

Seramik Hammaddelerinin Ayrı Öğütülmesinin Etkilerinin İncelenmesi

Erdal KARA^{1*}, A. Dilek ÇUHADAROĞLU²

^{1*}Bülent Ecevit Üniversitesi, Gökçebey MMÇ MYO, El Sanatları Bölümü, Zonguldak, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7043-6270), karaerdal@hotmail.com

²Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, Zonguldak, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4164-3446), dilekcuhan@yahoo.com

(İlk Geliş Tarihi 02.03.2022 ve Kabul Tarihi 19.04.2022)

(DOI: 10.35354/tbed.1081560)

ATIF/REFERENCE: Kara, E., Çuhadaroğlu, A. D. (2022). Seramik Hammaddelerinin Ayrı Öğütülmesinin Etkilerinin İncelenmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 12 (2), 6-13.

Öz

Bu çalışmada da dünyanın çeşitli yerlerinde bulunan yapılar araştırılarak diagrid strüktürler ve sürdürülebilirlik alanındaki önemi incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, seramik sektöründe geleneksel olarak karışım halinde bilyalı değirmenlerde öğütülen sert hammaddelerin, aynı öğütme parametreleri altında ayrı ayrı öğütülmesinin etkileri incelenmiştir. Ayrı ayrı yapılan öğütme işlemlerinde albit ve kuvars kumu farklı sürelerde sulu halde artan sürelerde öğütülerek tane boyut dağılımları incelenmiş, uygun boyut dağılımına sahip ürünler elde etmek için harcanan toplam öğütme enerjileri belirlenmiştir. Yapılan öğütme deneyleri neticesinde karışım ürünü ile benzer boyut dağılımını sağlayan 5 saat öğütülmüş kuvars kumu ($d_{50}=13,2$) ve 3 saat öğütülmüş albit ($d_{50}=10,6$) kullanarak hazırlanan karışımın hazırlanmasında %27 oranında daha az enerji harcandığı tespit edilmiştir. Ayrıca İstenilen tane boyutunda çalışabilme kolaylığı sağladığından uygun şartlar altında ayrı ayrı öğütmenin daha avantajlı bir yöntem olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Öğütme, Albit, Kuvars kumu, Boyut küçültme, Seramik hammadde, Bilyalı değirmen.

Investigation of Effects of Separate Grinding of Ceramic Raw Materials

Abstract

In this study, the effects of grinding the hard raw materials, which are traditionally mixed in ball mills in the ceramic industry, separately under the same grinding parameters were investigated. In separate grinding processes, albite and quartz sand raw materials were grinded in aqueous form at different times, the particle size distributions were examined, and the total grinding energies spent to obtain products with an appropriate size distribution were recorded. As a result of the grinding tests, 27% less energy was spent on the mixture prepared by using 5 hours of ground quartz sand ($d_{50}=13.2$) and 3 hours of ground albite ($d_{50}=10.6$), which provides a similar size distribution to the mixture product. In addition, it has been seen that grinding separately under appropriate conditions is an advantageous method as it provides ease of working in the desired grain size.

Keywords: Grinding, Albite, Quartz sand, Size reduction, Ceramic raw material, Ball mill.

* Sorumlu Yazar: karaerdal@hotmail.com

1. Giriş

Seramik metal dışı inorganik malzemelerin boyutlarının küçültülmesinin ardından şekillendirilerek sinterlenmesi neticesinde oluşan mukavemetli, gevrek malzemelerdir. Geleneksel seramik çamuru üretiminde iki tür (özsüz sert hammaddeler ve özlü plastik hammaddeler) hammadde grubu kullanılmaktadır.

Sert hammaddeler; kuvars kumu, feldspatlardır. Plastik hammaddeler; killer ve kaolenlerdir. Endüstriyel döküm çamur üretimi sert hammaddelerin konvansiyonel bilyalı değirmenlerde sulu olarak öğütülmesi ve sonrasında açıcılarda plastik hammaddeler ile karıştırılması sonucu gerçekleşmektedir. Sektörel olarak öğütme prosesi, enerjinin en yaygın ve en verimsiz olarak kullanıldığı işlem birimidir. Özellikle, tane boyutu küçüldükçe tanelerin kırılmaya karşı olan dirençlerinin artmasıyla birlikte tüketilen enerji miktarları da buna bağlı olarak aşırı bir şekilde artmaktadır. Öğütme işleminin yapıldığı bilyalı değirmenlerde harcanan enerjinin bir kısmı öğütmede harcanırken büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek harcanmaktadır [1]. Öğütme konusunda yapılan çalışmaların çoğunda enerji-boyut küçültme arasındaki ilişki araştırılmış en az enerji ile en uygun boyuta küçültme yapabilmenin olanakları araştırılmıştır[2,3]. Seramik hammaddelerinin birlikte ya da ayrı ayrı öğütme performansları da farklı öğütme parametreleri kullanarak araştırmacılar tarafından çalışılmıştır.

Yekeler tarafından gerçekleştirilen çalışmada [4]; Bilyalı değirmende kuvarsın yaş öğütme kinetiği kuru öğütme kinetiği ile karşılaştırılmıştır. Kuvarsın aynı deney koşullarında öğütülmesinde spesifik kırılma hızının (Si) yaş öğütmede kuru öğütülmesinden daha yüksek olduğu, birincil kırılma dağılım parametrelerinin (Bi,j) aynı olduğu tespiti yapılmıştır. İpek [5]; seramik hammaddelerinin farklı parametreler altında, karışım halinde ve ayrı ayrı kuru olarak öğütülebilirliklerini incelemiştir. Çalışmada eşit yoğunluklu minerallerin ikili karışımları için tanımlanmış ve doğrulanmış olan bileşenler arasındaki enerji bölünmesi için, kütle fraksiyonu hipotezinin geçerliliğinin doğrulandığını belirtmiştir. Serhan tarafından yapılan çalışmalarda [6]; Albit, kuvars kumu ve kaolen hammaddelerinin kinetik modele dayalı öğütme özellikleri ve model parametreleri değişimi araştırılmıştır. Silpeps bilya kullanılarak seramik hammaddelerinin öğütülebileceği, kümülatif dağılım fonksiyonuna ait model parametrelerinde değişim gözlemlendiği belirtilmiş, kuvarsın kumunun öğütülebilirliği ile ilgili çalışmada bilya boyutunun etkisini inceleyerek bilya boyutunun artmasına bağlı olarak kırılma hızında azalma gözlemlendiğini bildirmiştir [7]. Bond öğütülebilirlik ve kinetik modele bağlı olarak yapılan öğütme çalışmalarında Umucu [8], feldspat ve kuvars hammaddelerinin benzer bir eğilim gösterdiklerini, feldspatın öğütülebilirliğinin kuvarsa oranla daha kolay olduğunu ve Bond İş Endeksi'nin daha küçük olduğunu tespit etmiştir.

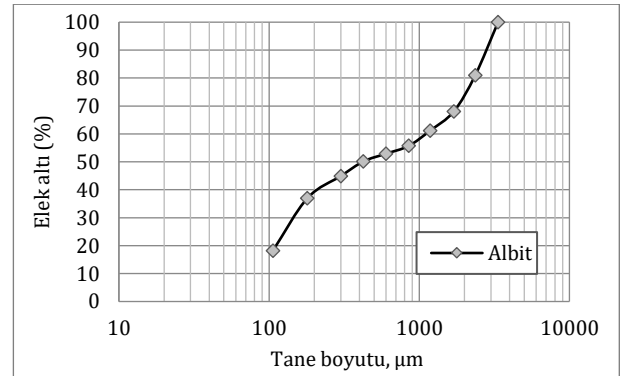
Öğütme işlemi sonrasında hammadde tane boyutu küçülür ve yüzey alanı artar. Bu sayede malzemeler homojen bir şekilde karışır, tane değme yüzey oranı arttığından faz oluşum hızı ve sinterleme kabiliyeti artar [9, 10]. Seramik üretiminde çamurun reolojisi, şekillendirme prosesi, yarı ve pişmiş ürün özellikleri öğütme performansına göre olumlu ya da olumsuz olarak etkilenebilmektedir. Kuvarsın tane boyutu küçüldükçe mukavemet ve su emme değerleri artarken bir noktadan sonra azalmaya başladığı, tane boyutu küçüldükçe paketleme, kuru küçülme ve pişme küçülme değerlerinin arttığı sinterleme

sıcaklığının arttığı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [6, 11]. G. Stathis [12], seramik bünyede kuvars içeriğinin eğilme mukavemeti ve fiziksel özelliklere etkisini incelemiş, kuvarsın optimum tane boyutunun 5-20 µm arasında olması gerektiğini ancak bunun da eğilme mukavemetine %20-30 artış sağladığını tespit etmiştir. Özel [13], farklı sürelerde öğütülen kuvars ve feldspat karışımları kullanarak elde edilen bünyelerin, piropplastik deformasyon miktarları ve sinterleme davranışlarını incelemiş, sert hammaddelerin daha fazla öğütülmesiyle pişirim sıcaklığı azaltılarak %0,5'den daha düşük su emmeye sahip mukavemet değeri yüksek seramik ürünler üretilebileceğini tespit etmiştir.

Geleneksel öğütme yönteminde öğütme, karışım halinde gerçekleştiğinden hammaddelerin karışım içinde tek başına dağılımları kontrol edilememektedir. Bu çalışmada albitin (sodyum feldspatın) ve kuvars kumunun ayrı ayrı öğütülmesinde öğütme süresinin etkisi incelenmiş, harcanan enerji tespit edilmiştir.

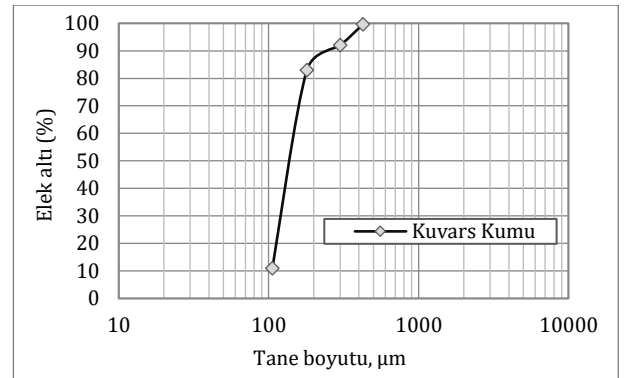
2. Materyal ve Metot

DeneySEL çalışmalarda kullanılan albit ve kuvars kumu numunesi, seramik sağlık gereçleri üreten bir işletmeden temin edilmiştir. İşletmenin stok alanından temsili olarak yaklaşık 250 şer kg örnek alınmıştır. Numuneler konik kırıcı ile tamamı 3350 µm altına geçecek şekilde kırılarak bilyalı değirmende yapılacak öğütme deneyleri için hazırlanmıştır. Albit ve kuvars kumunun bilyalı değirmen girişi (konik kırıcı çıkışı) boyut dağılımları sırasıyla Şekil 1 ve 2 de sunulmuştur.



Şekil 1 Albitin bilyalı değirmen girişi boyut dağılımı.

Şekil 1'de görüldüğü üzere değirmen girişi albitin F90 değeri 2829 µm'dir.



Şekil 2 Kuvars kumunun bilyalı değirmen girişi boyut dağılımı.

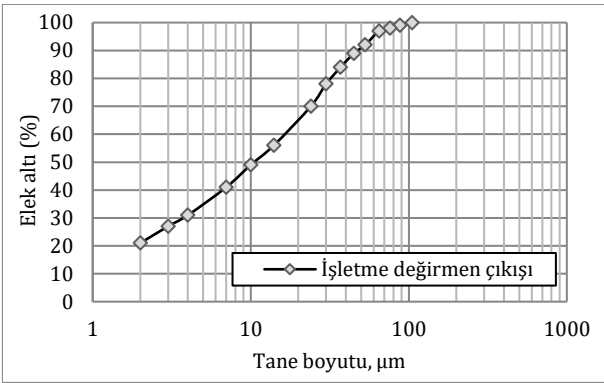
Şekil 2’de görüldüğü üzere bilyalı değirmene beslenen kuvars kumunun F90 değeri 114µm dir.

Piknometre ile yapılan yoğunluk ölçümü sonucunda albitin 2,6 gr/cm³, kuvars kumunun 2,5 gr/cm³ gerçek yoğunluk değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin kimyasal analizleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1 Deney numunelerinin kimyasal analizleri.

Analiz	Albit (%)	Kuvars Kumu (%)
SiO ₂	70,64	82,97
Al ₂ O ₃	17,87	9,51
Na ₂ O	9,79	0,49
TiO ₂	0,19	0,13
CaO	0,73	0,1
Fe ₂ O ₃	0,13	0,3
K ₂ O	0,32	0,37
Kızdırma kaybı	0,27	2,16

Hammadde numunelerinin alındığı işletmede, hammaddeler reçetelerine göre hazırlanarak hepsi karışım halinde bir arada öğütme işlemi yapılmaktadır. Bu işletmenin değirmen çıkışından alınan ürünün elek altı grafiği Şekil 3’de sunulmuştur.

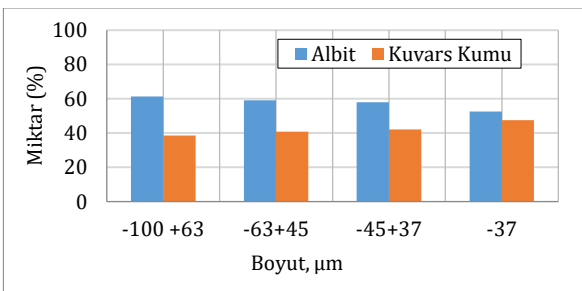


Şekil 3 İşletmeden alınan değirmen çıkışı ürünün elek altı grafiği.

Şekil 3’de görüldüğü üzere;

- %5’inin 106-63 µm arasında,
- %7’sinin 63-45 µm arasında,
- %6’sının 45-37 µm arasında,
- %82’sinin 37 µm altında,

olduğu tespit edilmiştir. Bu dört boyut grubunda kuvars kumu ve albit içerikleri (numunelerin rasyonel analizi) Şekil 4 de sunulmuştur.



Şekil 4 İşletmeden alınan değirmen çıkışı ürünün boyut gruplarında kuvars kumu ve albit içerikleri (rasyonel analizleri).
e-ISSN: 2146-2119

Şekil 4’e göre işletmeden alınan değirmen çıkışı ürün numunesinde boyut gruplarında albitin oransal dağılımı tane boyutu küçüldükçe azalmakta, kuvars kumunun oranı ise boyut küçüldükçe artmaktadır. Bu sonuca göre, işletmede farklı boyutlarda değirmene beslenen albit ve kuvarstan, önce albitin öğütüldüğü, albitin tane boyutu kuvars kumunun boyutlarına indiğinde kuvars kumunun öğütülmeye başladığı yorumu yapılmaktadır. Literatürde ikili karışım öğütme deneylerinde benzer durumdan söz edilerek sert cevherin diğer cevhere göre daha geç öğüdüğü belirtilmiştir [14, 15].

Çalışmalarda özellikle kuvars mineralinin sinterleşmesini sağlamak, faz dönüşümlerini kolaylaştırarak pekişmeyi arttırmak için kuvarsin d50 tane boyutunun 10 µm civarına kadar indirilmesi, 60 µm üzerindeki miktarın %2’den düşük olması gerektiği belirtilmektedir [16].

3. Deney Koşulları

Öğütmede uygulanan deney koşulları Tablo 2’de verilmiştir.

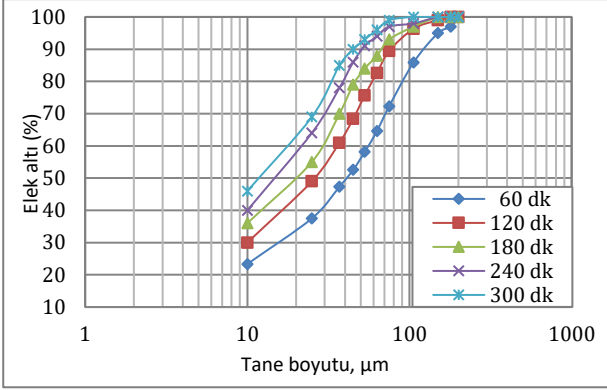
Tablo 2 Öğütme deney koşulları.

Değirmen	İç Çap, (cm)	16		
	Boy, (cm)	17,5		
	Hacim, (cm ³)	3518		
	Dönüş Hızı (dev/dk)	120		
Öğütme Ortamı	Bilya Tipi	Alümina		
	Bilya Çap (mm)	25-30-35		
Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Karışım	Albit	Kuvars Kumu
	Malzeme Yüklü (%f.c)	2,56	2,60	2,50
	Boşluk dol. Oranı, (%U)	0,23	0,22	0,23
		1,74	1,66	1,74

İşletmenin stoklarından alınan -3 mm boyutunda albit ve -400 µm boyutunda kuvars kumunun karışım halde öğütülmesinde ve de ayrı ayrı öğütülmesinde laboratuvar tipi bilyalı değirmen kullanılmıştır. Albit+kuvars kumu karışımı ile albitin ve kuvars kumunun ayrı ayrı öğütülmesinde öğütme süresine bağlı olarak boyut dağılımındaki değişim belirlenmiş ve enerji tüketimleri tespit edilmiştir. Değirmen hacminin 1/3’ü boş bırakılarak, 1/3’ü cevher+su (1650 gr/lit yoğunlukta olacak şekilde pulp yoğunluğu ayarlanmıştır), 1/3’ü bilya ile şarj edilmiştir. Öğütme deneylerinde farklı boyutta bilya karışımı (25, 30, 35 mm 1/3 oranında ağırlıksal karışımı) kullanılmıştır. Numunelerin alındığı işletmede öğütme devresinde değirmen çıkışından alınan ürünün boyut dağılımları incelendiğinde yaklaşık %80’inin 35 µm altında olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda laboratuvar ölçekli bilyalı değirmende yapılan öğütme deneyleri için P80 ~34 µm boyutu hedeflenerek öğütme işlemleri yapılmıştır. Öğütme deneylerinde her saat başı alınan numunenin boyut dağılımı Malvern Mastersizer S 2000 cihazı ile tespit edilmiştir. Öğütme deneylerinde her saat sonunda harcanan enerji tüketim değerleri enerji kaynağı ile değirmen arasına bağlanan dijital Wattmetre (250 V, 50 Hz, 16 A) yardımı ile ölçülmüş, kws/t olarak kaydedilmiştir. Öğütme için tüketilen net enerji; Malzeme yüklü

değirmenin saat başı harcadığı enerjiden boş değirmenin harcadığı enerji değeri çıkarılarak tespit edilmiştir.

Albit+kuvars kumu karışımının öğütülmesinde, artan sürelerle bağlı elek altı grafiği Şekil 5'te, d20, d50, d95 değerleri Tablo 3'de, öğütme sürelerine bağlı d95 değerleri ve enerji tüketimi Şekil 6'da verilmektedir.

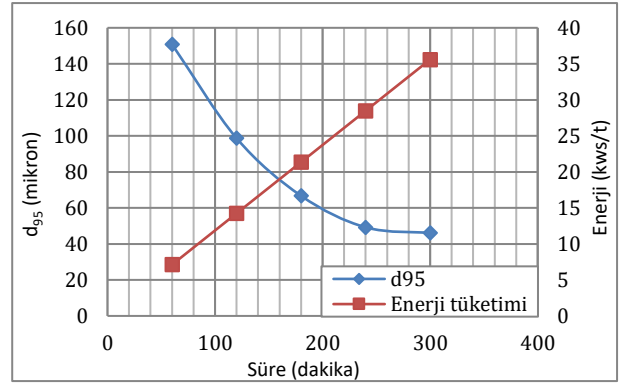


Şekil 5 Karışımın artan sürelerle bağlı elek altı grafikleri.

Tablo. 3 Karışımın öğütülmesinde süre artışına bağlı olarak d20, d50, d80, d95 değerlerindeki değişim.

Öğütme Süresi (dk)	Karışım (µm)			
	d 20	d 50	d 80	d 95
60	7,1	41	9	50,8
120	4,3	26,2	6,15	8,7
180	2,6	15,1	4,63	6,7
240	2,1	11,3	3,91	9,2
300	1,5	10,05	3,2	6,2

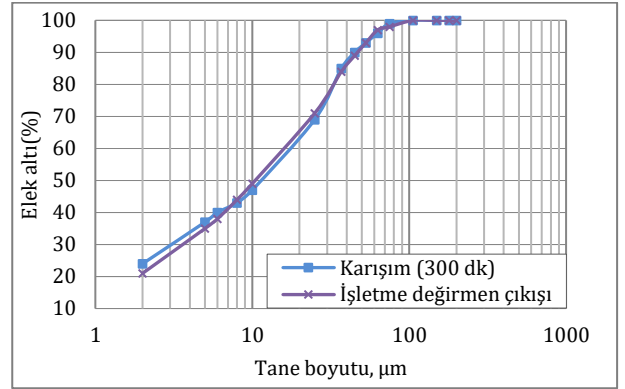
Şekil 5 ve Tablo 3 incelendiğinde öğütme süresinin artışına bağlı olarak elde edilen ürünlerin tane boyutunun incelendiği görülmektedir. d50 boyutu; 60 dakika öğütme süresi sonunda 41µm, 120 dakika öğütme süresi sonunda 98,7µm, 180 dakika sonunda 15,1 µm, 240 dakika öğütme süresi sonunda 11,3µm, 300 dakika öğütme süresi sonunda 10,05 µm ve 300 dakika sonunda P80 ~33µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6 Karışımın öğütme süresine bağlı d95 değerleri ve enerji tüketimi.

Şekil 6 incelendiğinde Albit+kuvars kumu karışımının öğütme deneylerinde; 300 dakika sonunda tüketilen enerji 35,6 kws/t olarak ölçülmüştür.

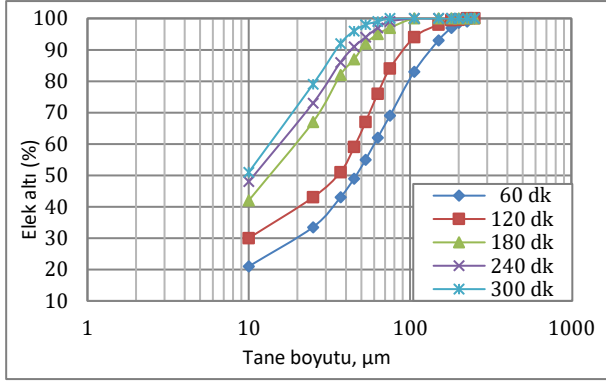
İşletmeden alınan değirmen çıkışı ürünün ve karışımın 5 saat öğütülmesi sonunda alınan ürünlerin elek altı grafikleri Şekil 2.7'de verilmektedir.



Şekil 7 İşletme değirmen çıkışı numunenin ve 300 dk öğütülen karışımın elek altı grafikleri.

Şekil 7'deki elek altı eğrileri incelendiğinde; Laboratuvarda yapılan öğütme deneylerinde karışımın 300 dakika öğütülmesi sonunda alınan ürünün boyut dağılımının özellikle ince boyutlarda işletmenin değirmen çıkışı ürününün boyut dağılımına daha yaklaştığı tespit edilmektedir. Bu sebeple 300 dakika öğütülen karışım numunesi laboratuvar ölçekli referans numune olarak belirlenmiştir. Aynı öğütme şartları altında albit ve kuvars kumu öğütülerek bu referans numunenin değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Albitin öğütülmesinde, artan sürelerle bağlı elek altı grafiği Şekil 8'de, d20, d50, d95 değerleri Tablo 4'da, öğütme sürelerine bağlı d95 değerleri ve enerji tüketimi Şekil 9'da verilmektedir.

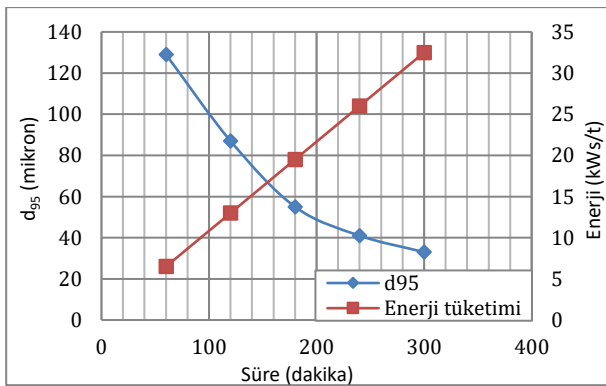


Şekil 8 Albitin artan sürelerle bağlı elek altı grafikleri.

Tablo 4 Albitin öğütülmesinde süre artışına bağlı olarak d20, d50, d80, d95 değerlerindeki değişim.

Öğütme Süresi (dk)	Albit (µm)				
	d 20	d 50	d 80	d 95	
60	9,5	4,4	8,1	62,5	1
120	8,2	3,6	0,2	06,4	1
180	2,5	1,6	5,2	5,5	6
240	2,3	1,7	1,1	9,4	4
300	1,8	0,6	6,2	7,3	4

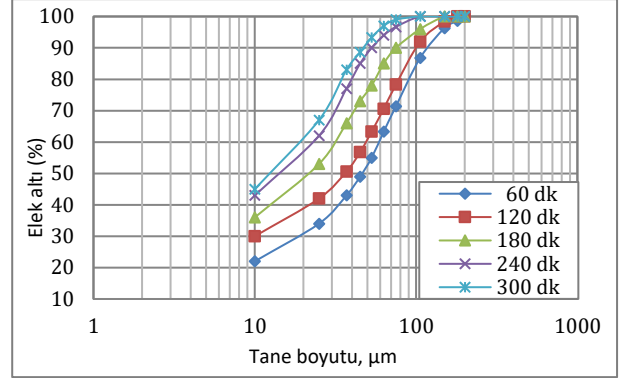
Şekil 8 ve Tablo 5 incelendiğinde öğütme süresinin artışına bağlı olarak elde edilen albit ürünlerinin tane boyutunun incelendiği görülmektedir. d50 boyutu; 60 dakika öğütme süresi sonunda 45,4 µm, 120 dakika öğütme süresi sonunda 36,3 µm, 180 dakika sonunda 14,6 µm, , 240 dakika sonunda 11,7 µm, 300 dakika sonunda 10,6 µm ve 180 dakika sonunda P80 ~35 µm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 9 Albitin öğütme süresine bağlı d95 değerleri ve enerji tüketimi.

Albitin öğütme deneylerinde; 300 dakika sonunda tüketilen enerji 32,5 kws/t olarak ölçülmüştür.

Kuvarısın öğütülmesinde, artan sürelerle bağlı elek altı grafiği Şekil 10'de, d20, d50, d95 değerleri Tablo 2.7'de öğütme sürelerine bağlı d95 değerleri ve enerji tüketimi Şekil 2.11'de verilmektedir.

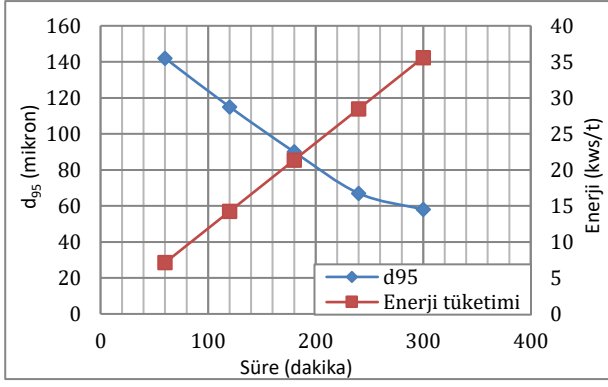


Şekil 10 Kuvars kumunun artan sürelerle bağlı elek altı grafikleri.

Tablo 5 Kuvars kumunun öğütülmesinde süre artışına bağlı olarak d20, d50, d95 değerlerindeki değişim.

Öğütme Süresi (dk)	Kuvars Kumu (µm)				
	d 20	d 50	d 80	d 95	
60	4,5	4,8	1,2	28	1
120	2,8	2,1	7,3	01	1
180	1,9	1,6	6,4	4	6
240	1,8	1,4	0,1	8	5
300	1,7	1,2	6,2	1	5

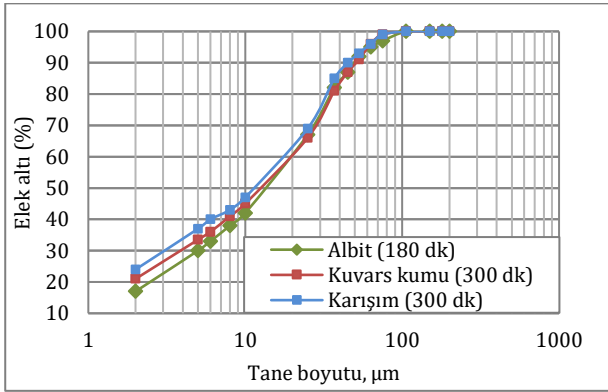
Şekil 10 ve Tablo 6 incelendiğinde öğütme süresinin artışına bağlı olarak elde edilen kuvars kumu ürünlerinin tane boyutunun incelendiği görülmektedir. d50 boyutu; 60 dakika öğütme süresi sonunda 128 µm, 120 dakika öğütme süresi sonunda 101 µm, 180 dakika sonunda 16,2 µm ve 240 dakika sonunda 14,8 µ, 300 dakika sonunda 13,2 µm ve 300 dakika sonunda P80 ~36 µ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 11 Kuvars kumunun öğütme süresine bağlı d95 değerleri ve enerji tüketimi.

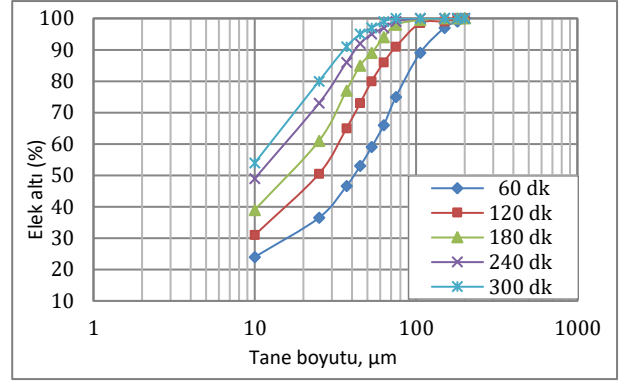
Kuvars kumu öğütme deneylerinde; 300 dakika sonunda tüketilen enerji 35,5 kws/t olarak ölçülmüştür.

Albit ve kuvars kumunun ayrı ayrı öğütülmesinde farklı öğütme sürelerinde alınan öğütme ürünlerinin boyut dağılım grafikleri incelendiğinde; karışımın 300 dakika öğütme sonunda elde edilen boyut dağılımına yakın değerlerin, albit de 180 dakika öğütme sonunda, kuvars kumunda ise 300 dakika öğütme sonunda alınan ürünlerde elde edildiği belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 12'de gösterilmektedir.



Şekil 12 Albitin 180 dakika, kuvars kumunun 300 dakika ve karışımın 300 dakika öğütülmesinde ürünlerin elek altı grafikleri.

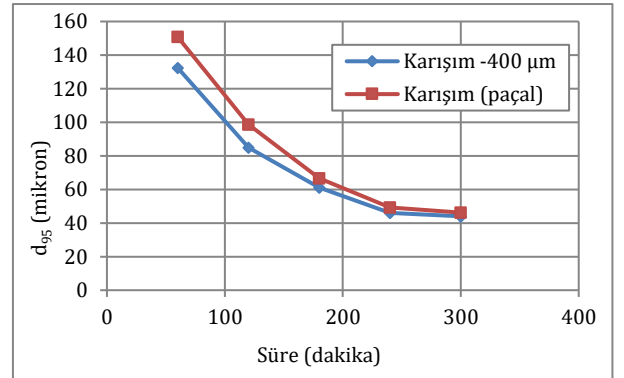
Şekil 12 incelendiğinde karışımın öğütülmesinde öğütme süresindeki artışla karışımın boyutunun küçüldükçe özellikle kuvars kumunun karışım içinde öğütülmesinin yavaşlamış olabileceği düşünülmektedir. Albitin daha iri boyutta beslenmesinin kuvars kumunun öğütülmesini yavaşlatıp yavaşlatmadığını belirlemek amacıyla, albitin değirmene besleme boyutunun kuvars kumunun besleme boyutuna indirilerek, aynı boyutta değirmene beslenmeleri durumunda öğütülmeleri incelenmiştir. Bu amaçla -3 mm boyutlu olan albitin boyutu, kırma işlemi uygulanarak -400 mikrona indirilmiştir. Albit ve kuvars kumunun -400 mikron boyutta değirmene beslenerek yapılan öğütme deneylerinden alınan öğütme ürünlerinin elek altı grafikleri Şekil 13 te gösterilmiştir.



Şekil 13 Albit ve kuvars kumunun -400 mikron boyutta değirmene beslenmesi durumunda yapılan öğütme sürelerine bağlı elek altı grafikleri.

Şekil 13 incelendiğinde öğütme süresinin artışına bağlı olarak elde edilen ürünlerin tane boyutunun incelendiği görülmektedir. d50 boyutu; 60 dakika öğütme süresi sonunda 43 µm, 120 dakika öğütme süresi sonunda 23 µm, 180 dakika sonunda 17 µm, 240 dakika sonunda 11,2 µm, 300 dakika sonunda 9 µm olarak tespit edilmiştir.

Albit ve kuvars kumunun değirmene besleme boyutlarındaki değişikliğe bağlı olarak d95 değerlerindeki değişimi karşılaştırabilmek amacı ile Şekil 14 çizilmiştir.



Şekil 14 Albit ve Kuvars kumu karışımının öğütülmesinde besleme boyutlarına bağlı olarak d95 değerlerindeki değişim.

Şekil 14'te görüldüğü üzere albit ve kuvars kumunun karışım halde öğütülmesinde;

-Albit: -3 mm, Kuvars Kumu: -400 mikron (karışım)

-Albit ve Kuvars Kumu: -400 mikron

tane boyutunda beslenmiştir. Şekil 2.14 incelendiğinde albit ve kuvars kumunun değirmene beslenme boyutları eşitlense bile, bir süre sonunda d95 değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Bu sonuca göre tane boyutu farklılığının sadece başlangıçtaki öğütme hızını arttırdığı, daha ince olan nihai ürün boyutuna önemli bir etkisinin olmadığı tespiti yapılmıştır. Tane boyutu azaldıkça tane boyutunu düşürmek için gereken enerjinin miktarı da buna bağlı olarak artmaktadır [9].

Albitin ve kuvars kumunun ayrı ayrı öğütülerek kullanılması durumundaki enerji tüketimi ile bu iki hammaddenin karışım halinde birlikte öğütülmesindeki enerji tüketimini karşılaştırmak amacı ile öğütme işlemlerinde yapılan enerji tüketimleri belirlenmiştir. Bu amaçla; mevcut verilere göre %60 albit (180

dakika öğütülmüş), %40 kuvars kumu (300 dakika öğütülmüş) ile hazırlanan karışımın enerji tüketimi ve albit+kuvars kumu karışımının birlikte 300 dakika öğütülmesi sonunda alınan ürünün enerji tüketim değeri 1 kg ağırlık üzerinden hesaplanarak Tablo 7 de sunulmuştur.

Tablo 7 Albitin 180 dakika, kuvars kumunun 300 dakika öğütülmesinde ve albit+kuvars kumunun karışım halde 300 dakika öğütülmesinde enerji tüketimleri.

	Öğütme süresi (Dakika)	Enerji kws/t	Toplam
Albit	180	9,43	20,66
Kuvars Kumu	300	11,23	
Karışım	300	28,48	28,48

Tablo 7 incelendiğinde karışımın 300 dakika öğütülmesi sonunda 28,48 kws/t enerji tüketilirken, tek tek öğütülen ürünlerden, farklı sürelerde alınan numuneler ile hazırlanan karışım için toplam 20,66 kws/t enerji tüketimi gerçekleşmiştir.

4. Sonuç

Yapılan çalışma kapsamında seramik sektöründe geleneksel olarak belirli bir reçete dâhilinde karışım halinde öğütülen sert hammaddelerden albit ve kuvars kumunun laboratuvar şartlarında ayrı ve karışım halinde öğütülmesinde elde edilen öğütme ürünleri boyut ve enerji tüketimleri bakımından karşılaştırılmıştır.

Yerel bir işletmeden temin edilen değirmen çıkışı öğütme ürününün elek analizi ile boyut dağılımı belirlenmiş, benzer tane dağılımına sahip laboratuvar ölçekli referans numune tespiti için albit ve kuvars kumu işletme reçetesine yakın oranlarda (%60 albit, %40 kuvars kumu) karışımı artan sürelerde öğütülmüştür. İşletmeden alınan değirmen çıkışı ürünün P80~34 µm değerine, en yakın değerin 300 dk öğütme sonunda alınan üründe P80~33 µm olduğu görülmüş ve referans numune olarak belirlenmiştir.

Öğütme çalışmalarında harcanan enerji kaydedilmiş ve 300 dakika referans numune için 35,6 kws/t enerji harcandığı tespit edilmiştir.

Ayrı ayrı yapılan öğütme deneylerinde ise en yakın P80 değerleri; Albit için 180 dakika öğütme ürününde P80~35 µm, kuvars kumu için 300 dakika öğütme ürününde P80~36 µm olduğu tespit edilmiştir.

Albitin 180 dakika öğütülmesi sonunda harcanan enerji 19,5 kws/t iken, kuvars kumunun 300 dakika öğütülmesi için harcanan enerji 35,5 kws/t olarak belirlenmiştir.

Oransal olarak hesap edildiğinde yaklaşık 1 kg karışımın öğütülmesinde 300 dakika sonunda 28,48 kws/t enerji harcanırken, ayrı ayrı yapılan öğütme işleminde toplam 1 kg karışım (albit + kuvars kumu) hazırlamak için sırasıyla 9,43 kws/t ve 11,23 kws/t enerji tüketimi gerçekleştirilmiştir. Bu verilere göre aynı şartlar altında ayrı ayrı öğütme işlemi uygulandığında yaklaşık olarak %27 tasarruf sağlanabileceği görülmektedir.

Her hammaddenin mineralojik yapısı, kimyasal ve fiziksel özellikleri ayrı ayrı ve kendine özgü olup, hepsi birbirinden farklı kırılma ve öğütme davranışları göstermektedir[17].

Kuvars kumunun ve albitin ayrı ya da birlikte 300 dk öğütülmesi sonunda enerji tüketimi değerleri nerdeyse aynıdır, ancak tek tek öğütme deneylerinde p80~35 µm değeri albitte 3 saatte elde edildiği ve karışımındaki oranı %60 olduğu düşünüldüğünde hesaplama yoluyla daha az enerji tüketilerek elde edilen bir karışım ortaya çıkmaktadır.

Seramik üretiminde ayrı öğütme uygulamasının enerji verimliliğinin yanı sıra hazırlanacak bünye çamuru için istenilen tane boyutlarında hammadde kullanabilme avantajı ile öğütme kaynaklı sorunların çözümü noktasında fayda sağlayacak bir yöntem olabileceği düşünülmektedir. Ayrı öğütmenin seramik ürünleri üzerindeki etkileri araştırılarak olumlu veya olumsuz yanları endüstriyel boyutta değerlendirilmelidir.

Kaynakça

- [1] Gao M W and Forsberg E 1993. A study on the effect of parameters in stirred ball milling. International Journal of Mineral Processing, 37: 45-59.
- [2] Bond FC. 1951. Third theory of comminution. Trans. AIME, 193: 484-494.
- [3] Mankosa M J, Adel G T and Yoon R H 1986. Effect of media size in stirred ball mill grinding of coal. Powder Technology, 49: 75-82.
- [4] Yekeler, Meftuni & Ozkan, Alper & Austin, L.G. 2001. Kinetics of Fine Wet Grinding in a Laboratory Ball Mill. Powder Technology. 114. 224-228. 10.1016/S0032-5910(00)00326-0.
- [5] İpek, H., Uçbaşı, Y., Yekeler, M., Hoşten, Ç. 2005. Dry Grinding Kinetics of Binary Mixtures of Ceramic Raw Materials by Bond Milling. Ceramics International, 31, 1065-1071.
- [6] Haner,S.,2016. Seramik sağlık malzemelerinin öğütme ve pişirme malzemelerinin kalitesine yönelik etkiler. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 293s.
- [7] Haner, S. 2021. Kuvars Kumunun Kırılma Hızının Tanımlanmasında Öğütücü Ortam Boyutunun Etkisinin Araştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (23) , 547-551 .
- [8] Umucu Y., Deniz v.,2014. The Evaluation of Grinding Behaviors of Quartz and Feldspar. The Online Journal of Science and Technology- January 2014, Volume 4, Issue 1.
- [9] Vari, A., 2004. Raw Materials Preparation and Forming of Ceramic Tiles.Sala, Modena, Italy.
- [10] Reed, J.1994.Principles of ceramic processing. United States of America.
- [11] Dağ P. 2009. Sağlık Gereçlerinde Kompozisyon Değişimlerinin Sinterleme Üzerine Etkileri. Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans 151S.
- [12] Stathis, G., Ekonomakou, A., Stournaras, C.J., Ftikosa, C., 2004. Effect of Firing Conditions, Filler Grain Size and Quartz Content on Bending Strength and Physical Properties of Sanitaryware Porcelain. Journal of the European Ceramic Society, 24,Pg. 2357-2366.
- [13] Özel, E. , Tunçel, D. , Kara, M. 2013. Sert Hammadde Tane Boyutunun Sağlık Gereçleri Porseleninin Fiziksel Özelliklerine Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi s26, Ankara.

- [14] Ruichao Zhao, Yuexin Han, Mingzhao He, Yanjun Li, Grinding kinetics of quartz and chlorite in wet ball milling, Powder Technology, Volume 305, 2017, Pages 418-425.
- [15] H. Ipek, Y. Ucbas, C. Hosten, The bond work index of mixtures of ceramic raw materials, Minerals Engineering, Volume 18, Issue 9, 2005, Pages 981-983,
- [16] Fortuna, D., 2000. Raw and Secondary Materials. Ceramic Technology Sanitaryware, Gruppo Editoriale Feanza Editrice S.P.A, 176, Feanza.
- [17] Smith, J. V., 2013. Feldspar Minerals: Crystal Structure and Physical Properties 1. Springer Science and Business Media.