

# KESIKLI ÖĞÜTMEDE OGUTME YARDıMCıLARıNıN ETKıSıNıN KINETİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ

## INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF GRINDING AIDS IN BATCH GRINDING BY KINETIC APPROACH

**Levent ERGÜN** (»)»  
**Hakan BENZER** (<\*\*)\*)  
**Salih ERSAYIN** (\*•••)

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Öğütme Kinetiği, Öğütme Yardımcıları, Enerji Tasarrufu

### ÖZET

Bu çalışmada, öğütme yardımcılarının kesikli öğütmede etkilerinin araştırılması için bir deneysel yöntem üzerinde durulmuştur. Bunun için kinetik yaklaşım kullanılarak kesikli öğütme bir matematiksel modele oturtulmuş ve öğütme yardımcılarının etkileri bu model parametrelerinin değişimi ile izlenmiştir. Trietanol amin ve sodyum loril sülfatın, klinkerin kuru öğütmesine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonunda, kümülatif bazlı kinetik model kullanılarak öğütme yardımcılarının etkisinin belirlenebileceği gösterilmiştir.

### ABSTRACT

In this study, an experimental method to investigate the effects of grinding aids in batch grinding was described. Kinetic approach was used for this purpose and batch grinding data was fitted to a model. The effects of grinding aids were observed as the changes in the parameters of the model. The effects of sodium lauryl sulfate and triethanol amine on dry grinding of cement clinker were investigated. It was shown that the effects of grinding aids could be quantified, by use of the cumulative basis kinetic model.

\* Araştırma Görevlisi, Hacettepe Üniversitesi Maden Müh. Bölümü Beytepe - ANKARA  
\*\* Maden Mühendisi.  
\*\*\* Doç. Dr., Hacettepe Üniversitesi Maden Müh. Bölümü Beytepe - ANKARA

## 1.GİRİŞ

Cevher hazırlamada temel işlemler olan ufalama veya boyut küçültme işlemleri çok fazla enerji tüketmeleri sebebiyle pahalı işlemlerdir. Özellikle ince ve mikronize öğütmelerde bu enerji tüketimi çok yüksek boyutlara ulaşmaktadır. 1978 'de A.B.D.'de ufalamaya 29 milyar kWh harcadığı bunun da A.B.D'deki elektrik tüketiminin % 1.5'ine karşılık geldiği (Kaplan. 1981), bir başka çalışmada ise, endüstrileşmiş ülkelerde üretilen elektriğin yaklaşık %3'ünün ufalamaya harcadığı belirtilmektedir (Schonert, 1979).

Öğütmede harcanan enerjinin azaltılması için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Öğütme yardımcıları, özellikle çimento sanayiinde geniş uygulama bulmuştur. Öğütme yardımcısı olarak literatürde pekçok kimyasal madde denenmiş olmasına rağmen ticari olarak uygulama bulan başlıca reaktifler trietanol amin ve dietilen glikoldür. Bununla birlikte, daha düşük maliyetli ve/veya etkin reaktifler için araştırmalar sürmektedir. Endüstri tesislerinin artışı veya yan ürünü olan kimyasal maddeler bu amaç için kullanılabilir (Aksak, 1981).

Öğütme yardımcılarının laboratuvarında deneysel olarak etkilerinin incelenmesi için genellikle tane boyu dağılımı ve daha yaygın olarak yüzey alanı ölçümleri kullanılmaktadır. Graichen ve Miller tarafından yapılan araştırmalar, yüzey alanı ölçümünde kullanılan Blaine geçirgenlik yönteminin öğütme yardımcılarının değerlendirilmesi için uygun olmadığını göstermiştir. BET yüzesoğurum yönteminin de kendine ait bazı dezavantajları bulunmaktadır. Sonuç olarak, öğütme yardımcılarının etkilerini incelemekte kullanılacak en uygun yöntemlerin kuru eleme ve havalı elütasyon olduğu belirtilmektedir (Dombrowe et.al., 1983).

Bu çalışmada, öğütme yardımcılarının etkilerinin daha rasyonel değerlendirilebilmesi ve deneysel olarak ek bir yük getirmeksizin standart koşullarda karşılaştırılabilirliği için kullanılabilir bir yöntem üzerinde durulmuştur.

## 2. DENEYSEL YÖNTEM

### 2.1. Deneysel Yöntem ve Malzeme

Deneysel çalışmalarda ÇİTOSAN'dan temin edilen klinker numunesi kullanılmıştır. Klinker numunesi 600 um'nin altına kırılarak besleme malzemesi hazırlanmıştır. Reaktif olarak daha önce literatürde kullanılmamış olan sodyum loril sülfat (SLS) (ağırlıkça % 0.30) ve karşılaştırma için öğütme üzerine etkisi bilinen, trietanol amin

(TEA) (ağırlıkça % 0.15) denenmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacıyla malzeme hiç bir reaktif kullanılmadan da öğütülmüştür. Kullanılan laboratuvar değirmeninin boyutları 020x35 cm'dir ve kritik hızın % 75 inde çalışılmıştır. Bilyalar arası boşluk ise %40 olarak saptanmıştır. Literatürde, bu şartlarda öğütmenin en verimli şekilde yapıldığı malzeme doldurma oranının, toplam değirmen hacminin %20'si olduğu belirtilmektedir (Austin et.al., 1984). Bunun sonucunda boşluk doldurma oranı 0.87 olarak hesaplanmıştır. Her bir öğütme için yaklaşık 1170 gr malzeme ve öğütmede her biri 2 cm çapında olan 10800 gr bilya kullanılmıştır. 5, 10, 20 ve 30 dakika süreyle kesikli kuru öğütme deneyleri yapılmış ve her öğütme sonunda kuru elek analizi yapılmıştır. Elek serisi 600 um 38um arasında V2 sıra izlenerek seçilmiştir. Model parametrelerinin sağlıklı biçimde belirlenebilmesi için, elemanın titizlikle yapılması gerekmektedir. Eleme 40 dakika süreyle ve her 10 dakikada bir eleklerin açıklıkları temizlenerek yapılmıştır.

## 2.2. Kullanılan Model ve Model Parametrelerinin Hesaplanması

Öğütme sonuçlarını değerlendirmek üzere kümülatif bazlı kinetik model kullanılmıştır (Laplante et. al., 1987);

$$W_{i(t)} = W_{i(0)} \cdot e^{-k_i \cdot t} \quad (1)$$

Burada,

$W_j(t)$  : t süre öğütme sonunda i tane boyu üzerinde kalan birikimli malzeme oranı veya yüzdesi.

$W_j(0)$  : beslemede i tane boyu üzerinde kalan birikimli malzeme oranı veya yüzdesi.

$k_j$  : i tane boyunun öğütme hız sabiti veya kinetik parametresi (dair<sup>-1</sup>),

t : öğütme süresi (dak).

Bu amaçla her bir fraksiyonun öğütme süresi boyunca birikimli yüzde eleküstü değerlerinin zamanla değişimi izlenmiş ve öğütme hız sabitleri (k) saptanmıştır.

Model parametrelerini hesaplamak için (1) numaralı denklemde her iki tarafın e tabanına göre logaritması alınarak denklem,

$$\ln (W_{i(t)}) = \ln (W_{i(0)}) - k_i \cdot t$$

biçimine dönüştürülmüş ve her bir tane boyu fraksiyonu için birikimli eleküstünün e tabanına göre logaritmasıyla öğütme süresi arasında doğrusal regresyon yapılarak k parametreleri saptanmıştır.

Hız sabitleri ile tane boyu arasındaki ilişkinin aşağıdaki eşitlikte tanımlanabileceği literatürde gösterilmiştir (Finch and Ramirez-Castro, 1981).

$$k_i = C \cdot x_i^n \quad (2)$$

C, n : öğütme şartlarına ve malzemeye bağlı sabitler  
x : tane boyu

(2) nolu eşitliğin her iki tarafının logaritması alınarak,

$$\log(k_i) = \log C + n \cdot \log(x_i)$$

biçimine dönüştürülmüş ve doğrusal regresyon kullanılarak C ve n değerleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak model,  $W_i(t) = W_i(0) \cdot e^{(-C \cdot x_i^n \cdot t)}$  biçimine dönüşmektedir.

### 3.DENEYSEL SONUÇLAR

Şekil 1'de 5, 10, 20 ve 30 dakika öğütme sonundaki boyut dağılımları görülmektedir. 30 dakika öğütmeye kadar reaktifsiz, TEA ve SLS ile yapılan öğütmelerde tane boyu dağılımları arasında belirgin bir farklılık gözlenmemektedir.

Şekil 2'de her bir tane boyu için birikimli % eleküstü değerlerinin zamanla değişimi ve modelden hesaplanan değerler sunulmaktadır. Buradan fraksiyonların zamana bağlı olarak doğrusal kırıldığı görülmektedir.

Yapılan hesaplamalar sonunda hem (1) de (2) nolu denklem deneysel verilere oldukça iyi bir uyum göstermiştir. Korelasyon katsayısının karesinin ( $R^2$ ) 0.938-0.999 arasında olduğu belirlenmiştir. Çizelge 1'de hesaplamalar sonucunda bulunan k değerleri, C ve n toplu olarak verilmektedir. Şekil 3'de k parametresinin tane boyuyla değişimi sunulmaktadır.

Çizelge 1. Farklı Koşullarda Öğütmeler için Hesaplanan k Parametreleri, C ve n Değerleri.

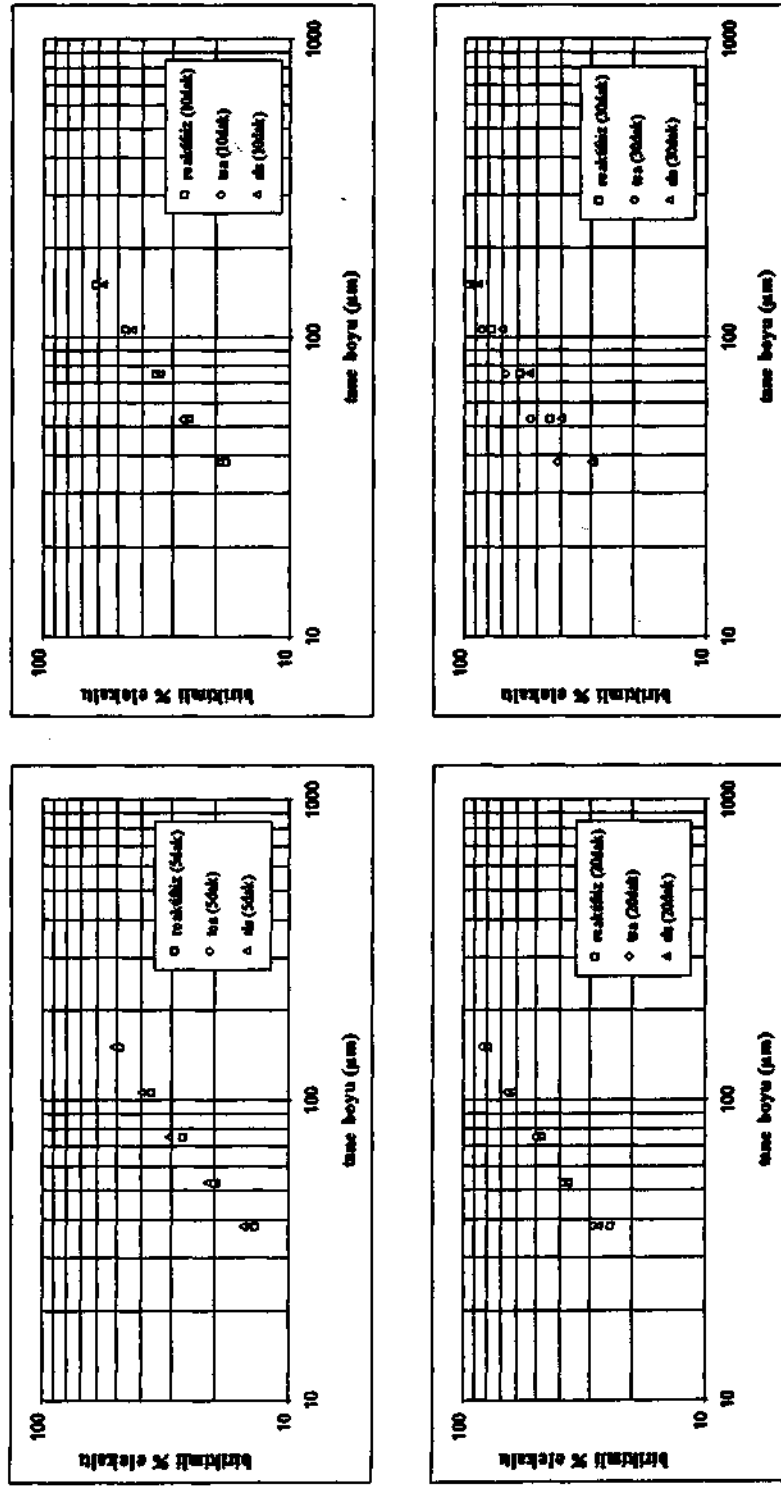
tane boyu (um)	k parametresi (dak <sup>-1</sup> )		
	reaktifsiz	TEA	SLS
150	0.07667	0.09981	0.05702
106	0.04032	0.05387	0.03091
75	0.02333	0.03052	0.01922
53	0.01526	0.02060	0.01279
<b>38</b>	<b>0.00875</b>	<b>0.01460</b>	<b>0.00931</b>
<b>C (x10<sup>-5</sup>)</b>	<b>3.1521</b>	<b>8.2705</b>	<b>7.2536</b>
<b>n</b>	<b>1.5448</b>	<b>1.3972</b>	<b>1.3115</b>

#### 4.SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

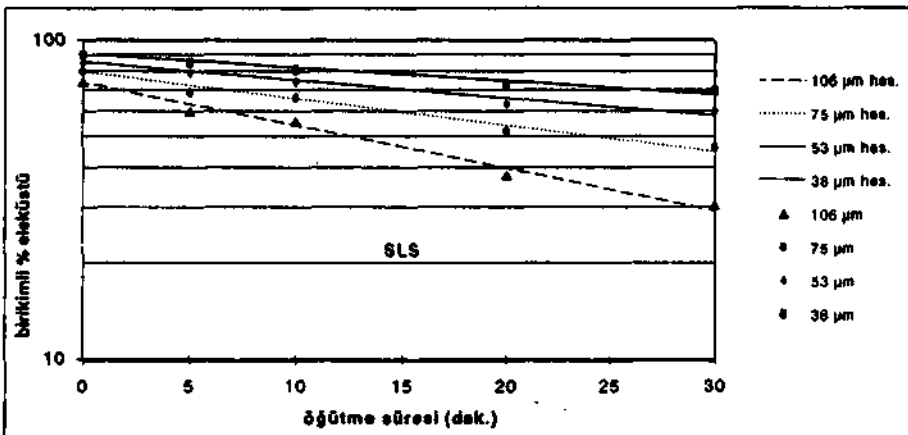
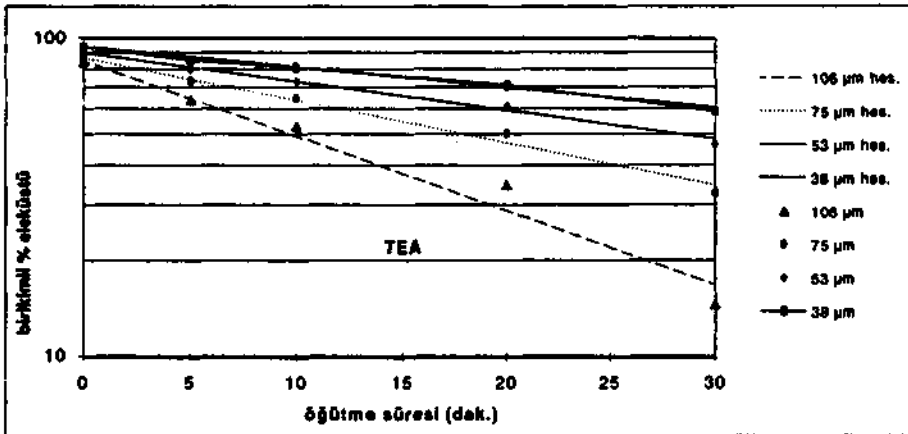
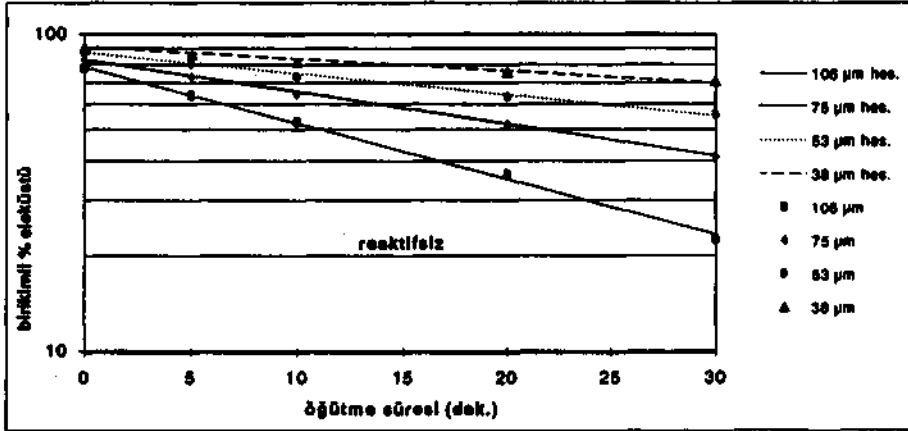
Çizelge 1 de verilen k değerleri incelendiğinde, bu **çalışmada** göz önüne alınan bütün boyut fraksiyonları için trietanol aminin öğütmeyi hızlandırdığı görülmektedir. Buna karşılık olarak sodyum loril sülfat kullanımı 53 mikronun üzerindeki tanelerde olumsuz bir etki yaratırken bunun altındaki boyut fraksiyonlarında öğütme üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu izlenimini vermektedir. Sodyum loril sülfatın ortaya çıkan bu etkisinin gerçek mi yoksa deneysel hatalar sonucu mu ortaya çıktığının belirlenebilmesi için deneyin tekrar edilmesi tavsiye edilebilirse de, çıkartılan sonuç kinetik parametrelerin kullanımının getireceği faydaların bir göstergesidir.

Kinetik modelin k parametrelerinde ortaya çıkan bu durum aynı zamanda C ve n değerlerini de etkilemiştir. Reaktifsiz öğütme koşuluyla sodyum loril sülfat kullanımı karşılaştırıldığında, C değerinin reaktifsiz koşulda daha küçük buna karşılık n değerinin ise daha büyük olması yine yukarıda açıklanan öğütme hızındaki ince ve iri boylardaki değişiminin bir yansımasıdır.

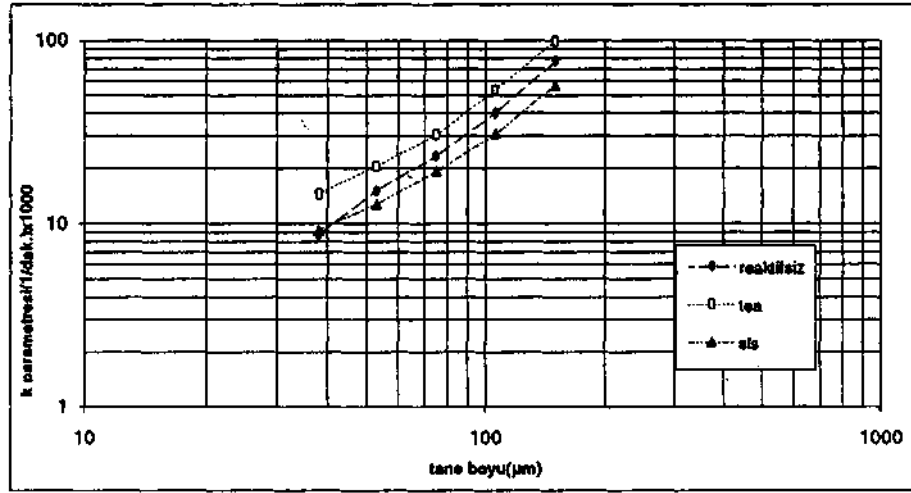
Literatürde n parametresinin cevher özelliklerine bağlı bir parametre olduğu C nin ise öğütme koşullarına bağlı olduğu ileri sürülmektedir. Bu görüşün ışığında, öğütme **yardımcılarının kullanılması ile hem C hem de n değerinin** değişmesi, öğütme **yardımcılarının hem ortamın akışkanlığı ve bilya-astar-tane arasındaki** dinamik **sürtünmeyi (Locher and von Seebach, 1972; Klimpell and Manfroy, 1978; Schubert, 1988), hem de muhtemelen cevherin öğütülebilirlik özelliklerini etkilemektedir** şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 1. 5, 10, 20, 30 dakika öğütme sonucu tane boyu dağılımları.



Şekil 2. Reaktifsiz, TEA ve SLS ile yapılan öğütmelerde birikimli % elektüstü değerlerinin öğütme süresi ile değişimi ve modelden hesaplanan değerler.



Şekil 3. Kinetik parametrelerin tane boyuyla değişimi.

Kinetik yaklaşımın bu amaçla kullanımının sağlayacağı bir diğer avantaj da, elde edilen sonuçların sağlayabileceği ekonomik faydanında tahmin edilebilmesinde kullanılabilir olmasıdır. Bu amaca yönelik olarak yukarıda verilen model parametreleri, ve çimento fabrikalarından elde edilen besleme boyut dağılımı arzu edilen ürün boyutu, ve ideal çalıştığı varsayılan bir sınırlandırıcının partiyon değerleri kullanılarak, öğütme yardımcılarının verilen bir değirmen kapasitesini hem açık hemde kapalı öğütme koşullarında nasıl etkileyeceği benzetişim(simülasyon) yapılarak hesaplanmıştır.

Yapılan benzetişim, deneysel çalışmada kullanılan dosajdaki trietanol amin kullanımıyla kapalı devre öğütmede, devreden yükde %35'lik bir azalmanın meydana geleceğini, buna karşılık SLS kullanımının ise devreden yükte %33'lük artışa neden olacağını göstermiştir. Açık devre tertibinde ise TEA %35 lik bir kapasite artışına neden olurken ve SLS %20'lik bir kapasite düşüşüne neden olmaktadır. Herhangi bir ölçek büyütme yöntemi kullanılmaksızın kinetik parametrelerin büyük ölçekli değirmenlerde de aynı kalacağı varsayılarak yapılan bu hesaplamaların doğruluğu tartışılabilir olsa da, elde edilecek faydanın oransal olarak pek fazla değişmeyeceğini varsaymak hatalı olmayacaktır. Ayrıca, farklı reaktif dosajlarında yapılacak deneyler sonunda kinetik parametreler yardımıyla optimum reaktif dosajı belirlenebilir. Benzetişimin sağladığı diğer bir fayda ise ürünün tek bir değerle değil (örneğin %80 - 90um gibi), boyut dağılımı olarak tanımlanabilir olmasıdır. Bu şekilde, varolan bir tesis için, sınıflandırıcı partiyon değerleri kullanılarak daha gerçekçi bir değerlendirme yapmak mümkün olabilecektir.



30 dakikaya kadar yapılan öğütme için kullanılan matematiksel model laboratuvarında yapılan öğütme işlemini oldukça iyi bir şekilde temsil etmektedir. Şekil 1'de de görüldüğü gibi 5, 10, 20 dakika öğütme sonunda tane boyu dağılımlarında belirgin bir farklılık görülmezken, ancak 30 dakika sonunda tane boyu dağılımlarında belirgin bir farklılık ortaya çıkmaktadır. Oysa, değerler burada verilmemekle birlikte, 10 dakika öğütme sonunda bile kinetik parametreler incelendiğinde reaktif etkisini görmek mümkün olmaktadır.

## 5. SONUÇ

- Elek analizleri ile öğütme yardımcısının etkisini nicel olarak değerlendirmek mümkün değildir. Özellikle laboratuvarında yapılan kısa süreli öğütmelerde tane boyu dağılımları arasında belirgin bir fark gözlemek çoğu kez zor olmaktadır. Bu nedenle, örnek alma ve elemelerde yapılabilecek hatalar nedeniyle aradaki farkın önemli olup olmadığına karar vermek güçleşmektedir.
- $k$  parametresi öğütme hızını temsil ettiği için kullanılan reaktifin öğütmeye olan etkisini açıklamakta fiziksel bir anlam taşımaktadır. Denenen derişimde, trietanolamin öğütme işlemini hızlandırmaktadır. Sodyum loril sülfat ise öğütmeyi olumsuz etkilemektedir.
- Bu yöntem deneysel ek bir yük getirmeksizin numune alma ve elek analizinde yapılabilecek deneysel hataları en aza indirerek öğütme yardımcılarının birbirleriyle kıyaslanabilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, model parametrelerinin belirlenmesinde yapılacak istatistiksel hata belirlenmeli ve modelin tahmin yeteneği bu hata sınırları içinde sınırlanmalıdır.
- Uygun bir ölçek büyütme yöntemi kullanılarak, büyük ölçekli sürekli sistemlerde açık ve kapalı devre öğütmede reaktiflerin meydana getireceği etkiler model kullanılarak benzetişim yoluyla tahmin edilebilir ve reaktif maliyetinin sağlanacak faydayla karşılaştırması yapılabilir.
- Optimum kullanılacak reaktif miktarı farklı dozajlar için kinetik parametreler belirlenerek saptanabilir.

## YARARLANILAN KAYNAKLAR

Aksak, E., 1981, "Öğütme Yardımcısı Olarak Melas Kullanma Çalışmaları", Çimento Bülteni, Ağustos, Cilt 18, No 170, sf.17.23.

Austin, L.G., Klimpell, R.R., Luckie, P.T., 1984, Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling, AIME, Chapter5, pp79-117.

Dombrowe, H., Hoffmann, B., Scheibe, W., 1983, "Mode of Action and Possibilities For Use of Grinding", Zement-Kalk-Gibs, No 1, pp5-10 (translation from Z-K-G, No 11., 1982, pp571-580).

Finch, J.A., Ramirez-Castro, J., 1981, "Modelling of Mineral Size Reduction in the Closed-Circuit Ball Mill at the Pine Point Mines Concentrator", Int. J. of Min. Pro., vol. 8, pp61-78.

Kaplan.L.J., 1981, "Research and Development on Size Reduction is Urged, to Save Energy", Chem. Eng., Dec, pp33-34.

Klimpell, R.R., Manfroy, W., 1978, "Chemical Grinding Aids for Increasing Throughput in the Wet Grinding of Ores", Ind.Eng.Chem. Process Des.Dev., vol. 17, No 4, pp518-523.

Laplante, A.R., Ramirez-Castro, J., Finch, J.A., 1987, "Simplification of Grinding Equation for Plant Simulation", Trans. IMM, vol. 96, C108-112.

Locher, F.W., von Seebach, H.M., 1972, "Influence of Adsorption on Industrial Grinding", Ind.Eng.Chem. Process Des.Dev., vol. 11, No 2, pp190-197.

Schonen, K., 1979, "Energy Aspects of Size Reduction of Brittle Materials", translation from Zement-Kalk-Gibs, No 1/79., pp40-44.

Schubert, H., 1988, "Effects of Fluid and Additives on Grinding Processes", Aufbereitungs Technik, No 3, pp 115-120.