

## BAZI DAĞITICI KİMYASALLARIN KÖMÜRLERİN ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİNE ETKİSİ

The Effect of Some Dispersants on Grindability of Coals

Gündüz ATEŞOK<sup>(\*)</sup>  
Nihat Alpin MÜTEVVELİOĞLU<sup>(\*\*)</sup>  
Hayrunnisa DİNÇER<sup>(\*\*\*)</sup>  
Feridun BOYLU<sup>(\*\*\*\*)</sup>

### ÖZET

Bu çalışmada, PSS (Sodyum poli styrene sulfonat) ve NSF (Naftalin sülfonat formaldehit kondensat) anyonik dağıtıcı kimyasalların Zonguldak bitümlü kömürü ile İstanbul-Yeniköy linyit kömürünün öğütülebilirliğine etkileri araştırılmıştır. Öğütme deneyleri farklı pülp katı oranlarında (%50,55,60) ve öğütme sürelerinde (15-30-45-60 dakika) gerçekleştirilmiştir. PSS ve NSF dağıtıcı kimyasalların kömürlerin öğütme aşamasında kullanımıyla, öğütme şartları iyileştirilmiş ve öğütme ortamında 1000 m.Pa.s'den küçük viskozite değerleri elde edilmiştir. PSS ve NSF ile tespit edilen optimum konsantrasyon koşullarında (%0,3 ve %0,7), öğütme ortamında PSS'nin kullanımıyla Zonguldak kömürü ile gerçekleştirilen öğütmede %70 ve İstanbul kömürü ile gerçekleştirilen öğütme de ise %60 oranında enerji tasarrufuna gidilebileceği saptanmıştır. NSF kullanımı ile bu oranlar sırası ile %45 ve %47 olarak bulunmuştur.

Ancak, laboratuvar bazında uygulanan kesikli öğütmede uzun öğütme süresine bağlı olan viskozite artışı endüstriyel uygulamalarda da beklenen oranlarda olmayacağından, %60-70 büyüklüklerinde enerji tasarruflarının endüstriyel uygulamalarda elde edilemeyeceği gözardı edilmemelidir.

**Anahtar Sözcükler:** Öğütme, Dağıtıcı kimyasal, Viskozite, Enerji

### ABSTRACT

In this study, the effect of PSS and NSF anionic dispersants on the grindability of Zonguldak bituminous coal and İstanbul-Yeniköy brown coal were investigated. Grinding experiments were carried out at various pulp concentrations (50%, 55%, 60%) and at various grinding times (15-30-45-60 minutes). By using PSS and NSF dispersants while grinding the coal, grinding conditions were improved and viscosity was decreased by less than 1000 m.Pa.s. Under the optimal concentration conditions with PSS and NSF (0.3% and 0.7%), using PSS in grinding, 70% energy savings Zonguldak coal, and 60% energy savings for İstanbul coal were obtained. On the other hand, using NFS, these ratios were 45% and 47%, respectively.

However, viscosity increase related to long milling period in laboratory scale continuous experiments is not possible for industrial application as expected. Hence, it is not forgotten that an energy saving of 60-70% is not attainable in an industrial application.

**Keywords:** Grinding, Dispersant, Viscosity, Energy

(\*) Prof.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, atesok@itu.edu.tr

(\*\*) İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

(\*\*\*) Doç.Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

(\*\*\*\*) Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

## 1. GİRİŞ

Kırma ve öğütme, cevher hazırlamada boyut küçültme işlemleridir. Cevher hazırlama tesislerinde kullanılan enerjinin yaklaşık % 50'si öğütme devrelerinde harcanmaktadır. Üretim sahasından elde edilen 5-250 mm'lik malzeme boyutu, öğütmede uygulanacak yöntemle göre 10-300 mikrona indirilebilir. Cevher hazırlama tesislerinde birinci ve ikinci kademe kırma 0,12 kW/s/t, birinci kademe öğütmede 2-4 kW/s/t, ince öğütmede 5-20 kW/s/t, çok ince öğütmede 20-100 kW/s/t, 10 mikron altındaki öğütmelerde de 100-1000 kW/s/t civarında enerji tüketilmektedir. Bu nedenle boyut küçültme ve özellikle öğütme işlemlerinin çok iyi planlanması gerekmektedir. Öğütme devrelerinde işletme süresince istenilen öğütmenin sağlanabilmesi ve verimliliğin artırılması için öğütme koşullarının çok iyi saptanması önem taşımaktadır (Austin vd., 1984).

Kuru öğütmede topaklanan öğütülmüş malzeme öğütme hızını olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun nedenleri, öğütülmüş malzemenin Van der Waal's kuvvetlerinin etkisi ile bir araya gelmesi, öğütme ortamında topaklanması ya da öğütücü yüzeylerini kaplamasıdır. Bunu önlemek amacı ile, etilen glikol, propil glikol, tri-ethanolamin, oleik asit ve aminoasit'ler gibi bazı kimyasal maddeler özellikle çimento, kireçtaşı, seramik hammaddelerinin öğütülmesinde kullanılmaktadır (Somasunduran, 1978).

Yaş öğütme devrelerinde kontrolü gereken en önemli parametreler, devredeki pülp viskozitesi, yoğunluğu ve devreden yüküdür. Genellikle tesislerde viskozitenin ölçümünün zor olması nedeniyle bu özelliğin öğütmedeki etkinliğini konu alan yeteri kadar araştırma bulunmamaktadır. Uygulanan yaş öğütme işleminde pülpün katı oranı, tane boyut dağılımı, kimyasal ortam ve viskozitenin genel etkisi, pülp reolojisinin etkileri konusuna girmektedir (Wang vd., 1997; Lynch, 1977). Çoğu endüstriyel öğütme işlemi doğal olarak sürekli bir operasyon olduğu için, ortaya çıkan reoloji zamandan bağımsız pülp davranışı olarak tanımlanmaktadır. Bir akışkandaki tane karışımının pülpü, içsel sürtünmesi veya akışkanlık direnci viskozite olarak karakterize edilir. Pülpün viskozitesi arttıkça daha akışkanlığı azalır.

İnce öğütme operasyonlarında çoğunlukla, tercih edilen yaş öğütme işleminde pülp reolojisi etkin

bir rol oynamaktadır. Pülp farklı pülp yoğunluklarında farklı reolojik davranışlar göstermektedirler ve bu reolojik koşullarda yapılan öğütme işlemleri de bu koşullardan etkilenmektedir (Ryncarz vd., 1977).

Uzun yıllardan beri bir çok araştırmacı tarafından bilyalı değirmenle yaş öğütme işleminde pülp reolojisinin etkisi incelenmiştir. Çeşitli araştırmalarda dağıtma sağlayıcı kimyasal maddelerin kullanımıyla pülpün akış sınır gerilme değeri (yield value) artırılmaksızın pülp yoğunluğunun yükseltilebildiği belirlenmiştir. Böylelikle değirmenlerin öğütme kapasitesi artırılabilir (El-Shall vd., 1984; Klimpel, 1982a, 1982b, 1983, 1989, 1997a, 1997b).

Genel olarak, yaş öğütmede kullanılan kimyasalların öğütme verimliliğini % 100'e varan değerlerde arttırdığı ve % 3-6 arasında enerji tasarrufu sağlandığı saptanmıştır (Fuersteneau vd., 1985; Gao vd., 1993).

Yapılan bilimsel çalışmaların büyük bir çoğunluğu başta seramik hammaddeleri olmak üzere; çimento, alçıtaşı, kireçtaşı, grafit, dolomit, krom-manyezit, kuvarsit, manyezit, soda ve talk cevherleri üzerinde gerçekleştirilmiş olup, organik sıvılar, yüzey aktif maddeler ve inorganik elektrolitler gibi kimyasal maddeler kullanılmıştır (Somasunduran, 1978).

Kuvars ve kireçtaşı üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan amin, alkol, fenol, yağ asitleri, silikatlar, asetatlar ve karbonatlar gibi yüzey aktif kimyasal maddeler ile söz konusu minerallerin toplam yüzey alanlarında % 100'e varan artışlar gözlenmiştir (Ryncarz vd., 1977).

Çimento üzerinde aminler, organik silikatlar, organik asetatlar, alkol, fenoller, yağ asitleri ve karbon blokları gibi yüzey aktif kimyasallar ile yapılan öğütme çalışmalarında da önemli verim artışları sağlanmıştır (Somasunduran, 1978).

Özellikle seramik endüstrisi ile ilgili olarak gerek metalik gerekse refrakter tipi malzemeler üzerinde  $AlCl_3$  ve  $CuSO_4$  gibi inorganik elektrolitler ile gerçekleştirilen yaş öğütme deneylerinde de % 100'e varan öğütme verimleri elde edilmiştir (Somasunduran, 1978).

Kömürün yaş olarak öğütülmesinde, kimyasalların etkisinin araştırıldığı bilimsel çalışmalar yok denecek kadar azdır. Özellikle

kömür-su karışımları, teknolojinin ön plana çıkmasıyla bu kapsamda, kömürleşme derecesi yüksek kömürler üzerinde bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Newtonyen olmayan ve psödoplastik akış özelliği gösteren kömür pülplerinin, katı oranının bir fonksiyonu olarak Brookfield viskozitesi ve net üretim arasındaki ilişki Klimpel (1982) tarafından ortaya konulmuştur. Kesikli öğütme deneylerinde, öğütme devresine ilave edilen kimyasalların (yüzey aktif maddeler) viskoziteyi düşürdüğü ve belirli bir boyutun altına indirilen miktarın arttırıldığı tesbit edilmiştir (Klimpel, 1982a, 1982b). Kömür-su karışımlarında kullanılan kömür boyutu oldukça önemlidir. Bu teknolojiye kömür boyutunun 74 mikronun ( $d_{90}$ ) altında olması gerekir (NEDO, 1997; Boylu vd., 2004; Ateşok vd., 2002).

Klimpel ve Hansen (1989) tarafından yüksek katı oranlarında ve/veya yüksek ince tane varlığında gelişen akış sınır gerilmesini en aza indirmek ve/veya yok etmek için polimerik dağıtıcılar geliştirilmiştir. Wang ve Forssberg (1997) tarafından da, polimerik dağıtıcıların inorganik kimyasallar ile karıştırıldıklarında bitümlü kömürler ile gerçekleştirilen öğütme işlemi üzerinde daha yüksek bir etkiye sahip oldukları bulunmuştur. Deneylerde, sodyum silikat, tripolifosfatlar gibi inorganik dağıtıcılar ile lignon sülfonatlar gibi organik dağıtıcılar öğütmeye yardımcı kimyasallar olarak kullanılmıştır (Wang vd., 1997; Klimpel vd., 1989).

Polimerlerin, bitümlü kömür ve bazı metaller ile oluşturulan pülplerde reolojik özelliklerine etkisinin araştırıldığı diğer bir çalışmada, polimerlerin reoloji üzerinde önemli etkileri tesbit edilmiştir (Velamakanni vd., 1987).

Ancak, reolojinin düzenlenmesine yönelik ilave edilen kimyasal maddeler ve miktarları, kömür tipine bağlı olarak değişim göstermektedir. Özellikle, kömürleşme derecesine bağlı olarak, kömür yapısında gözlenen nem, karbon, inorganik madde içerikleri, yüzeylerdeki oksijen içeren fonksiyonel gruplar ve porozite gibi faktörler karışımların reolojisinde önemli olmakta ve değişen kömür yapısı, reolojinin düzenlenmesi için ilave edilen kimyasallara karşı farklı davranışlar göstermektedir.

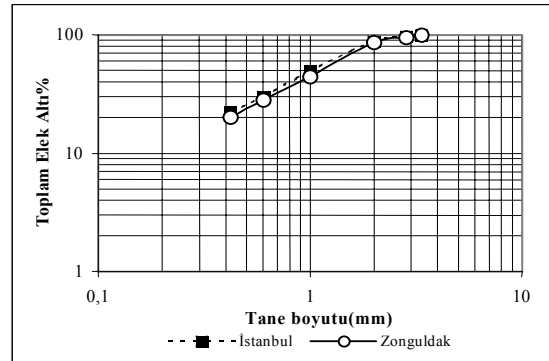
Bu çalışma kapsamında; viskozite düşürücü olarak kullanılan bazı dağıtıcıların, kömürlerin

yaş olarak öğütülmesi sırasında öğütme ortamına, öğütmeye yardımcı olarak ilave edilmeleriyle, pülp reolojisine (akışına) ve öğütülebilirliğine (öğütme verimi ve tüketilen enerji) olan etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda Zonguldak bitümlü kömürü ile İstanbul-Yeniköy linyit kömürü kullanılmıştır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1 Malzeme

Deneysel çalışmalarda kömürleşme derecesi yüksek Zonguldak yöresi bitümlü kömürü ile kömürleşme derecesi düşük İstanbul yöresi linyit kömürü deney numunesi olarak kullanılmıştır. Kömür numuneleri deneysel çalışmalar öncesinde çeneli, konili ve merdaneli kırıcılardan geçirilerek öğütme için uygun boyuta getirilmiştir. Merdaneli kırıcı ürününün elek analizleri Şekil 1'de verilmektedir. Numunelerin standart kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 1'de verilmiştir.



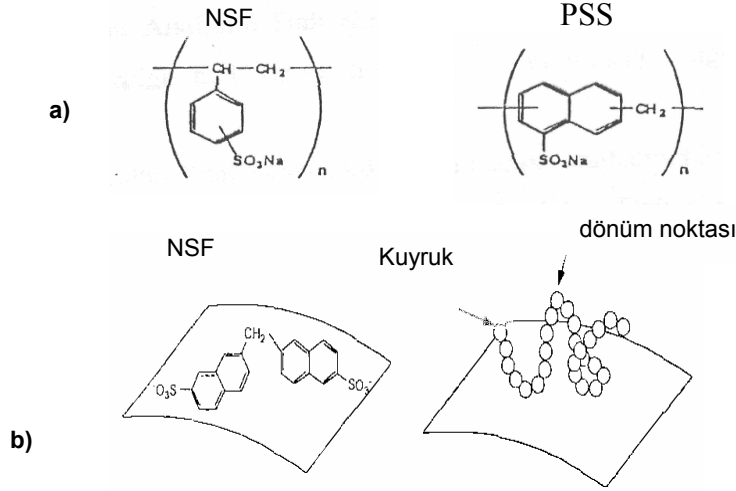
Şekil 1. Kömürlerin merdaneli kırıcı çıkışı elek analizleri

Çizelge 1. Numunelerin Standart Kimyasal Analizleri

	Zonguldak	İstanbul
Nem (%)	0,50	32,00
Uçucu Madde (%)	24,49	41,58
Kükürt (%)	0,40	7,19
Kül (%)	24,40	40,36
Sabit Karbon (%)	51,11	18,06
Üst Isıl Değer (Kcal/kg)	6218	3616
Alt Isıl Değer (Kcal/kg)	5957	3355
O/C	0,18	0,58
Porozite (%)	9,7	18,3

Deneyel çalışmalarda iki farklı anyonik tip yüzey aktif madde olan NSF (naftalin sülfonat formaldehit kondensat) ile PSS (poli styrene sülfonat) kullanılmıştır. Deneyel çalışmalarda kullanılan dağıtıcıların kimyasal yapısı Şekil 2a'da ve kömür yüzeyindeki adsorpsiyon davranış özellikleri ise Şekil 2b'de verilmiştir.

Her iki kimyasal madde Japon Lion Corp. ürünü olup, moleköl ağırlıkları  $1,4 \times 10^4$ 'dür. PSS'nin sülfanasyon derecesi ise %84'dür. Öğütme deneyleri 225 mm çapında ve 235 mm uzunluğunda laboratuvar ölçekli değirmende yaş olarak gerçekleştirilmiştir. Öğütme testlerinde kullanılan değirmen ve bilyalara ait özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Dağıtıcıların kimyasal yapıları ve adsorpsiyon özellikleri

Çizelge 2. Yaş Öğütme Testlerinde Kullanılan Bilyalı Değirmenin Özellikleri

Değirmen	Çap (mm)	225
	Uzunluk (mm)	235
	Hacim (cm <sup>3</sup> )	8940
Hız	Çalışma Hızı (devir/dakika)	90
Kaldırma Lifti	Sayı	6
Öğütücü Ortam şarjı	Malzeme	Çelik Alaşımlı Bilya
	Çap 1, (mm)	30
	Çap 2, (mm)	40
	Çap 3, (mm)	50
	Bilya Yükleme 1, (%)	32,74
	Bilya Yükleme 2, (%)	34,26
	Bilya Yükleme 3, (%)	33
	Özgöl Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	7,387
	Bilya Hacim Oranı (%)	57,14
Malzeme Şarjı	Toplam Kömür Miktarı (gram)	600
	Toplam Bilya Miktarı (gram)	9910
	Kömür/Bilya Yükleme Oranı (%)	16,52

## 2.2 Yöntem

Deneysel çalışmalarda;

- 3 farklı pülpte katı oranı (PKO % 50-55-60)
  - 2 farklı öğütme şekli (dağıtıcısız , dağıtıcılı)
  - 2 farklı dağıtıcı (NSF ve PSS)
  - Her dağıtıcı için 2 farklı konsantrasyon (katı ağırlığının, NSF için % 0,7-1,4'ü , PSS için % 0,3-0,6'sı )
- denenmiştir.

Öğütme için herbir deneyde tamamı 3 mm'nin altına indirilmiş 600 gr kömür numunesi kullanılmıştır. Dağıtıcısız deneylerde sadece PKO hesabından gereken su, dağıtıcılı deneylerde ise belirlenen konsantrasyonda dağıtıcı ile PKO hesabından gereken su kömür manyetik karıştırıcı ile 5 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra su veya dağıtıcı içeren karışım değirmene ilave edilmiştir. Öğütme deneyleri 15 dakikalık zaman aralıklarıyla gerçekleştirilmiştir.

Her 15 dakika sonunda değirmen durdurularak, PKO bozulmayacak şekilde boyut ve viskozite ölçümlerine yetecek kadar değirmen içerisinden, numune alınmış ve öğütme işlemine devam edilmiştir.

Öğütme süresi sonunda alınan numunelerin boyut dağılımları Fritsch marka Analysette 22 COMPACT Laser Particle Sizer cihazı , viskozite ölçümleri ise bilgisayara bağlı su banyolu

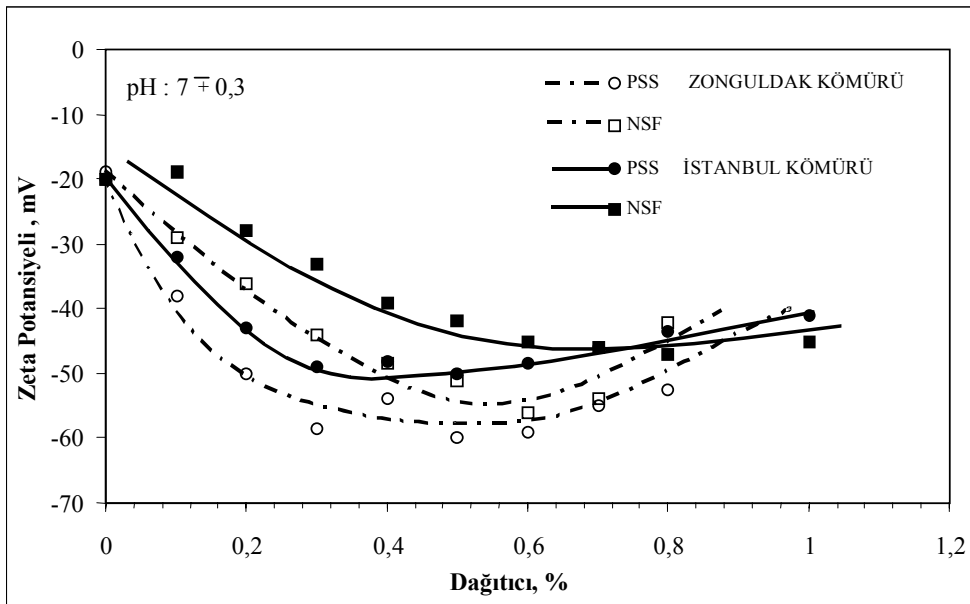
Brookfield marka RVDII + tip viskozitemetre kullanılarak saptanmıştır. Kömür numunelerinin yüzey potansiyel özellikleri laboratuvar tipli (3) zeta-metre cihazı ile saptanmıştır.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 3.1 Zeta Potansiyel Ölçüm Deneyleri

Zonguldak ve İstanbul Kömürleri ile gerek PSS gerekse NSF ile gerçekleştirilen zeta potansiyel ölçüm sonuçları Şekil 3'de toplu halde verilmiştir

Nötr pH değerinde Zonguldak ve İstanbul Kömürlerinin Zeta potansiyel değerleri  $-20$  mV civarında tespit edilmiştir. Her iki anyonik dağıtıcı maddesinin ilavesi ile, konsantrasyon artışına bağlı olarak daha yüksek negatif potansiyel değerleri elde edilmiştir. Şekil 3'den görüleceği üzere; PSS ile daha küçük konsantrasyon değerlerinde yüksek zeta potansiyel değerleri tespit edilmiştir. %0,3 PSS konsantrasyon değerinde, Zonguldak kömüründe zeta potansiyel değeri  $-59$  mV değerinde iken bu değer İstanbul kömüründe  $-50$  mV olarak saptanmıştır. NSF dağıtıcısı ile kömür yüzeylerinde saptanmış en yüksek negatif zeta potansiyel %0,7 konsantrasyonunda tespit edilmiştir. Bu konsantrasyon değerinde Zonguldak kömüründe  $-54$  mV zeta potansiyeli tespit edilirken bu değer İstanbul Kömüründe  $-46$  mV olarak saptanmıştır.



Şekil 3. Zonguldak ve İstanbul kömürlerinin değişik dağıtıcı miktarlarında zeta potansiyelleri

Gerek PSS gerekse NSF ile gerçekleştirilen zeta potansiyel ölçümlerinde, ortam dispersiyon konsantrasyon değerine bağlı olarak, her iki kömür yüzeyinin zeta potansiyel değeri küçülmektedir.

### 3.1 Öğütme Deneyleri

Zonguldak ve İstanbul kömürleri ile farklı pülpte katı oranlarında dağıtıcısız ve dağıtıcılı olarak gerçekleştirilen öğütme deney sonuçları Çizelge 3 ve 4'de toplu halde verilmiştir. Dağıtıcılı olarak gerçekleştirilen öğütme deneylerinde; dağıtıcı konsantrasyonları, kömürlerin zeta potansiyel özelliklerine bağlı olarak tespit edilmiştir. Öğütme deneyleri, zeta potansiyel verilerinden hareketle, optimum %0,3 PSS ve %0,7 NSF konsantrasyon değerleri ile üzerindeki konsantrasyon değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3 ve 4'den izleneceği üzere; gerek dağıtıcısız gerekse dağıtıcılı olarak gerçekleştirilen öğütmelerde, pülpte katı oranı %50'den %55'e çıkarılması ile öğütme her iki kömür içinde olumlu yönde gelişmektedir. Ancak pülpte katı oranı %55 değerinden sonra Zonguldak kömürü için öğütme olumlu, İstanbul kömürü için ise olumsuz yönde gelişmektedir.

Dağıtıcısız olarak gerçekleştirilen öğütmede, PKO'nun % 50'den % 55'e çıkarılması ile 1 saat öğütme süresi sonunda nihai ürün  $d_{90}$  boyutu, Zonguldak kömüründe 77 mikrondan 74 mikrona, İstanbul kömüründe 67 mikrondan 62 mikrona inmiştir. % 60 PKO'ya çıkıldığında ise, 1 saat öğütme süresi sonunda Zonguldak kömürü ile 71 mikron, İstanbul kömürü ile 64 mikronluk tane boyutuna ulaşılmıştır. Optimum PKO Zonguldak kömürü için % 60 ve İstanbul kömürü için ise % 55 olarak saptanmıştır.

Bilindiği üzere çok düşük PKO'larda yüksek su içeriğinden dolayı öğütme iyi olmamaktadır. Çok yüksek PKO'larda yapılan öğütmede ise, ortam viskozitesinin aşırı yükselmesinden dolayı öğütme şartları bozulmaktadır. Şekil 1'den görüleceği üzere, öğütme öncesinde aynı boyut dağılımına sahip Zonguldak ve İstanbul kömürlerinin aynı öğütme sürelerinde öğütülmesi ile farklı öğütme davranışları tespit edilmiştir. İstanbul kömürü, Zonguldak kömürüne oranla öğünebilirliği daha yüksek bir kömür olarak görülmektedir.

Çizelge 3 ve 4'den görüldüğü gibi, Zonguldak ve İstanbul kömürlerinin öğütülmesinde, öğütme

ortamına dağıtıcı ilavesi ile öğütme şartları iyileştirilmiş ve daha ince boyut dağılımları elde edilmiştir. Öğütme ortamına katılan NSF ve PSS için optimum konsantrasyonlar sırasıyla % 0,7 ve % 0,3 olarak tespit edilmiştir.

Optimum dağıtıcı konsantrasyonlarında gerçekleştirilen öğütme deneylerinde sırasıyla; % 50, 55, 60 PKO'larda, NSF ilavesi ile Zonguldak kömürü için 70, 66,4, 61 mikron ve İstanbul kömürü için 57,8, 51,4, 53,3 mikron civarında olan nihai öğütme boyutları, PSS ilavesi ile Zonguldak kömürü için 65,4, 62,6 ve 59,2 mikron ve İstanbul kömürü için 54,7, 48,8 ve 50,2 mikrona indirilmiştir.

Öğütme ortamına bu konsantrasyonlarda dağıtıcı ilavesi ile öğütme iyileştirilmekte, ancak etkin konsantrasyonlardan daha yüksek değerlerle çalışıldığında, aşırı dağıtıcı ilavesi öğütmeyi kötüleştirmektedir. Öğütme ortamına ilave edilen dağıtıcı madde kömür yüzeylerine ilişerek, kömür yüzeylerinin negatif potansiyel değeri arttırmakta ve dağıtmaya sebep olarak öğütme şartlarını iyileştirmektedir. Aşırı dağıtıcı varlığı ise, dağıtma şartlarını bozmakta ve sistemde topaklaşma başlamaktadır. Topaklaşan kömür taneleri öğütme ortamı içerisinde yastıklama (cushioning) etkisine sebep olmakta ve öğütme bozulmaktadır.

Çizelge 3 ve 4'de görüleceği gibi; Zonguldak kömürü ile % 60 PKO'nında ve % 0,3 PSS konsantrasyonunda gerçekleştirilen öğütme deneyinde; 60 dakika öğütme süresi sonunda 59 mikronluk  $d_{90}$  boyutu elde edilirken, bu boyut dağıtıcısız öğütmede 71,2 mikron civarındadır. Optimum şartlarda PSS ile gerçekleştirilen öğütmede nihai öğütme boyutu bazında dağıtıcısız öğütmeye göre % 17,1 oranında bir avantaj sağlanmıştır. Diğer bir yaklaşımda, Zonguldak kömürünün 71 mikron ( $d_{90}$ ) civarına indirilmesi için, dağıtıcısız öğütmede 60 dakika öğütme süresi gerekirken, PSS ile (% 0,3 konsantrasyonunda) bu öğütme süresi 18 dakikaya inmektedir. Öğütme süresi açısından % 70 oranında bir avantaj sağlanmıştır.

Zonguldak kömürü ile % 60 PKO'nında ve % 0,7 NFS konsantrasyonunda gerçekleştirilen öğütme deneyinde; 60 dakika öğütme süresi sonunda 61 mikronluk  $d_{90}$  boyutu elde edilirken, bu boyut dispersansız öğütmede 71,2 mikron civarındadır. Optimum şartlarda NFS ile gerçekleştirilen öğütmede nihai öğütme boyutu bazında dağıtıcısız öğütmeye göre %14,3 oranında bir

Çizelge 3. Zonguldak Kömürünün Değişik Koşullarda Öğütülmesi Sonucu Elde Edilen  $d_{90}$  Boyutu

PKO, %	Öğütme Süresi, Dakika	Zonguldak Kömürü, $d_{90}$ Boyutu				
		Dağıtıcısız	PSS		NSF	
			%0,3	%0,6	%0,7	%1,4
50	15	93,96	83,46	86,52	88,95	90,13
	30	84,53	74,61	79,82	80,38	83,19
	45	79,32	68,26	73,42	73,51	80,62
	60	77,32	65,35	63,38	70,30	79,17
55	15	91,66	78,46	83,08	85,87	87,09
	30	82,67	69,41	77,16	77,63	79,24
	45	76,46	64,26	70,47	70,31	76,45
	60	74,02	62,62	65,28	66,39	74,11
60	15	90,66	72,52	79,45	79,21	85,12
	30	80,14	64,02	72,52	72,12	78,21
	45	73,16	60,48	66,24	65,24	74,44
	60	71,20	59,24	63,37	61,08	72,25

Çizelge 4. İstanbul Kömürünün Değişik Koşullarda Öğütülmesi Sonucu Elde Edilen  $d_{90}$  Boyutu

PKO, %	Öğütme Süresi, Dakika	İstanbul Kömürü, $d_{90}$ Boyutu				
		Dağıtıcısız	PSS		NSF	
			%0,3	%0,6	%0,7	%1,4
50	15	86,88	72,27	77,21	77,31	82,24
	30	77,43	66,33	69,11	70,30	75,38
	45	70,65	60,00	63,36	63,06	68,08
	60	67,32	54,72	59,34	57,81	62,69
55	15	80,62	69,52	72,52	72,46	77,55
	30	70,13	59,41	64,42	62,45	67,44
	45	64,34	53,21	58,21	56,29	61,27
	60	62,50	48,78	55,21	51,42	56,40
60	15	85,88	70,82	74,34	74,85	79,79
	30	74,26	62,71	67,65	65,68	70,75
	45	67,65	55,36	61,00	58,31	63,41
	60	64,21	50,16	56,50	53,25	58,11

avantaj sağlanmıştır. Diğer bir yaklaşım da, Zonguldak kömürünün 71 mikron ( $d_{90}$ ) civarına indirilmesi için, dağıtıcısız öğütmede 60 dakika öğütme süresi gerekirken, NFS ile (%0,7 konsantrasyonunda) bu öğütme süresi 33 dakikaya inmektedir. Öğütme süresi açısından % 45 oranında bir avantaj sağlanmıştır.

İstanbul kömürü ile %55 PKO'nda dağıtıcısız gerçekleştirilen 60 dakika öğütme süresi sonunda  $d_{90}$  boyutu 62,5 mikron iken, %0,3 PSS konsantrasyonunda gerçekleştirilen öğütme deneyinde 49 mikron civarındadır. Optimum şartlarda PSS ile gerçekleştirilen öğütmede nihai öğütme boyutu bazında dağıtıcısız öğütmeye göre % 22 oranında bir avantaj sağlanmıştır. Diğer bir yaklaşımda, İstanbul kömürünün 62,5 mikron ( $d_{90}$ ) civarına

indirilmesi için, dağıtıcısız öğütmede, 60 dakika öğütme süresi gerekirken, PSS ile (% 0,3 konsantrasyonunda) bu öğütme süresi 25 dakikaya inmektedir. Öğütme süresi açısından % 60 oranında bir avantaj sağlanmıştır.

İstanbul kömürü ile % 55 PKO'nda dağıtıcısız gerçekleştirilen 60 dakika öğütme süresi sonunda  $d_{90}$  boyutu 62,5 mikron iken, % 0,7 NSF konsantrasyonunda gerçekleştirilen öğütme deneyinde 51,4 mikron'dur. Optimum şartlarda NSF ile gerçekleştirilen öğütmede nihai öğütme boyutu bazında dağıtıcısız öğütmeye göre % 17,8 oranında bir avantaj sağlanmıştır. Diğer bir yaklaşımda, İstanbul kömürünün 62,5 mikron ( $d_{90}$ ) civarına indirilmesi için, dağıtıcısız öğütmede 60 dakika öğütme süresi gerekirken, NSF ile (%0,7 konsantrasyonunda) bu öğütme

süresi 32 dakikaya inmektedir. Öğütme süresi açısından % 47 oranında bir avantaj sağlanmıştır.

### 3.3 Viskozite Deneyleri

Dağıtıcılı ve dağıtıcısız olarak gerçekleştirilen öğütme deneylerinde, öğütme süresine bağlı olarak pülpin viskozite değişimi, İstanbul ve Zonguldak kömürleri için sırasıyla Şekil 4 ve 5'de verilmektedir.

Zonguldak ve İstanbul kömürlerinde PKO % 50'den % 60'a doğru yükseldikçe viskozite artmaktadır. (Şekil 4, 5). Zonguldak ve İstanbul kömürlerinin viskozite değerleri karşılaştırıldığında, İstanbul kömürünün Zonguldak kömürüne göre ortamın pülpte katı oranı değerlerine bağlı olarak daha yüksek viskozite değerlerine ve artışlara sahip olduğu görülmektedir. Boyut ve viskozite arasındaki ilişki incelendiğinde; düşük viskozitelerde kömür tane boyutlarının iri, yüksek viskozite değerlerinde ise kömür tane boyutlarının küçük olduğu görülmektedir. Tüm pülpte katı oranlarında, öğütme süresi artışına bağlı olarak, pülp viskozite değerleri, boyutun düşmesiyle artmaktadır.

Şekil 4 ve 5'den izleneceği üzere; gerek PSS gerekse NSF ile optimum dağıtıcı konsantrasyon değerlerinde gerçekleştirilen öğütme deneylerinde, öğütme süresi ve PKO'nına bağlı olarak viskozite artmaktadır. İstanbul kömürü ile dağıtıcısız olarak gerçekleştirilen öğütme deneylerinde, yüksek viskozite değerleri elde edilirken, dağıtıcılı gerçekleştirilen öğütmelerde düşük viskozite değerleri elde edilmiştir.

Dağıtıcısız olarak % 55 PKO'nında ve 30 dakikalık öğütme sonrasında ortam viskozitesi 2900 mPa.s civarında iken, % 0,3 konsantrasyonunda PSS kullanımıyla öğütme ortamının viskozitesi 460 mPa.s'e düşürülmüştür. Ortamın viskozitesi % 0,7 konsantrasyonda NSF kullanımında 490 mPa.s olarak saptanmıştır. % 55 PKO'nında 60 dakikalık öğütme süresinde dağıtıcısız olarak gerçekleştirilen öğütmede, pülp viskozitesi 5500 mPa.s civarında iken, optimum konsantrasyonlarda PSS ve NSF ile elde edilen viskozite değerleri sırası ile 630 mPa.s ve 680 mPa.s olarak tespit edilmiştir.

Gerek PSS gerekse NSF ile optimum dağıtıcı konsantrasyon değerlerinde Zonguldak kömürü ile gerçekleştirilen öğütme deneylerinde, öğütme süresi ve PKO'nına bağlı olarak viskozite

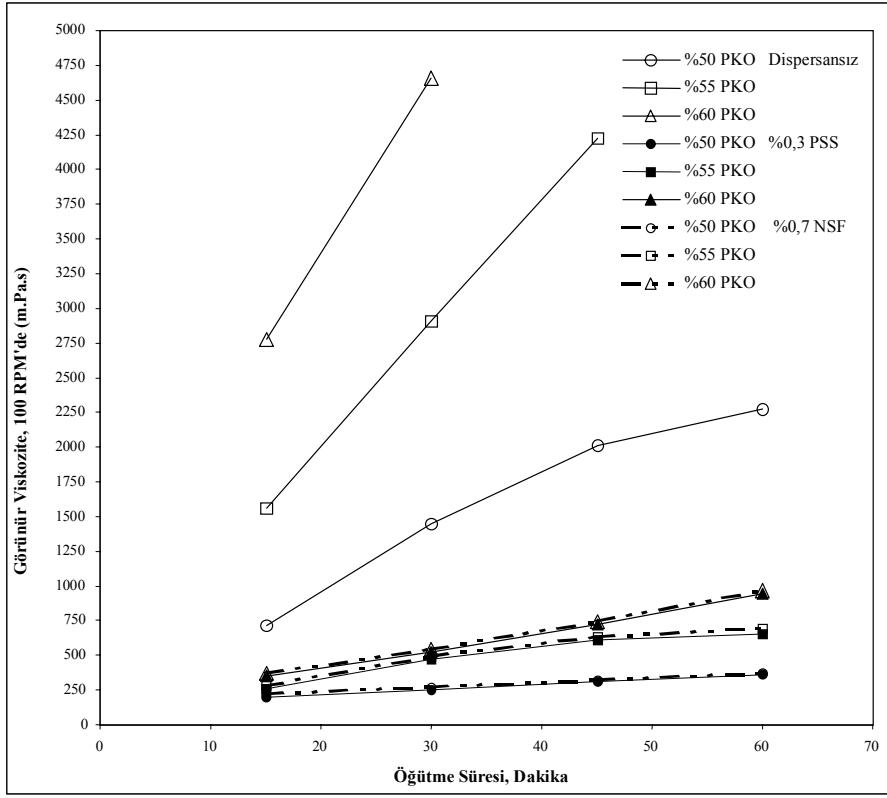
artmaktadır. Ancak bu artış, İstanbul kömürü ile gerçekleştirilen öğütme deneylerinden elde edilen verilerden daha düşük mertebelindedir. Zonguldak kömürü ile dağıtıcısız olarak gerçekleştirilen öğütme deneylerinde, yüksek viskozite değerleri elde edilirken, dağıtıcılı gerçekleştirilen öğütmelerde düşük viskozite değerleri elde edilmiştir. Dağıtıcısız olarak % 60 PKO'nında ve 60 dakikalık öğütme sonunda ortam viskozitesi 2500 mPa.s civarında iken, % 0,3 konsantrasyonunda PSS kullanımıyla ortam viskozitesi 560 mPa.s'e düşürülmüştür. Öğütme ortamının viskozitesi % 0,7 konsantrasyonunda NSF kullanımında 600 mPa.s olarak saptanmıştır.

### 4. SONUÇLAR

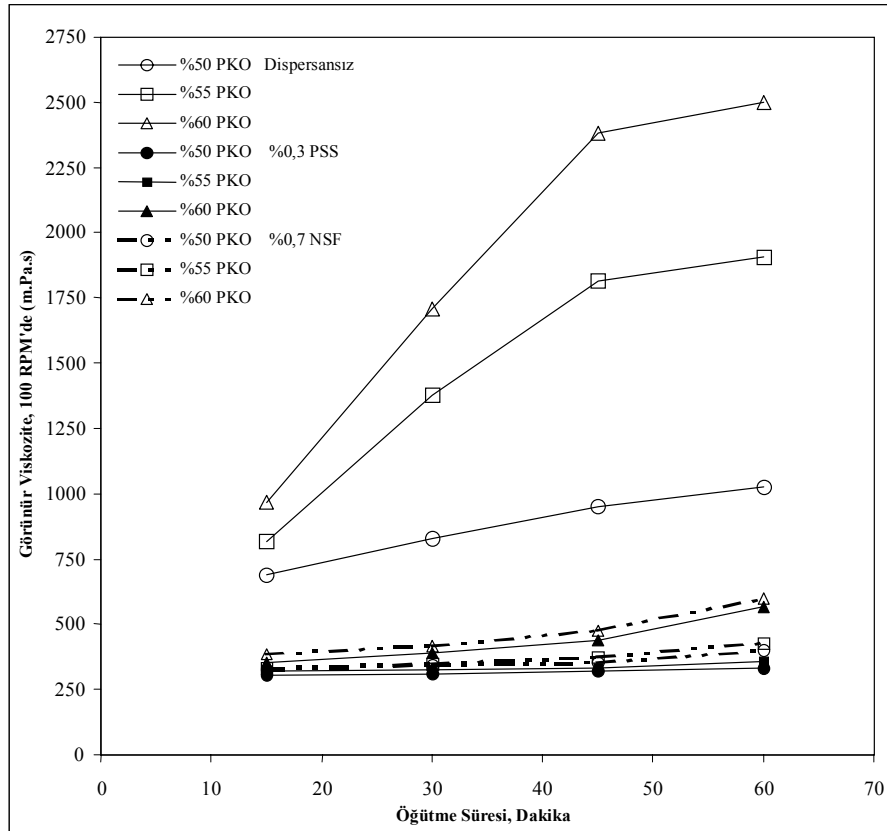
Viskozite düşürücü olarak kullanılan dağıtıcı kimyasalların öğütmeye etkilerinin araştırıldığı bu çalışma çerçevesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Kömürleşme derecesi yüksek Zonguldak bitümlü ve kömürleşme derecesi düşük İstanbul linyit kömürlerinin ince boyutlara öğütülmesinde, öğütme ortamına dağıtıcı (PSS ve NSF) ilavesi ile, öğütme şartları iyileştirilmiş ve daha ince boyutlu malzeme elde edilmiştir. Her iki kömür ile dağıtıcısız olarak gerçekleştirilen öğütme deneylerinde, yüksek viskozite değerleri elde edilirken, dağıtıcılı gerçekleştirilen öğütmelerde 1000 mPa.s'den çok daha düşük viskozite değerleri elde edilmiştir. Öğütme ortamına katılan PSS ve NSF dağıtıcıları için optimum konsantrasyonlar, dağıtıcıların her iki kömür içinde maksimum negatif zeta potansiyel değeri veren, %0,3 ve %0,7 olarak saptanmıştır. PSS dağıtıcısı her iki kömür yüzeyinde NSF'ye göre daha yüksek negatif potansiyel oluşturmaktadır. Öğütme ortamına optimum miktarlarda dağıtıcı ilavesi ile öğütme iyileştirilmekte, ancak etkin konsantrasyonların üzerine çıkıldığında öğütme olumsuz yönde etkilenmektedir. Öğütme ortamına ilave edilen anyonik dağıtıcı madde kömür yüzeylerinin negatifliğini arttırmakta ve dağılmaya neden olarak öğütme iyileşmektedir. Aşırı dağıtıcı varlığı, pülpte dağılma şartlarını bozarak topaklaşmaya neden olmaktadır. Topaklaşan kömür taneleri ise öğütme ortamın içerisinde yastıklama etkisine sebep olmakta ve öğütme bozulmaktadır.





Şekil 4. İstanbul kömürü ile değişik koşullarda yapılan öğütme işlemlerinde öğütme sürelerine bağlı görünür viskozite değerleri



Şekil 5. Zonguldak kömürü ile değişik koşullarda yapılan öğütme işlemlerinde öğütme sürelerine bağlı görünür viskozite değerleri

- Yüksek ve düşük kömürleşme derecesine sahip her iki kömürün öğütülmesinde polimerik yapıda olan PSS'nin NSF'ye göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Gerek Zonguldak gerekse İstanbul kömürü ile PSS ve NSF'li ortamlarda gerçekleştirilen öğütme deneylerinde; pülpte katı oranı arttıkça öğütme olumlu yönde gelişmektedir. Dağıtıcı kimyasalların etkisi pülpte katı oranı arttıkça belirginleşmektedir. Düşük pülpte katı oranlarında dağıtıcıların öğütmede bir etkisi olmamaktadır.
- Kömürleşme derecesi yüksek Zonguldak bitümlü kömürü ile aynı şartlarda İstanbul linyit kömürü ile gerçekleştirilen öğütme deneylerinde, pülpte katı oranı bazında Zonguldak bitümlü kömürünün %5'lik bir avantaja sahip olduğu görülmüştür.
- Zonguldak ve İstanbul bölgesi kömürleri ile dağıtıcı ortamda yapılan öğütmelerde, viskozitenin düşürülmesi ile öğütme kapasitelerinin artırılabilmesi ve öğütme sürelerinin azaltılması ile önemli miktarda enerji tasarrufuna gidilebileceği saptanmıştır. Öğütmelerde dağıtıcı kimyasalların kullanımıyla, öğütme maliyetleri önemli oranlarda düşecektir. Öğütme ortamında PSS'nin kullanımıyla Zonguldak kömürü ile gerçekleştirilen öğütmede %70 ve İstanbul kömürü ile gerçekleştirilen öğütmede ise %60 civarında bir enerji tasarrufuna gidebileceği tespit edilmiştir. NSF kullanımıyla bu oranlar sırası ile %45 ve %47'dir.
- Ancak endüstriyel uygulamalarda malzemenin değirmen içinde kalma süresi düşük tutularak yeterli inceliğe inmiş taneler sınıflandırma ile sistemden uzaklaştırıldığından, kesikli öğütmede uzun öğütme süresine bağlı olan öğütme ortamı viskozite artışı endüstriyel uygulamalarda beklenen oranlarda olmayacaktır. Bu nedenle laboratuvar bazında, öğütme sistemine bağlı olarak %60-70 büyüklüklerinde saptanılan enerji tasarruflarının, endüstriyel uygulamalarda elde edilemeyeceğide gözardı edilmemelidir.
- Kömür-su karışımları teknolojisinde kullanılan dağıtıcı kimyasalların (PSS ve NSF), kömürlerin öğütülmesi aşamasında, öğütme ortamına katılmasıyla, kömür-su karışımlarının hazırlanmasında önemli

ölçüde maliyetler aşağı çekilebilecek ve öğütmede daha yüksek kapasitelere çıkılabilecektir. Dağıtıcıların kullanımıyla öğütme maliyetlerine bir miktar artış gelebilecektir. Ancak bu artış, oluşacak gelirler yanında göz ardı edilebilecek büyüklüktedir.

## KAYNAKLAR

Atesok, G., Boylu, F., Sirkeci, A. A., Dinçer, H., 2002; "The Effect of Coal Properties of Coal-Water Slurries", *Fuel*, **81**, 1855-1858.

Austin, L.G., Klimpel, R.R. & Luckie, P., 1984; "Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling", SME, New York.

Boylu, F., Dinçer, H., Ateşok, G., 2004; "Effect of coal particle size distribution volume fraction and rank on the rheology of coal-water slurries", *Fuel Processing Technology*, **85**, 241-250

El-Shall, H. & Somasundaran, P., 1984; "Mechanism of Grinding Modification by Chemical Additives: Organic Reagents", *Powder Technology*, **38**, 267-273.

Fuersteneau, D.W., Venkataraman, K.S. & Velamakanni, B.V., 1985; "Effect of Chemical additives on the Dynamics of Grinding Media in Wet Ball Mili Grinding", *International Journal of Mineral Processing*, **15**, 251-267.

Fuersteneau, D.W., Kapur, P. C. & Velamakanni, B., 1987; "A Multi-Torque Model for the Effects of Dispersants and Slurry Viscosity on Ball Milling", *International Journal of Mineral Processing*, **28**, 81-98.

Gao, M and Forssberg, E., 1993; "The Influence of Slurry Rheology on Ultra-Fine Grinding in a Stirred Ball Mili", XVIII International Mineral Processing Congress, Sydney, Australia, 237-244.

Klompel, R.R., 1982a; "Laboratory Studies of the Grinding and Rheology of Coal-Water Slurries", *Powder Technology*, **32**, 267-277.

Klompel, R.R., 1982b; "Slurry Rheology Influence on the Performance of Mineral/Coal Grinding Circuits", *Mining Engineering*, 1665-1668.

Klompel, R.R., 1983; "Slurry Rheology Influence on the Performance of Mineral/Coal Grinding Circuits-Part 2", *Mining Engineering*, 21-26.

Klimpel, R.R. & Hansen, R.T., 1989; "The Chemistry of Mineral Slurry Rheology Control Grinding Aids", Minerals and Metallurgical Processing, **6**, 35-43.

Klimpel, R.R., 1997a; "The Impact on Industrial Grinding Circuits of changing and/or Controlling the Slurry Rheology", Comminution Practices, Ed. S. Komar Kawatra, SME, Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, USA., **31**, 72-80.

Klimpel, R.R., 1997b; "Introduction to the Principles of Size Reduction of Particles by Mechanical Means", Instructional Module Series, Series Ed. R. Rajagopalan, Partide Science Technology (41 pages), Florida, USA., **37**, 41-58.

Lynch, A.J., 1977; Mineral Crushing and Grinding Circuit, Elsevier Scientific Publishing Com.

NEDO (New Energy and Industrial Technology Cooperation Project for Coal Utilization Technology, March.Development Organization), 1997; CWM in Japan, International

Ryncarz, A. & Laskowski, J., 1977; "Influence of Flotation Reagents on the Wet Grinding of Quartz", Powder Technology, **18**, 179-185.

Somasundaran, P., 1978; "Theories of Grinding, Ceramic Processing Before Firing, Eds. George Onoda, Jr and Larry Hench. John Wiley and Sons, Inc.

Velamakanni, B.V. and Fuersteneau, D W., 1987; "The Influence of Polymeric Additives on the Rheology of Dense Slurry", Biotechnology and Separation Systems, Ed. Y.A., Attia, 211-223

Wang, Y. & Forssberg, E., 1997; "Ultra-fine Grinding and Classification of Minerals, Comminution Practices, Ed. S. Komar Kawatra, SME. Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, USA.



