

# TİTREŞİMLİ YATAY ATRİTÖR İMALATI ve ALUMİNA ÖĞÜTME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Yusuf KILINÇ \*, İbrahim USLAN \*\*

\* Selçuk Üniversitesi, Ereğli Meslek Yüksekokulu,  
\*\* Gazi Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü.

**4-8 Eylül 2002 tarihleri arasında Türk Toz Metalurjisi Derneği tarafından düzenlenen "Toz Metalurjisi Konferansı"nda bildiri olarak sunulmuştur.**

*Bu çalışmada 500, 700 ve 900 dev/dak dönme hızlarında olmak üzere üç farklı hızda çalışabilen; 3/2, 2 ve 3 litre değişebilir öğütme tankı kapasiteli, titreşimli yatay bir atritör tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu atritörle, Eti Holding A.Ş. üretimi alumina ( $Al_2O_3$ ) tozları 1/4" çaplı çelik bilyalarla, 1:5, 1:10, 1:20 ve 1:40 toz/bilya ağırlık oranlarında 1, 5 ve 10 saat sürelerle öğütülmüşlerdir. Atritörün alumina öğütme davranışı, farklı öğütme süreleri ve toz/bilya oranları için araştırılmıştır.*

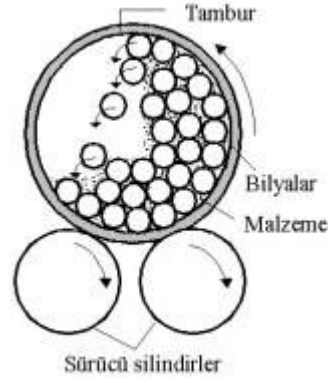
**Anahtar sözcükler :** Atritör, alumina, öğütme.

*In this study, a vibratory horizontal attritor that has working speeds of 500, 700 and 900 rpm, and tank capacities of 3/2, 2 and 3 liters was designed and constructed. This attritor was used in milling of alumina ( $Al_2O_3$ ) powders produced by Eti Holding A.S. with 1/4" diameter balls for 1:5, 1:10, 1:20 and 1:40 powder/ball weight ratios and 1, 5 and 10 hours durations. Milling characteristics of alumina for different milling times and powder/ball ratios were investigated.*

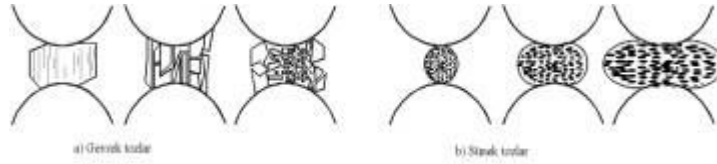
**Keywords:** Attritor, alumina, milling.

## GİRİŞ

Bir metal tozu üretim tekniği olmakla birlikte, diğer tekniklerle üretilmiş ancak kümeleşmiş tozların kırılması için de kullanılan öğütme, en çok bilyalı değirmenlerde yapılmaktadır [1]. Öğütülecek metal, içinde büyük çaplı, sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bilyaların bulunduğu kaba yerleştirilir. Kap döndürülerek veya titreştirilerek bilyalar harekete geçirilir (Şekil 1). Eğer öğütülen parçacıklar gevrek ise, bilyalarla çarpışma neticesinde çok küçük tozlara bölünür. Sünek parçacıklar ise, çarpışma sonucunda şekil değiştirerek yassılaşırlar (Şekil 2) ve ancak aşırı iş sertleşmesi neticesinde gevrekleşerek küçük tozlara bölünebilirler.



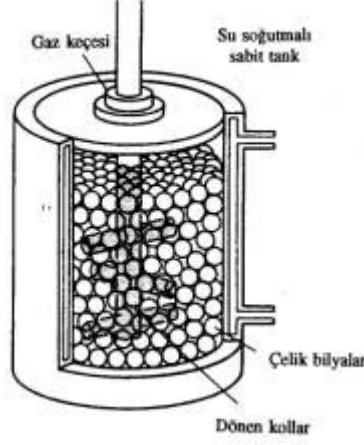
**Şekil 1.** Bilyalı Öğütme [2]



**Şekil 2.** Öğütmede Çarpışmanın Etkisi [3]

Öğütmenin su, alkol ve heptan gibi bir hidrokarbon sıvı içinde yapılması hem öğütme süresini kısaltır, hem de ince tozlar üretilmesini sağlar [1]. Bir öğütücünün verimliliğini öğütme ortamının çarpışma hızı ve öğütücü içindeki malzemenin hareketliliği belirler [4]. Öğütmenin çok yavaş bir dönüş hızı ile yapılması, bilyaların kabın üzerinde yuvarlanmasına; çok yüksek bir dönüş hızı ise merkezkaç kuvvetinin etkisiyle bilyaların kap yüzeyinde düşmeden durmalarına sebep olur. Ayrıca bilyaların hacmi kap hacminin yaklaşık yarısı ve öğütülecek metal miktarı kap hacminin yaklaşık %25'i olmalıdır [2].

Silindirik değirmenler metal tozlarının öğütülmesinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte, düşük hızlarda çalıştılarından öğütme süresi uzundur. Bu süreyi kısaltmak için titreşimli değirmenler ve atritörler (Şekil 3) geliştirilmiştir [3, 5-7]. Atritörler diğer öğütücülere göre daha kısa zamanda karıştırma-öğütme özelliğine sahip, yüksek enerjili ve en verimli öğütücülerdir. Silindirik değirmenlerde optimum bir dönme hızı söz konusu iken, atritörlerde karıştırıcı kolların hızı ne kadar yüksek ise öğütme verimliliği de o kadar yüksek olmaktadır [4]. Bu çalışmada, titreşimli yatay tip bir atritörün tasarım ve imalatı yapılarak alumina tozlarını öğütme davranışı incelenmiştir.



Şekil 3. Bilyalı Atritör

## DENEYSEL ÇALIŞMA

### Titreşimli Yatay Atritörün Tasarım ve İmalatı

İmalatı yapılan titreşimli yatay atritör Şekil 4'te gösterilmiştir. Atritör, bir elektrik motorundan kayış-kasnak sistemi ile tahrik edilmektedir. Motor mili 1800 dev/dak hıza sahiptir. Bu hız kademeli kasnaklar ile 500, 700 ve 900 dev/dak hızlara ayarlanabilmektedir. Öğütmenin yapıldığı tank, dört adet baskı yayı üzerine oturtulmuştur. Yay sabitleri Probat-Werke marka cihazda ölçülmüştür. Serbest boy  $L_0 = 61.5$  mm,  $L_1 = 51$  mm (4,95 kg yükleme),  $L_2 = 41$  mm (9,75 kg yükleme) ve  $L_{min} = 25$  mm (16 kg yükleme) ölçüm değerleridir. Elektrik motoru mili, atritör miline çift akuple bir kardan kavraması ile irtibatlandırılmıştır. Motor çalıştığı anda serbest dönen mil esnek hareketle atritörü yaylar üzerinde titreştirmektedir. Böylece öğütücü tank, çelik bilyeler ve toz malzeme çok eksenli olarak titreşmektedir. Üretilen titreşimli atritör, 3/2, 2 ve 3 litre hacimli Cr-Ni paslanmaz iç çelik tank ve çevresinde çekme dikişsiz borudan yapılmıştır. İç tanklar değiştirilebilmektedir. Her iki tank arasında soğutma suyu dolaşabilmektedir. Karıştırıcı kollar Cr-Ni paslanmaz çelikten yapılmıştır. Atritörün çalışması sırasında meydana gelebilecek ısınmadan kaynaklanabilecek reaksiyonların önlenmesi için öğütme tankı ile dış tank arasında soğutma sistemi mevcuttur. Sistemin montajı ve demontajı kolaylıkla yapılabilmektedir.

### Öğütme

Titreşimli yatay atritörün öğütme davranışının incelenmesi için yapılan deneylerde Eti Holding A.Ş.'den temin edilen ve ortalama boyutu 56,35 mm olarak ölçülen alumina kullanılmıştır. Çelik bilyalar 1/4" çapında olup, ORS'tan (Ortadoğu Rulman Sanayi) temin edilmiştir.

Çalışma devri 700 dev/dak olarak ayarlanmıştır. Deneyler 1, 5 ve 10 saat sürelerle; 1:5, 1:10, 1:20 ve 1:40 toz/bilya oranları için ayrı ayrı yapılmıştır. 1:10 oranı için 2 litre hacimli Cr-Ni tank içerisine 100 gr alumina, 1000 gr çelik bilya ve 1 litre su konulmuştur. 1:40 oranı için ise bu miktarlar 50 gr alumina ve 2000 gr çelik bilya olarak kullanılmıştır. 1:5 toz/bilya oranı için öğütme işlemi, alkol ortamında ayrıca çalışılmıştır.

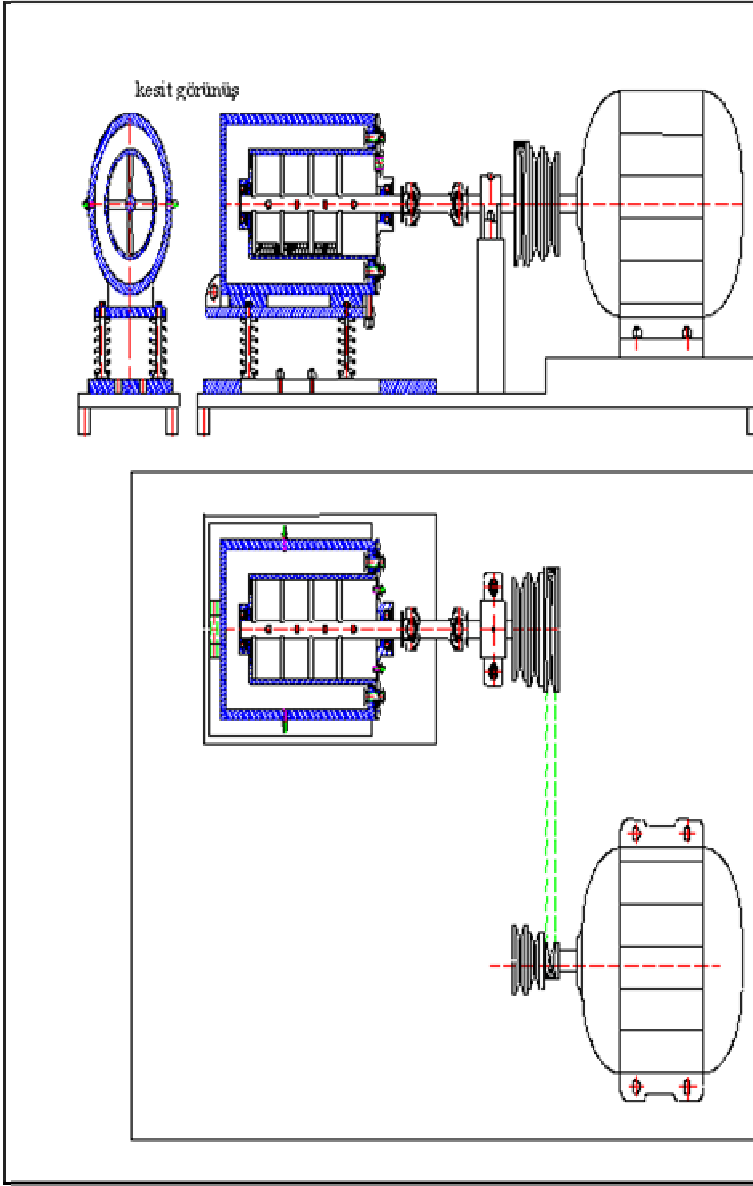
### Boyut Ölçümü

Öğütülen alumina tozlarının boyut analizleri Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Toz Metalurjisi Laboratuvarı'nda bulunan Malvern Mastersizer E laserli toz boyutu ölçme cihazında [8] yapılmıştır. Yapılan öğütme işlemlerine ait deney şartları ve öğütme neticesinde elde edilen tozların boyut analizlerine ait  $d(0,5)$ ,  $d(0,1)$  ve  $d(0,9)$  değerleri Tablo 1'de, 1:20 toz/bilya oranında 10 saat süre ile yapılan öğütme işlemine ait dağılım grafiği ise Şekil 5'te verilmiştir. Tabloda verilen  $d(0,5)$  değeri ortalama toz boyutu;  $d(0,1)$  ve  $d(0,9)$  değerleri ise sırasıyla öğütülen alumina tozlarının %10 ve %90'ının küçük olduğu toz boyutlarıdır.

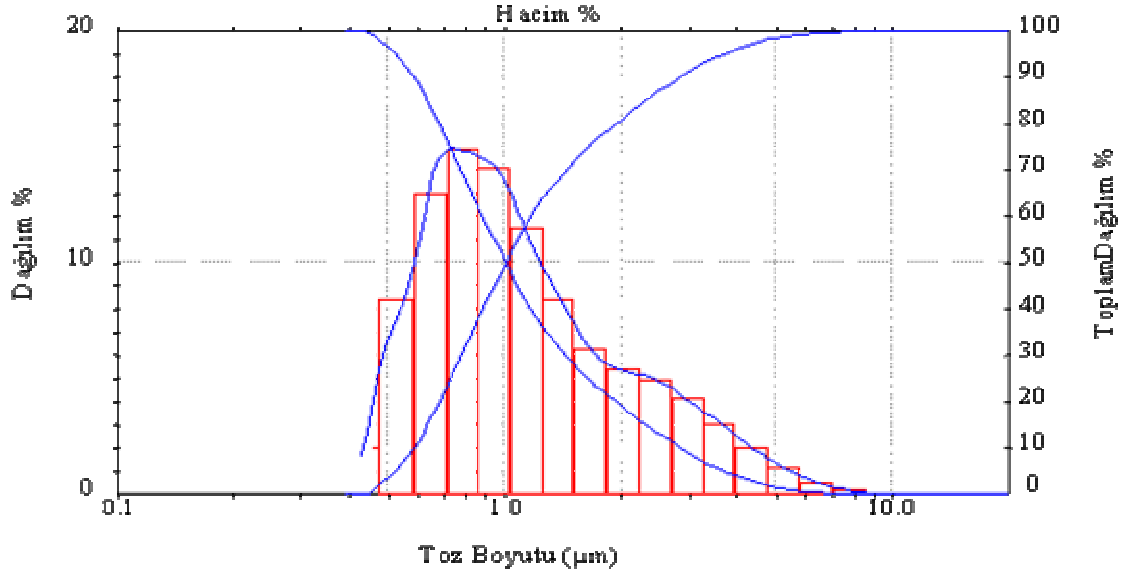
**Tablo 1.** Farklı Öğütme Şartlarında Elde Edilen Alumina Tozu Boyutları

Deney no	Toz/Bilya Oranı	Öğütme süresi (saat)	Öğütme Ortamı	$d(0,5)$ $\mu\text{m}$	$d(0,1)$ $\mu\text{m}$	$d(0,9)$ $\mu\text{m}$
1	1:40	10	Su	2,18	0,81	5,31
2	1:40	5	Su	2,29	0,81	5,23
3	1:40	1	Su	3,28	0,92	8,53
4	1:20	10	Su	1,00	0,59	2,83
5	1:20	5	Su	2,69	0,81	7,93
6	1:20	1	Su	3,16	0,85	7,63
7	1:10	10	Su	2,09	0,74	5,52
8	1:10	5	Su	2,83	0,79	8,75
9	1:10	1	Su	4,83	0,93	13,48
10	1:5	10	Su	3,18	0,83	9,49
11	1:5	5	Su	3,99	0,86	12,02
12	1:5	1	Su	5,80	0,94	15,35
13	1:5	10	Alkol	2,64	0,80	8,07
14	1:5	5	Alkol	3,21	0,84	10,17
15	1:5	1	Alkol	6,59	1,12	14,98

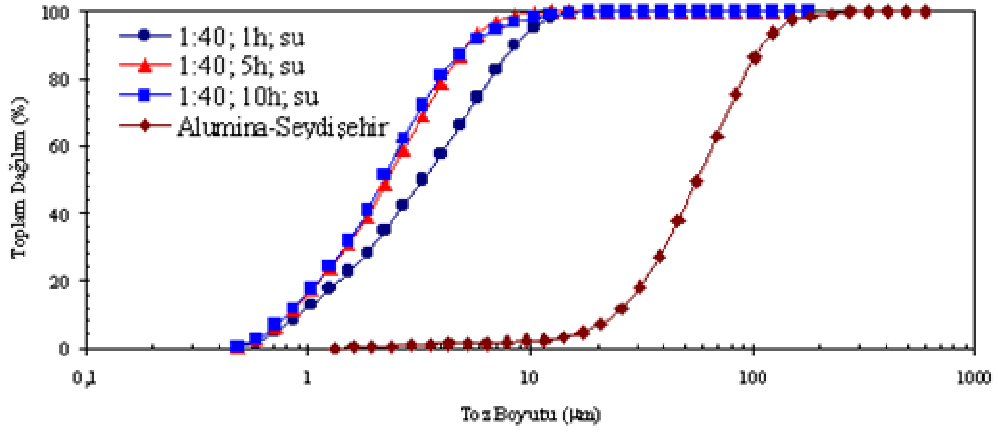
Öğütme süresinin toz boyutuna etkisi 1:40, 1:20, 1:10 ve 1:5 toz/bilya oranlarında su ortamında yapılan öğütme çalışmaları için Şekil 6-Şekil 9'da, 1:5 toz/bilya oranı ve alkol ortamında yapılan öğütme çalışmaları için Şekil 10'da toplam dağılım olarak gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 11'de su ve alkol ortamında yapılan öğütme işlemlerinin toz boyutuna etkileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Toz/bilya oranının toz boyutuna etkisi ise 10, 5 ve 1 saatlik öğütme süreleri için sırasıyla Şekil 12-14'te gösterilmiştir. Şekil 15'te ise toz/bilya oranı ve öğütme süresinin ortalama toz boyutuna etkisi karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



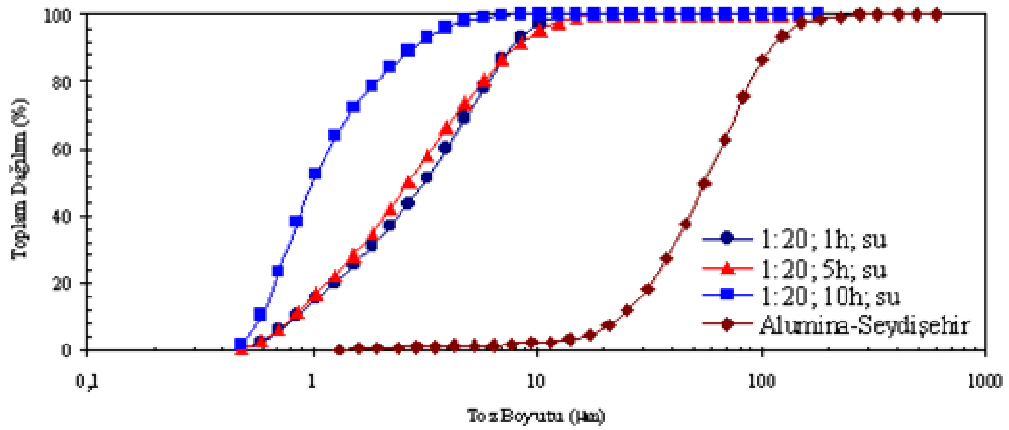
Şekil 4. Yatay Titreşimli Atritor



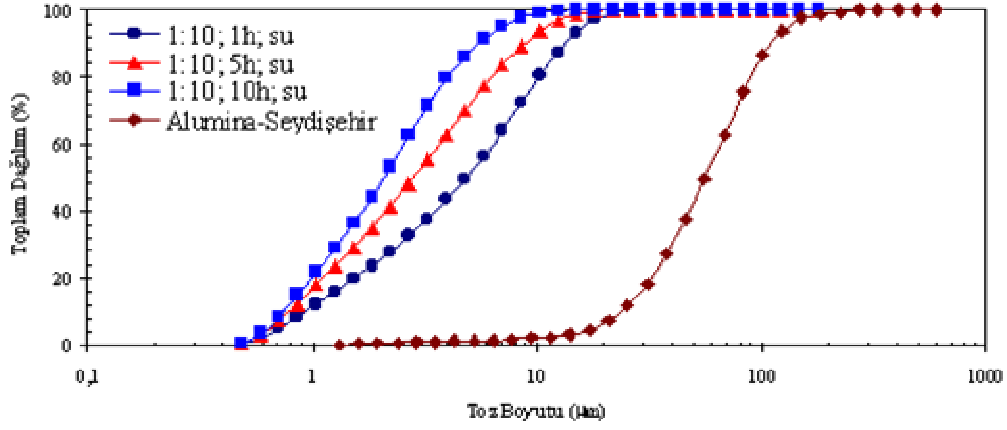
Şekil 5. Toz Boyutu Dağılımı (Deney 4)



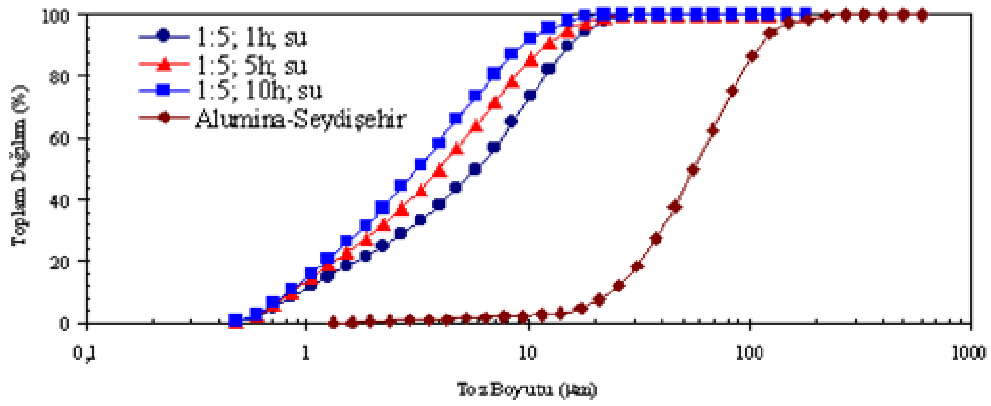
Şekil 6. Toz boyutunun Öğütme Süresiyle Değişimi (1:40 toz/bilya oranı, su)



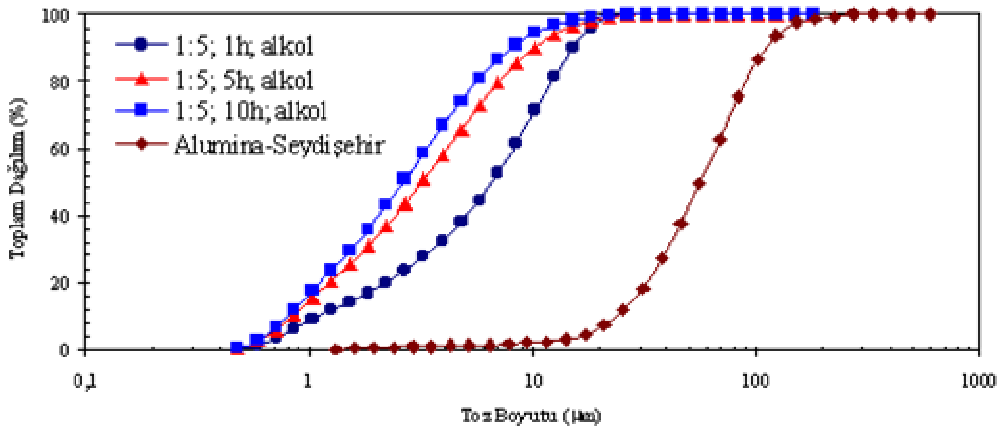
Şekil 7. Toz Boyutunun Öğütme Süresiyle Değişimi (1:20 toz/bilya oranı, su)



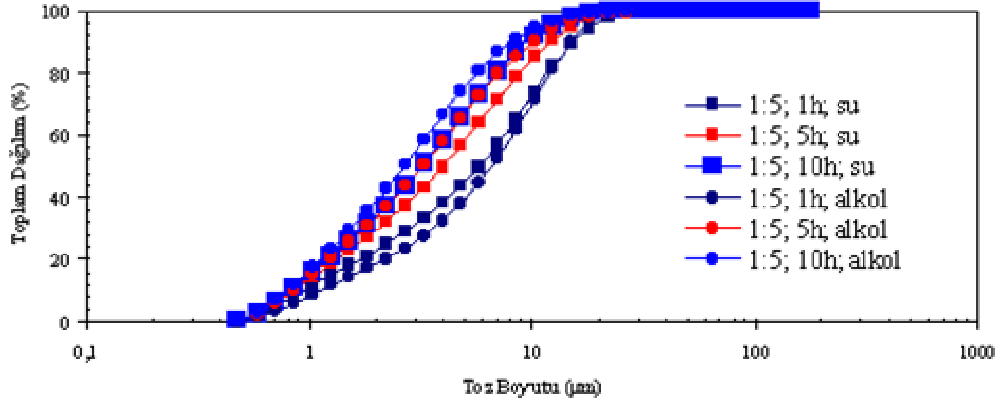
Şekil 8. Toz Boyutunun Öğütme Süresiyle Değişimi (1:10 toz/bilya oranı, su)



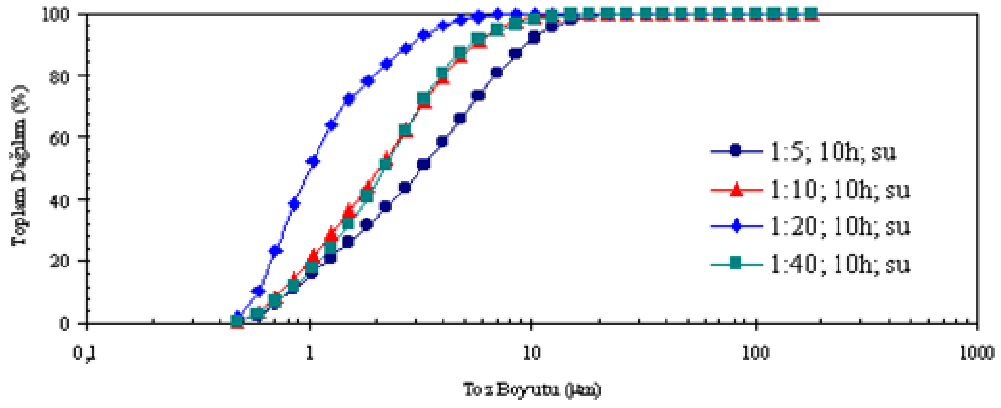
Şekil 9. Toz Boyutunun Öğütme Süresiyle Değişimi (1:5 toz/bilya oranı, su)



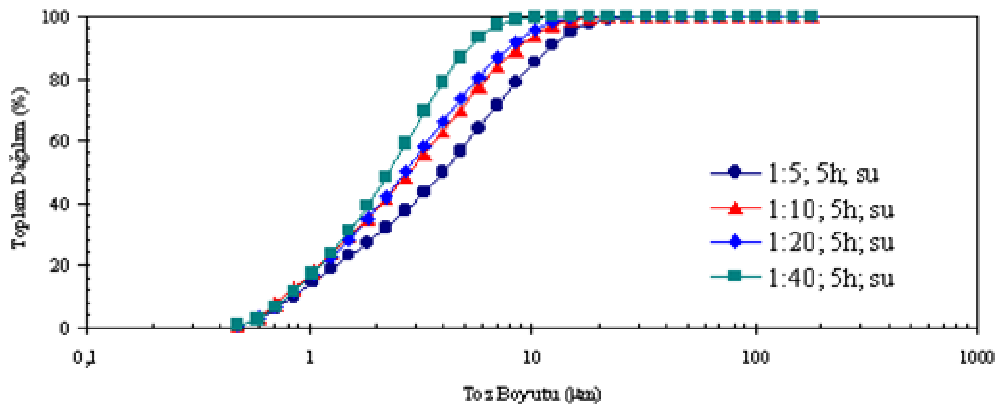
Şekil 10. Toz Boyutunun Öğütme Süresiyle Değişimi (1:5 toz/bilya oranı, alkol)



Şekil 11. Toz Boyutuna Alkol ve Su Ögütme Ortamının Etkisi (1:5 toz/bilya oranı)

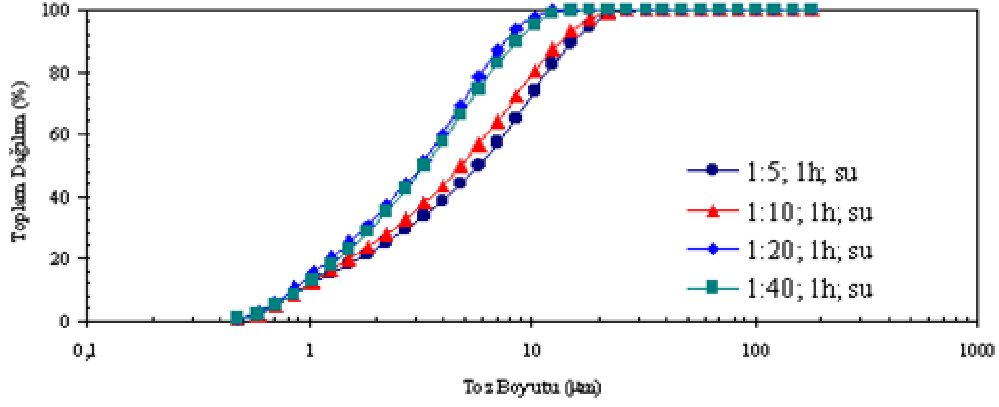


Şekil 12. Toz Boyutunun Toz/Bilya Oranıyla Değişimi (10 saat, su)

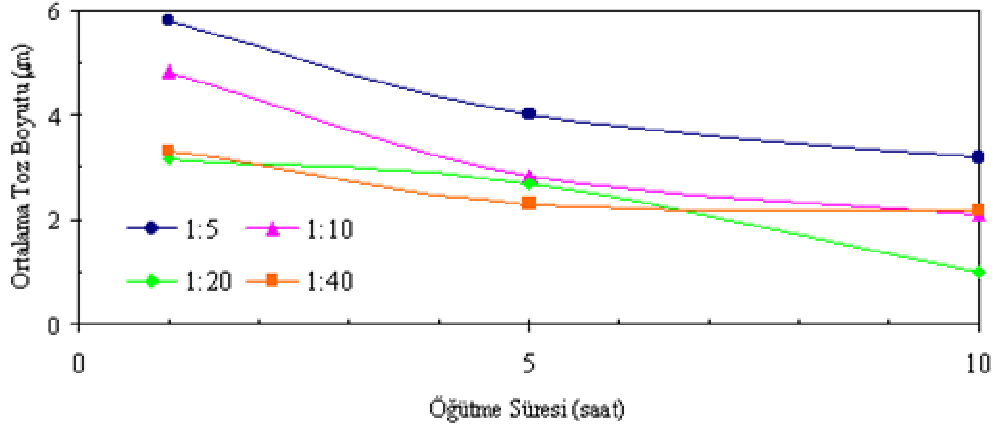


Şekil 13. Toz Boyutunun Toz/Bilya Oranıyla Değişimi (5 saat, su)





**Şekil 14.** Toz Boyutunun Toz/Bilya Oranıyla Değişimi (1 saat, su)



**Şekil 15.** Ortalama Toz Boyutunun Toz/Bilya Oranı ve Öğütme Süresine Bağlı Değişimi

## SONUÇ

Deneyler sırasında ilk denemelerde karıştırıcı kolların uç bölgesinden aşındıkları görülmüştür. Kollar 59 HRC sertliğinde, darbe + abrasiv aşınmaya dayanıklı, 600 °C'ye kadar sertliğini koruyabilen Citodur 600 B kaynak elektrotu ile doldurulmuş ve tekrarlanan deneylerde aşınma görülmemiştir.

Özellikle 1:20 toz/bilya oranlı yüklemelerde ve uzun süreli öğütmelerde, köpürme ve tozlarda siyaha yakın renk değişimi gözlenmiştir. İçerdeki köpürme ve oluşan basıncı azaltmak için malzeme şarjının yapıldığı giriş bölgesine 3 mm'lik delik açılmıştır.

Tablo 1 incelendiğinde, en küçük ortalama alumina tozu boyutunun Deney 4'te, 1:20 toz/bilya oranı ve 10 saat süre ile yapılan öğütmeye elde edildiği ve ortalama boyutun 1 mm olduğu görülmüştür. Burada tozların %10'u 0,59 mm'den, %90'ı da 2,83 mm'den küçüktür. Toz boyutu dağılım grafikleri Şekil 5'te görüldüğü gibi genellikle iki modlu, nadiren tek modludur.

Öğütme süresinin artması, bütün öğütme şartlarında toplam dağılım eğrisini sola doğru kaydırmış, başka bir ifadeyle toz boyutu küçülmüştür (Şekil 6-Şekil 10). Ancak 1:40 toz/bilya oranında 10 saat süreyle yapılan öğütme işlemindeki toplam dağılım eğrisinde 5 saate göre önemli bir değişim gözlenmemiş (Şekil 6) ve ortalama toz boyutları da sırasıyla 2,18 mm ve 2,29 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 15).

Su ortamında 1 saat süreyle yapılan öğütme daha küçük boyutlu tozlar üretmiş iken; 5 ve 10 saat yapılan öğütmelerde alkol ortamında daha ince tozlar üretilmiştir. Alkol ortamında 5 saat öğütme süresinde elde edilen toplam dağılım eğrisi, 10 saat süreyle su ortamında yapılan öğütmeyle elde edilen eğriyle çakışmıştır (Şekil 11). Bunlara ait ortalama boyut değerleri de hemen hemen aynı olup 3,18 mm ve 3,21 mm olarak ölçülmüştür (Tablo 1).

Toz/bilya oranının toz boyutuna etkisi incelendiğinde, bu çalışmada kullanılan yükleme şartları için 1:20 toz/bilya oranının kritik değer olduğu görülmüştür (Şekil 12-Şekil 14). Her ne kadar 5 saat süre ve 1:40 oranıyla yapılan öğütme çalışmasında %60 toplam dağılım değerinden sonra toz boyutunda bir miktar küçülme olduğu görülmekte ise de, ortalama toz boyutu 1:20 oranıyla elde edilen boyuta çok yakındır (Şekil 13). 1 saat süreyle yapılan öğütmede 1:20 ve 1:40 oranlarıyla üretilen tozların toplam frekans eğrileri neredeyse çakışmakta (Şekil 14), 10 saat süreyle yapılan öğütme çalışmalarında ise 1:20 oranıyla üretilen tozların boyutu 1:40'a göre önemli ölçüde küçülmektedir (Şekil 12). Bu durumda 1:40 toz/bilya oranı bu yükleme şartları için bir avantaj sağlamamıştır.

İleride yapılacak ilk çalışmalarda, bu çalışmada en iyi sonucun alındığı 1:20 toz/bilya oranı korunarak öğütme tankı içindeki toz ve bilya miktarları artırılacaktır. Ayrıca 900 dev/dak dönme hızında deneyler tekrarlanacaktır.

## KAYNAKÇA

1. **Sarıtaş, S.**, "Toz Metalurjisi", Makina Mühendisliği El Kitabı, **MMO**, 1994.
2. **German, R.M.**, Powder Metallurgy Science, MPIF, Princeton, NJ, USA, 1994.
3. **Komite**, "Milling of Brittle and Ductile Materials", Metals Handbook, 9<sup>th</sup> ed., Vol. 7, Powder Metallurgy, Ohio. 1984.
4. **Da Silva, A. G. P., Da Silva, N.F. and Gomes, U.U.**, "Effects of Milling Technique on The Dispersion, Sintering and Hardness of WC-Co Hard Metals", Int. J. Powder Metallurgy, Vol. 37, no.6, pp 57-66, 2001.
5. **Sarıtaş, S.**, "Bir Titreşimli Öğütücü İmalatı ve Metal Tozlarının Öğütmeye Bağlı Özelliklerinin Araştırılması", I. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Düzenleyen: Türk Toz Metalurjisi Derneği, s. 387-396, Ankara, 1996.
6. **Jones, W. D.**, Manufacture of Flake Powders, Fundamental Principles of Powder Metallurgy, Edward Arnold Ltd., London, 1960.
7. **Rose, E. and Sullivan, R.M.E.**, A Treatise on the Internal Mechanics of Ball, Tube and Rod Mills, Chemical Pub. Co, New York, 1958.
8. **Uslan, İ., Sarıtaş, S.**, "Gaz Atomizasyonunda Nozul Geometrisi, Gaz Cinsi ve Basıncının Alüminyum Tozu Boyutuna Etkisinin Araştırılması", I. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Düzenleyen: Türk Toz Metalurjisi Derneği, s. 217-226, Ankara, 1996