart Bond deneyler farklı boyutlardaki (100, 150,  $huv u. \hat{r}$ ) kontrol etekleriyle tekrar edilmiş ve Tablo 1'de verilen Bond iş indeksleri klinker, tras ve dört farklı karışım için bulunmuştur.

| Tabelle 1 Bond iş indeksleri | Çi (İçkalkıtı / Davır) |       | Bond İş İndeksi (kuvv. / s) |       |
|------------------------------|------------------------|-------|-----------------------------|-------|
|                              | 100#                   | 200#  | 100#                        | 200#  |
| Klinker                      | 1 609                  | 1 255 | 0 968                       | 12 26 |
| Tras                         | 2 076                  | 1 515 | 1 160                       | 10 73 |
| 80%K+20%T                    | 1 641                  | 1 192 | 0 813                       | 12 04 |
| 75%K+25%T                    | 1 652                  | 1 104 | 0 927                       | 11 85 |
| 70%K+30%T                    | 1 522                  | 1 136 | 0 900                       | 13 50 |
| 65%K+35%T                    | 1 544                  | 1 220 | 0 858                       | 13 38 |

Bulunan Bond iş indeksleri, trasın klinkere oranla daha kolay öğünür bir malzeme olduğunu, buna ek olarak klinker ve trasın belirli oranlarda

karşınmasıyla hazırlanan malzemelerin, bu ıkt çimento hammaddesine göre daha zor öğündüğünü göstermiştir. Ayrıca bütün kompozisyonlar tçm son deney setinde elde edilen ürün, P+S analiz yöntemiyle bileşenlerine ayrılmış ve başlangıçtaki karışım oranlarına yaklaşık olarak ulaşıldığı görülmüştür. Bu Bond deneyinin, karışımlar soz konusu olduğunda güvenilir ve hassas sonuçlar verdiğini göstermektedir (Tablo 2),

Tablo 2 . Öğütülebilirlik deneylerinden elde edilen ürünlerin tras miktarları (%) ve Bond deneylerinde son sel ürününün yüzey alan ölçümleri.

| Kompozisyon | Bond Deneyi (200#)                |          | Standart Hardgrove Ürünü (-200#)  |                                   |
|-------------|-----------------------------------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|             | Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> /gr) | (Tras %) | Standart Hardgrove Ürünü (Tras %) | Hacimsel Hardgrove Ürünü (Tras %) |
| Klinker     | 1663                              | 0        | 0                                 | 0                                 |
| Tras        | 3601                              | 100      | 100                               | 100                               |
| 80%K+20%T   | 2126                              | 20 90    | 32 10                             | 37 75                             |
| 75%K+25%T   | 2289                              | 26 76    | 38 06                             | 45 08                             |
| 70%K+30%T   | 2289                              | 29 64    | 43 49                             | 50 40                             |
| 65%K+35%T   | 2599                              | 35 40    | 50 71                             | 57 22                             |

Bunlara ek olarak yine bütün kompozisyonların son deney seti ürünlerinin yüzey alanları Blaine ekipmanı kullanılarak ölçülmüş, tras ürünü yüzey alanının klinkere oranla daha fazla olduğu ve karışımlar içerisindeki tras miktardan arttıkça karışım yüzey alanlarının arttığı gözlenmiştir (Tablo 2). Bu da daha kolay öğütülebilen malzeme, karışımın tane boyut dağılımını genişletir teorisini desteklemektedir (Opoczky, 1993).

#### 3 2. Standart ve Hacimsel Hardgrove Deneyleri

Standart ve hacimsel Hardgrove deneyler her kompozisyon için beş kez tekrar edilmiş, bulunan sonuçların ortalamaları alınarak o kompozisyonun öğütülebilirlik indeksi hesaplanmıştır Standart Hardgrove değerleri 3 eşitlik, hacimsel Hardgrove sonuçları da 5 eşitlik yardımıyla Bond iş indeksine dönüştürülmüştür (Tablo 3 ve Tablo 4).

Tablo 1 Standart Hardgrove deneylerinin elçalkıtı miktarları ve Bond iş indeksi cinsinden karşılıkları.

| Kompozisyon | w (gr) | Bond iş indeksi (W <sub>2</sub> ) |
|-------------|--------|-----------------------------------|
| Klinker     | 5 46   | 12 34                             |
| Tras        | 9 20   | 10 08                             |
| 80%K+20%T   | 6 21   | 11 75                             |
| 75%K+25%T   | 6 51   | 11 54                             |
| 70%K+30%T   | 6 24   | 11 74                             |
| 65%K+35%T   | 7 08   | 11 37                             |

Tablo 3 ve Tablo 4'de verilen iş indekslerinin hesaplanmasıyla hacimsel Hardgrove deneyi sonuçlarının, Bond deneyi sonuçlarına standart Hardgrove deneyi sonuçlarından daha yakın olduğu görülmüş ve bu yöntemin hızlı yöntem olarak

kullanılabilirliğinin daha doğru olacağı kanısına varılmıştır.

Tablo 4 Hacimsel Hardgrove deneylerinin elekallı miktarları ve Bond iş indeksi cinsinden karşılıkları

| Kompozisyon    | Üİ(KT) | Bond iş indeksi (WO) |
|----------------|--------|----------------------|
| Klinker        | 6.61   | 16                   |
| İtras          | 12.25  | 94                   |
| 80%K+20%T      | 7.92   | 1571                 |
| 75%K+22%F      | 8.51   | 14                   |
| 70%-İK-11(1%T) | 8.8    | 15                   |
| 65%KH35%T      | 9.17   | 91                   |

Fakat hacimsel Hardgrove deneyi ile bulunan klinkerlerin iş indeksi, Bond iş indeksine oranla oldukça yüksek bulunmuştur. Bu durum, Hardgrove ve Bond yöntemlerinin öğütme mekanizmalarının tamamen farklı olmasına bağlı olarak malzemelerin öğütmeye karşı değişik dirençler göstermesi nedeniyle bağlanmıştır. Ayrıca karışımlar için yapılan Hardgrove öğütülebilirlik deneylen sonucunda elde edilen ürünlerin tras miktarları orijinal malzemeye oranla oldukça fazla bulunmuştur (Tablo 2). Bu sonuç Hardgrove yöntemlerinin karışımlar için çok da güvenilir olmadığını göstermektedir. Bu nedenle klinker ve tras karışımları için hacimsel Hardgrove yöntemi standart yöntemle göre daha güvenilir görünmesine rağmen hassasiyet gerektiren durumlarda Bond yönteminin kullanılması en uygunu olacaktır.

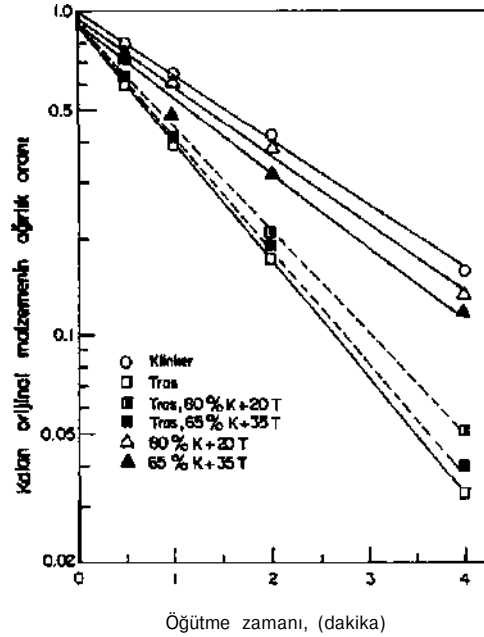
### 3.3. Öğütme Hız Fonksiyonu

Eşitlik 7'den de anlaşılacağı gibi kinetik modelinde, bilyalı değirmende yapılan öğütme işleminin birinci dereceden öğütme kinetiğine sahip olduğu açıklanmaktadır. Buradan yola çıkarak öğütme hızı fonksiyonu, öğünmeden kalan orijinal malzemeye karşı zaman grafiğini yan-logantmik koordinat eksenlerinde çizerek bulunmaktadır (Venkataraman vd., 1984). Çizilen grafiklerin eğimi doğrudan öğütme hızı fonksiyonlarının sayısal değerlerini vermektedir (Şekil 3).

Birinci dereceden öğütme kinetiğinin geçerliliği, çimento hammaddeleri ve Bond ortamı için Şekil 3'de de görüldüğü gibi kanıtlanmıştır. Butun kompozisyonlar için öğütme hızı fonksiyonunun zamana göre bağımsız olduğu bulunmuştur. Bu beslenen orijinal malzemenin öğütme işlemi için seçilme ve kırılma olasılığı zamana göre sabit olduğunu göstermektedir. Bununla beraber tras, değirmen içerisindeki malzeme kompozisyonundan etkilenirken klinkerlerin etkilenmediği görülmüştür. Başka bir deyişle trasın öğütme hızı fonksiyonu

değirmen içerisindeki malzemeye bağımlı, klinkerlerin öğütme hızı fonksiyonu ise bağımsızdır (Şekil 3).

Klinkerlerin karışımlar içerisindeki öğütme hızı eğrileri, saf klinkerlerin öğütme hızı eğrisi ile üstüste geldiği için Şekil 3'de gösterilmemiştir.



Şekil 3 -14+2(1 meş boyutunda; klinker, tras ve karışım)T için birinci dereceden öğütme grafiği

Tablo 5 Saf klinker ve tras. karışımlar ve her iki malzemenin karışım içerisindeki öğütme hızı fonksiyonları

|                                 | M/M | II | J/IS | VON | Öğütme hızı fonksiyonu (mm <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------------|-----|----|------|-----|--|
| Klinker                         |     |    |      |     | 11.4d                                      |
| İtras                           |     |    |      |     | 11.82                                      |
| W <sub>1</sub> ...kÜÜ%T         |     |    |      |     | 11.82                                      |
| f.S%K+H...-                     |     |    |      |     | 11.82                                      |
| Kin*... (X0%K+20%T) lensindi;   |     |    |      |     | 11.4X                                      |
| klmtr. (r.V/oknWsl   i...rnuj < |     |    |      |     | 11.82                                      |
| *rru(MI%ki20%T)u,vrs ink-       |     |    |      |     | >71  |
| kus. (6.% M ^S^Vn İverisimk     |     |    |      |     | (17X                                       |

r (knelHSvun kulfrayn.) İk-t k>=m|n|sw>u n,m (l \*W ilu)

Klinker w irasın ayrı ayı, karışımların ve bu iki malzemenin karışım içerisindeki öğütme hızı fonksiyonlarının sayısal değerleri Tablo 5'de verilmiştir. Bu tabloya göre, trasın öğütme hızı fonksiyonunun klinkerinkine oranla daha yüksek olduğu ve karışımların öğütme hızı fonksiyonlarının karışım içerisindeki malzemelerin ağırlık oranlarıyla orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca malzemelerin karışımlar içerisindeki öğütme hızlarının aynı olduğu bulduğumuzda klinkerlerin, karışımlar içerisinde öğütme hızının değişmediği, bununla beraber, İrasın karışım içerisinde klinker oranı

artıkça öğütme hızının azaldığı görülmüştür. Bu durum; değirmen içerisinde baskın (dominant) olan klinkerin, trasin varlığından etkilenmediğini göstermektedir. Klinkerin trasa oranı daha zor öğünen bir malzeme olması klinkerin karışımlar içerisindeki bu davranışını desteklemektedir. İrasın öğütme hızının, karışım içerisinde klinker oranının artması ile azalması ise değirmende daha fazla hacim kaplayan klinkerin öğütücü ortamın tras taneleriyle buluşmasını kısıtlamasıyla açıklanabilir.

### 3.5. Öğütme Dağılım Fonksiyonu

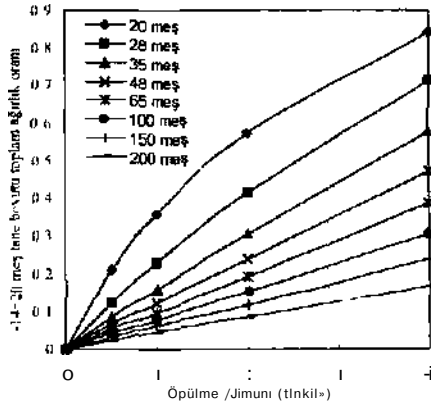
Öğütme dağılım fonksiyonları, çok küçük boyuttaki malzemelerin başlangıçta sabit hızla öğütüldükleri prensibinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Bu prensip kısaca sıfırına dereceden öğütme olarak adlandırılmış ve aşağıdaki eşitlikle açıklanmıştır (Herbst vd, 1968)

$$\frac{dY_i}{dt} = F_i \quad (8)$$

$Y_i$ :  $i$ ' boyutundan küçük olan malzemenin toplam ağırlık oranı

$F_i$ :  $i$ ' boyutundan küçük olan malzemenin sıfırına dereceden hız sabiti

Sıfırına dereceden hız sabiti, -14+20 meş tane boyutunda toplam ağırlık oranının zamana karşı grafiğinin aritmetik koordinat eksenlerinde her boyut için çizilmesi ve grafiklerin başlangıç eğimleri gozonune alınarak hesaplanmasıyla elde edilmiştir (Şekil 4)

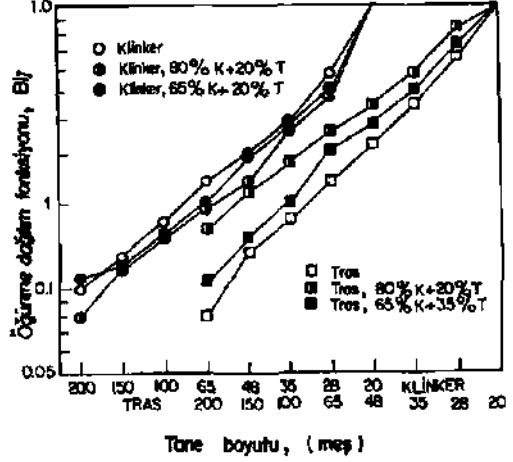


Şekil 4 • -14+20 meş iane boyutundaki klinkerin sıfırına dereceden öğütme hızı grafiği

Öğütme hızının sabit olduğu bir öğütme sistemi düşünüldüğünde, sıfırına dereceden hız sabiti ( $F_i$ ), öğütme hız fonksiyonu ( $k_i$ ) ve öğütme dağılım fonksiyonunun ( $B_{ij}$ ) aşağıda tanımlandığı gibi ilişkili olduğu teorisi kabul edilerek öğütme dağılım fonksiyonları bulunmuştur (Herbst vd , 1968)

$$B_{ij} = \frac{F_i}{k_j} \quad (9)$$

Kullanılan çimento hammaddelerinin değişik kompozisyonlardaki davranışlarını anlamak için öğütme dağılım fonksiyonlarının tane boyutlarına karşı grafiği logaritmik koordinat eksenlerinde çizilmiştir (Şekil 5),



Şekil 5 ' Değişik kompozisyonlarındaki öğütme dağılım fonksiyonları

Bunun sonucunda, klinkerin öğütme dağılım fonksiyonunun, değirmen içerisindeki malzeme kompozisyonundan bağımsız; İrasın öğütme dağılım fonksiyonunun ise değirmen içerisindeki malzeme kompozisyonuna bağımlı olduğu bulunmuştur (Şekil 5) Başka bir deyişle, klinker tanelerinin öğütme hızında kırılmasına trasa'nın bir etkisi olmazken, iras tanelerinin kırılması değirmen içerisindeki klinket Oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir

### 3.6. Enerji Tüketimi

Karışımların öğütülmesi esnasında klinker ve İrasın ayrı ayrı enerji tüketimini bulabilmek için aşağıda verilen modülye üdülmüş Chalics enerji boyut indirgeme bağıntısından yararlanılmıştır (Fumtenua vd 1971)

$$E_m = m_1 C_1 X^{-a_1} + m_2 C_2 X^{-a_2} \quad (10)$$

$m_1$  ve  $m_2$ , Karışımdaki bileşenlerin ayrı ayrı ağırlık oranları

$C_1$  ve  $C_2$  Karışımdaki bileşenlerin ayrı ayrı sabitleri

$a_1$  ve  $a_2$  Karışımdaki bileşenlerin ayrı ayrı dağılım parametreleri

$X$  Karışımların boyut parametreleri

Öğütme boyunca harcanan gücün sabit olduğu gerçeğinden yola çıkılarak aşağıdaki eşitlik yazılmış ve öğütme zamanı, öğütme esnasında kullanılan enerjinin birimi olarak kabul edilmiştir (Fuerstenau vd., 1962)

$$\text{Enerji} = OT^n$$

Güç x Öğütme zamanı ( $t$ ) =  $CX^a$

$$t = \left( \frac{C}{\text{Güç}} \right) X^{-a}$$

$$t = C' X^{-a}$$

$$t_k = m_1 C_1' X^{-a_1} + m_2 C_2' X^{-a_2} \quad (11)$$

Klinker ve tras ile ayrı ayrı yapılan kinetik deneylerden elde edilen tane boyutu dağılım analizlerine göre bileşen sabitleri ( $C$ ) ve dağılım parametreleri ( $a$ ) bulunmuş, Charles'in enerji-boyut indirgeme bağıntısı her iki malzeme için ayrı ayrı aşağıdaki gibi yazılmıştır

$$t_{\text{Klinker}} = 790 X^{-0.83}$$

$$t_{\text{Tras}} = 1450 X^{-1.01}$$

$$t_k = m_1 790 X^{-0.83} + m_2 1450 X^{-1.01} \quad (12)$$

Bu eşitlik yardımıyla, bütün kompozisyonlar için klinker ve trasın ayrı ayrı bulunan enerji tüketimleri dakika cinsinden Tablo 6'da verilmiştir

Tablo 6 Beraber öğütülen çimento ve trasın ayrı ayrı harcadıkları enerjiler.

| Kompozisyon | Klinker |      |      |      | Tras |      |      |      |
|-------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 0.5     | 1.0  | 2.0  | 4.0  | 0.5  | 1.0  | 2.0  | 4.0  |
| 80%K, 20%T  | 0.40    | 0.92 | 1.81 | 3.57 | 0.04 | 0.08 | 0.19 | 0.44 |
| 70%K, 30%T  | 0.45    | 0.97 | 1.95 | 4.02 | 0.05 | 0.11 | 0.25 | 0.58 |
| 60%K, 40%T  | 0.48    | 1.05 | 2.09 | 4.31 | 0.06 | 0.14 | 0.31 | 0.69 |
| 50%K, 50%T  | 0.48    | 1.05 | 2.09 | 4.31 | 0.07 | 0.17 | 0.38 | 0.82 |

Tablo 6'daki enerji tüketim sonuçlarına bakıldığında karışımların öğütülmesi sırasında, enzim büyük bir kısmının beklenildiği gibi karışım içerisinde dominant

ve öğütülebilirlik açısından da daha dayanıklı olan klinker için harcadığı görülmüştür. Buna ek olarak karışım içerisinde tras oranı yükseldikçe, klinkerin öğütülmesi için gerekli olan enerjinin düştüğü gözlenmiştir.

#### 4 SONUÇ

Yapılan Bond ve Hardgrove öğütülebilirlik deneyleri, çimento hammaddelerinden klinkerin, tras oranla daha zor öğütüldüğünü göstermiştir.

Bond deneyi, karışımların öğütülmesi söz konusu olduğunda Hardgrove deneylerine göre daha güvenilir ve hassas sonuçlar vermiştir.

Klinker ve trasın belirli oranlarda karıştırılmasıyla hazırlanan malzemelerin, bu iki çimento hammaddesinin saf olarak öğütülmesine oranla daha zor öğütüldüğü görülmüştür.

Hacimsel Hardgrove deneyi sonuçlarının, Bond deneyi sonuçlarına standart Hardgrove deneyi sonuçlarından daha yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle, hacimsel yöntemin hızlı yöntem olarak kullanılabilirliğinin daha doğru olacağı kanısına varılmıştır.

Karışımlar içerisindeki tras miktarı arttıkça malzemelerin yüzey alanlarının arttığı gözlenmiştir.

Bütün kompozisyonlar için öğütme hız fonksiyonunun zamana göre bağımsız olduğu görülmüştür. Bununla beraber, trasın öğütme hız fonksiyonu değirmen içerisindeki malzemeye bağımlı, klinkerin öğütme hız fonksiyonunun ise bağımsız olduğu bulunmuştur.

Klinkerin öğütme dağılım fonksiyonunun, değirmen içerisindeki malzeme kompozisyonundan bağımsız, trasın öğütme dağılım fonksiyonunun ise değirmen içerisindeki malzeme kompozisyonuna bağımlı olduğu bulunmuştur.

Enerjinin büyük bir kısmının karışım içerisinde dominant ve öğütülebilirlik açısından da daha dayanıklı olan klinker için harcadığı görülmüştür.

#### KAYNAKLAR

Agus, FL ve Waters, PL. 1971. Determination of the *Gundabhty of Coals, Shales and Other by*

Modified Hardgrove Machine Method. *Fuel*. 50' 405-431.

*ASTM D4Û9-9ia*. 1971. Standart Test Method for Grindability of Coal by the Hardgrove-Machine Method: 203-209

Bond, FC, ve Maxson, W.L. 1943. Standart Grindability Tests and Calculations. *Transactions AIME*. 153 •362-372.

Bond. FC. 1947 Standart Grindability Tests Tabulated. *Transactions AIME*. 133:3)3-329.

Charles, R.J. 1957. Energy-Size Relationships in Comminution. *Mining Engineering Transactions AIME*: 80-88.

Fuerstenau, D W. ve Sullivan, DA 1962. Comminution of Matures in Ball Mills. *Transactions AIME*: 152-157

Herbst. .IA. ve Fuerstenau, D W 1968. The Zero-Order Production of Fine Sizes in Comminution and Its Implications in Simulation. *Society of Mining Engineering. Transactions AIME*. 24: 538-548.

Lynch, A. 1977. *Mineral Crushing and Grinding Circuits: Their Simulation, Optimization, Design and Control*. Elsevier Scientific Pub. Co. Newyork:27-43.

McInlyre, A ve Plttt. LR. 1980. The Interrelationship Between Bond and Hardgrove Grindablrttes *CİM Huthiu* 149-155

Opoczky, L 1993 Problems Relating to Grinding Technology and Quality When Grinding Composite Cements. *ZKG*. 136-140.

Venkataraman, K.S. ve Fuerstenau, D.W. 1984. Application of the Population Balance Model to the Grinding of Mixtures of Minerals. *Powder Technology*. 39: 133-142