

**KONVANSİYONEL VE MİKRODALGA ISITMA İŞLEMİNİN
KUARSİTİN ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

**INVESTIGATING OF CONVANTIONAL AND MICROWAVE
HEAT EFFECT ON GRINDABILITY OF QUARSITE**

M. Faruk ESKİBALCI

*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü,
Avcılar/İstanbul/TÜRKİYE*

Geliş Tarihi: 05/07/2014

Kabul Tarihi: 02/09/2014

ÖZET

Bu çalışmada ısıtma mekanizmaları bakımından birbirinden farklı olan konvansiyonel fırın ile mikrodalga fırının kuvarsitin öğütülebilirliğine olan etkisi incelenmiştir.

Numunenin kimyasal, mineralojik ve ısıl özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sırasıyla numune üzerinde XRF, XRD ve TG-DTA analizleri yapılmıştır. Tesisten getirilen numuneler iri boyutlarda olduğu için ısıl işleme tabi tutulmadan önce el ile boyut küçültme, çeneli kırıcı ile boyut küçültme ve homojenizasyon gibi ön işlemlerden geçirilmiştir.

Deneylerde numunelerin ısıtılması amacıyla; laboratuvar tipi bir konvansiyonel fırın ile ev tipi bir mikrodalga fırın kullanılmıştır. Numuneler her bir fırında farklı sıcaklıklarda, farklı güç seviyelerinde ve farklı ısıya maruz kalma sürelerinde işlem görmüş ve daha sonra bu numunelerin öğütme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Öğütme deneyleri laboratuvar tipi seramik bilyeli değirmende yapılmıştır. Her öğütme işlemi sonrası numunelerin yaş elek analizleri yapılarak kümülatif elek altı eğrileri çizilmiştir. Bu sonuçlar ısıya maruz kalmamış numunelerin aynı şartlarda yapılan öğütme işlemi sonrasında elde edilen değerleri ile karşılaştırılarak ısıl ön işlemin kuvarsitin öğütülebilirliğine olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgular ısı ön uygulamasının kuvarsitin öğütülebilirliğine olumlu bir etkisinin olmadığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Öğütülebilirlik, Kuvarsit, Konvansiyonel Isıtma, Mikrodalga Fırın

ABSTRACT

In this study, the effect of conventional oven and microwave oven which are different in the sense of heating mechanism on grindability of quartzite was analyzed.

In order to determine chemical, mineralogical and thermal properties of the sample, XRF, XRD and TG-DTA analyses were done on the sample respectively. Since the samples obtained from facility are ample,

*Sorumlu Yazar: eskibal@istanbul.edu.tr

samples were done pre-treatment such as manual size reduction, size reduction with jaw crusher and homogenization.

In order to heat the samples in the experiments; laboratory type conventional oven and domestic type microwave oven were used. Samples were treated in different temperatures, different power levels and different heat exposure duration at each ovens and then grinding experiments of these samples were done. Grinding experiments were carried out in laboratory type ceramic ball mill. After each grinding experiments, wet-sieve analyses of samples were done and cumulative undersize curves were drawn. These results were compared to the values obtained after grinding process under same conditions carried out with samples which are not exposed to heat, the effect of thermal pre-treatment of on grindability of quartzite was determined. Results show that heat pretreatment has no positive effect on grindability of quartzite.

Key words: Grindability, Quartz, Conventional Heating, Microwave oven

1.GİRİŞ

Cevher kayaç ve çimento hammaddelerinin boyutlarının küçültülmesi sadece çok büyük miktarlarda enerji ihtiyacı doğurmamakta aynı zamanda önemli derecede öğütücü ortam ve değirmen astarlarında aşınmalara da yol açmaktadır. Örneğin 1976 yılında dünya elektrik üretiminin yaklaşık %3,3'ünün kırma-öğütme faaliyetlerinde ve yine 1978 de Amerika'da üretilen enerjinin %1,3'nün boyut küçültmede tüketildiği rapor edilmektedir (Fuerstenau and Abouzeid, 2002). Bu da boyut küçültme işlemlerinde enerji verimliliğinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Madencilik endüstrisinde öğütme için gerekli olan enerji ihtiyacını azaltmak buna karşın minerallerin serbestleşme derecesini arttırmak için ısı ön işlem uygun cevherlerde ekonomik bir yöntem olarak önerilebilmektedir. Bununla beraber yapılan birçok çalışmada, ısı ön işlem ile öğütme sırasında değirmen kapasitesinin arttırılabildiği, ton cevher başına cihazdaki aşınmanın azaldığı, değirmen ürün tane boyutlarının çok daha iyi kontrol edilebildiği, şlam üretiminin ise azaltılabildiği gibi faydaları da rapor edilmektedir.

Cevher hazırlama endüstrisinde boyut küçültme işlemleri son derece enerji yoğun bir işlem olup, bu enerji tüketimi açısından önemli bir büyüklüğe ulaşabilmektedir. Boyut küçültme alanında yapılan çalışmaların pek çoğu, yüksek işletme maliyetlerini azaltmayı amaçlamıştır. Örneğin çimento endüstrisi en büyük enerji tüketen endüstrilerden biridir. Üretimin en ağırlıklı işlemlerinden biri olan öğütmede kullanılan elektrik enerjisi, harcanan toplam elektrik enerjisinin % 60'ından fazla olup, çimento üretim maliyetinin ise %30-40'ına karşılık gelmektedir(Fujimoto, 1993). Teoride ise ancak verilen enerjinin %1 kadarı yeni bir yüzey oluşturmak için kullanılabilir. Geri kalan enerji; ses, ısı, çarpışma vb. gibi dağılmaktadır. Tablo 1'de bir bilyeli değirmendeki enerji tüketim dağılımı verilmiştir (Parekh *et al.*, 1984; Jones *et al.*, 2006; Wonnacott and Wills,1990).

Malzemelerin değirmenlerde öğütülmesi enerji yoğun bir işlem olduğu için öğütülecek malzemelerin özellikleri de bu enerji tüketiminde önemli rol oynayabilmektedir. Pek çok mineral doğada saf olarak bulunmaz, ancak değerli ve değersiz minerallerin bir arada olduğu karışımlar şeklindedir. Her bir mineralin sahip olduğu farklı özellikler (kırılganlık, dilinim vb.) nedeniyle malzemenin ısıtılması sırasında da farklı davranışlar gösterebilmektedirler. Isı uygulaması ile tane ara yüzeyleri boyunca farklı gerilimler oluşabilmektedir (Yıldız ve Alp 2000; Stuchly, 1983; Güngör ve Atalay, 1999)

Tablo 1. Bir bilyalı değirmendeki enerji tüketiminin dağılımı (Parekh *et al.*, 1984)

Enerjinin Tüketildiği Yer	Tüketilen enerji içindeki %'si
Cıvata sürtünmesi(Bolt friction)	4,3
Dişli kayıpları (Gear losses)	8,0
Tamburdan kaynaklanan ısı kaybı	6,4
Hava tarafından absorbe edilen ısı	32
Küçültme sırasında absorbe edilen ısı	48,6
Boyut küçültme için gerekli enerji	0,7

Isıl uygulaması sonrasında mineral ara yüzeylerinde oluşan bu farklı gerilimler ise öğütme için gerekli olan enerji ihtiyacını azaltmakta ve minerallerin daha kolay kırılarak birbirinden ayrılmasını sağlayabilmektedir. Bunun yanında değirmen kapasitesinin arttırılabildiği, ton cevher başına aşınmanın azaldığı, değirmen ürün boyutlarının çok daha iyi kontrol edilebildiği, ince şlam üretiminin azaltılabildiği gibi faydaları da pek çok çalışmada rapor edilmektedir (Ersayın vd., 1994; Jones *et al.*, 2005; Şener ve Özbayoğlu 1996; Kingman *et al.*, 2003; Şener vd., 2004; Fitzgibbon and Vease 1990; Walde *et al.*, 2002; Walkiewicz *et al.*, 1991).

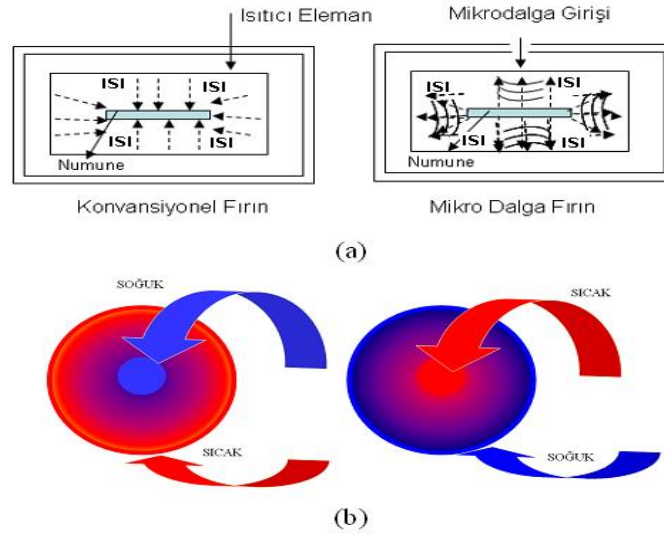
Son yıllarda öğütme verimini arttırmak amacıyla cevherlerin ısı enerjisine maruz bırakıldıktan sonra öğütme işleminin yapıldığı uygulamalar bulunmaktadır.

Mikrodalga enerjisi, 300 MHz ile 300 GHz aralığında frekansa sahip iyonize olmamış elektromanyetik ışınım (radyasyon) olup, iletişim alanında yoğun bir uygulamaya sahip olmakla birlikte; endüstriyel, bilimsel, tıbbi (ISM) uygulamalar için ancak belirli frekanslara müsaade edilmektedir (Toraman ve Depci 2007).

Mikrodalga ısıtma sistemlerinde elektromanyetik enerji doğrudan madde içerisinde ısıya dönüştüğü için mikrodalga ısıtma sistemlerinde ısı, konvansiyonel ısıtma sistemlerinin tam tersine maddenin içinden dışına doğru taşınmaktadır. Konvansiyonel ve bir mikrodalga fırında ısıtma sistemlerinin mekanizması Şekil 1'de verilmiştir (Eskibalcı,2007).

Mikrodalgalar ışık hızında yayılmakta ve kaynağı açılır açılmaz, ısıtılacak kütleye nüfuz ederek derhal enerji dönüşümünü başlatmaktadır. Kaynak kapatıldığında ise ısıtma prosesi derhal durarak uzun ısıtma ve soğutma fazlarına gereksinim duyulmamaktadır.

Mikrodalğanın başlangıçta gıda, kimya ve kağıt sanayine yönelik araştırma ve uygulamaları söz konusuysen daha sonraları cevher hazırlama ve metalürji sanayinde de kullanılması önerilmeye başlanmıştır(Toraman ve Depci 2007).



Şekil 1: Konvansiyonel ve mikrodalga fırınlarda ısıtma mekanizması

Mikrodalga enerjinin cevher hazırlama endüstrilerinde bir potansiyel olarak kullanılmaları 1960'lardan sonra seramik endüstrisindeki kurutma, kalsinasyon ve sinterleme işlemleri ile başlamıştır. Bu çalışmalar arasında Derling ve Abicht (1996), BaTiO₃ bazlı seramiklerin 2,45 GHz mikrodalga frekansında ve 1 kW mikrodalga gücünde sinterlenmesi çalışmaları, Patil *et al.*, (1992) oksit bazlı Al₂O₃-MgO ve Al₂O₃-ZrO₂-SiO₂ karışımlarının 2,45 GHz de sinterleme çalışmaları bulunmaktadır.

Güngör ve Atalay (1996) kromit cevheri ve farklı kimyasal bileşimdeki üç bakır cevheri üzerinde mikrodalga ön ısıtma uygulaması sonrasında öğütülebilirlik çalışmaları yapmışlar, bu çalışmalarda mikrodalga ısı uygulaması ile minerallerinin hızla ısıtılmasına bağlı olarak oluşan termal gerilimler nedeniyle mineral fazları boyunca mikro çatlaklar oluştuğunu ve bununla ufalamaya belli ölçülerde fayda sağladığını tespit etmişlerdir.

Kömürün öğütülebilirliğinde mikrodalga'nın etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada, %10 nem içeriğine sahip kömürlerin Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) değerlerinde (2,45 GHz, 0,90 kW ve 60 sn. uygulama süresinde) %125, 74 µm altı fraksiyonda üretilen ince ürün miktarında %118 artış sağlandığı, nem içeriğinin tane boyutundan daha çok etkiye sahip olduğu ve klasik fırında 2

saatte elde edilen olumlu sonuçların mikrodalga ile 1 dakika gibi kısa uygulama süresinde elde edildiği tespit edilmiştir (Özbayoğlu ve Depci, 2006).

2. MATERYALVE METOT

Deneylere esas olan numune İstanbul-Çatalca-Akalan bölgesinde faaliyet gösteren özel bir işletmeye ait kuvarsit ocağından temin edilmiştir. Numuneler karakterizasyon ve tane boyut küçültme testleri amacıyla İ.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarına getirilerek burada bir dizi ön işlem (elle boyut küçültme, çeneli kırıcı ile boyut küçültme ve homojenizasyon) geçirilmiştir. Numune üzerinde yapılan tüm kimyasal ve mineralojik incelemeler İstanbul Üniversitesi bünyesinde faaliyet gösteren İleri Analizler Laboratuvarında yaptırılmıştır.

2.1. Numunenin Kimyasal Analizi

Alınan temsili numune üzerinde yapılan kimyasal analiz neticesinde numunenin %97,35 SiO₂, %1,66 Al₂O₃, %0,16 Fe₂O₃, %0,13 TiO₂, %0,07 MgO, içerdiği ve K.K'nın 0,63 olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde Fe₂O₃ içeriğinin bazı cam uygulamaları için uygun fakat züccaciye üretimi için gerekli olan %0,05 değerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir (Akarsu ve Yıldırım 1999).

2.2. Numunenin Mineralojik Analizi

X-ışını toz kırınım deseni (XRD) örneğin kristal yapısı ve faz kompozisyonunu belirlemek için yapılmıştır. XRD deseni Rigaku D/Max-2200/PC model, 200 Vac 3q 20 A/50 Hz güç kapasitesine sahip bir XRD cihazında gerçekleştirilmiştir. Numunenin XRD analiz sonucu Şekil 2' de verilmiştir.

Alınan temsili numune üzerinde yapılan mineralojik analizde ana mineralin kuvars olduğu eser miktarda da demir oksit içeren minerallerin (hematit, ilmenit, turmalin) bulunduğu belirlenmiştir.

2.3. Numunenin TG ve DTA analizi

DeneySEL çalışmalarında kullanılan kuvarsit numunesinin DTA analizleri SEIKO SII TG/DTA 6300 cihazında yapılmıştır. Ölçümler 25-900 °C aralığında 10 °C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir.

Numunenin yapılan TG ve DTA analiz sonuçları Şekil 3'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde 572 °C de bir endotermik pik verdiği ve bünye suyunun bulunmaması nedeniyle %0,1 gibi çok az bir ağırlık kaybının olduğu görülmektedir. Bu da; numunenin XRF sonuçları incelendiğinde Kızdırma kaybının çok düşük (0,63) olması sonucuyla uyum göstermektedir.

2.4. Numune hazırlama işlemleri

Tesisten gelen cevher içerisinde 10-15 cm çapında iri parçalarında olması nedeniyle öğütme deneyleri öncesinde bir dizi tane boyut küçültme işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 4' de Tüvenan Kuvarsit Numunesinin fotoğrafı verilmiştir.



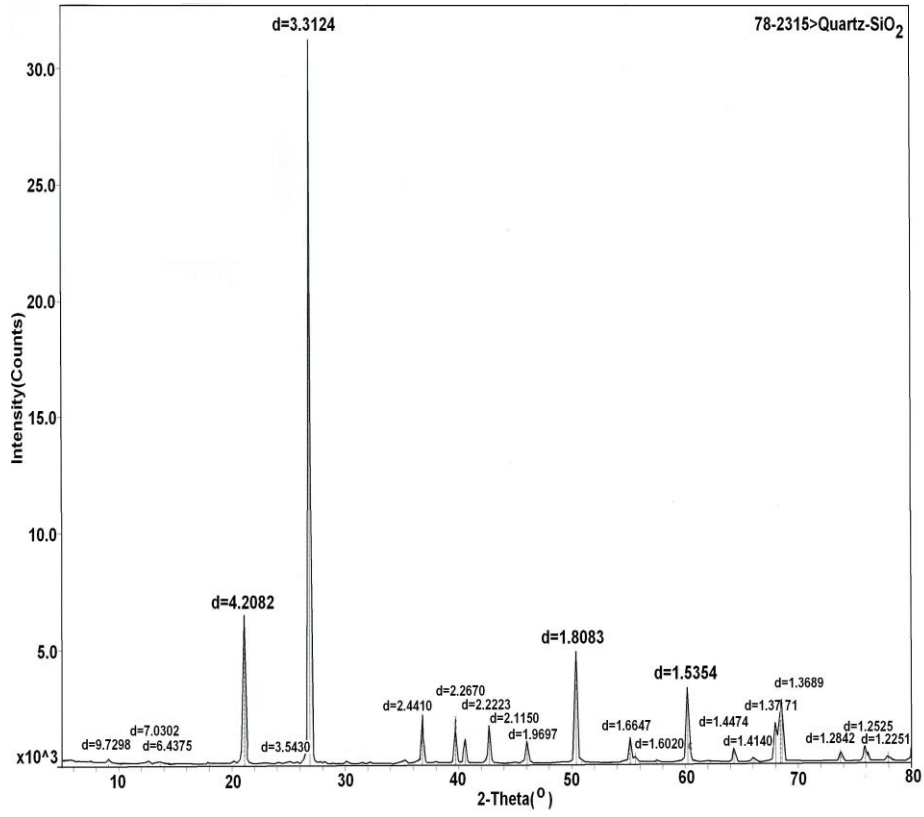
Şekil 4: Deneylere esas olan tüvenan numune

Numune hazırlama işlem kademeleri sırasıyla aşağıda verilmiştir;

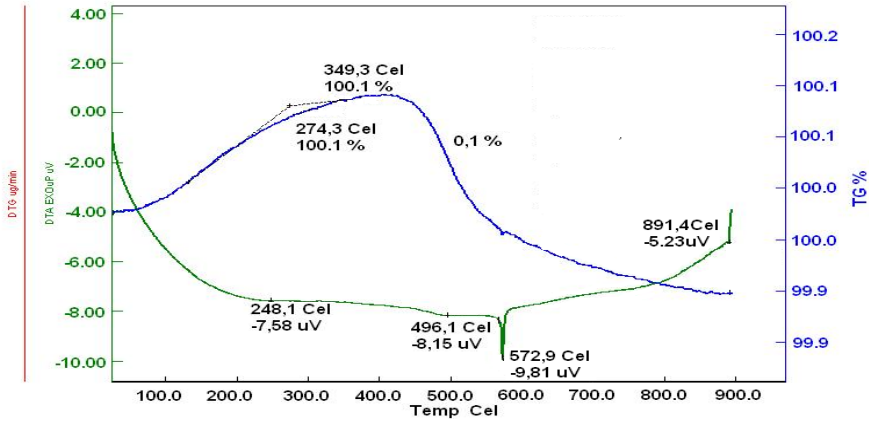
El ile kırma: Çeneli kırıcıya giremeyecek büyüklükteki numuneler çekiç yardımıyla elle kırılarak çeneli kırıcı ağız açıklığına göre boyut küçültülmesi sağlanmıştır.

Çeneli kırıcı ile kademeli kırma: Çeneli kırıcı ile kademeli kırma yapılarak numunenin tamamı 4 mm altına indirilmiştir.

Homojenizasyon: Tane boyutu 4 mm altına indirilen numune temiz bir alanda iyice harmanlanarak homojen hale gelmesi sağlanmıştır.



Şekil 2: Kuvarsit örneğine ait X ışını toz kırınım deseni



Şekil 3: Numunenin TG-DTA analizi

2.5. Tane boyut dağılım analizleri

Çeneli kırıcı ile iri tane boyutlarında küçültme ve sonrasında homojenizasyon işlemleri gerçekleştirilen tüvenan numune, öğütme deneylerine başlamadan önce tane boyut dağılımının tespit edilmesi için laboratuvar elekleri ile yaş eleme işlemine tabi tutulmuştur.

2.6. Öğütme Deneyleri

Kuvarsitin öğütülebilirliğinde ısı uygulamasının etkisini belirleyebilmek için öncelikle ısıya maruz kalmamış numuneler üzerinde farklı öğütme sürelerinde (5 dk, 10 dk, 15dk ve 20dk) bir dizi öğütme işlemi uygulanarak numunenin öğütme süresine bağlı tane boyut değişiminin nasıl olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Öğütme deneyleri seramik bilyalı değirmende kuru olarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan seramik değirmen 8 cm x 22 cm (boyxçap) ve yaklaşık 1,1 lt hacindedir.

Elde edilen verilerden yola çıkılarak öğütme süresinin tane boyutu değişimindeki etkisini görmek için kümülatif elek altı eğrileri çizilmiştir. Yine farklı öğütme sürelerinde yapılan deneylerden elde edilen veriler yardımıyla numunelerin ortalama tane boyutları da (d_{50}) belirlenmiş ve sonuçlar bir grafik üzerinde gösterilmiştir.

2.7. Isıya Bağlı Öğütme Deneyleri**2.7.1. Konvansiyonel Fırın İle Yapılan Deneyler**

Konvansiyonel ısıtmaya bağlı öğütme deneyleri maksimum 1500 °C' ye çıkabilen, PID kontrolü ile sıcaklığı hassas olarak ayarlanabilen ve homojen bir ısıtma sağlanması amacıyla fırın içerisinde hava veya gaz sirkülasyonu sağlanabilen Lenton Marka laboratuvar tipi bir fırında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan fırın Şekil 5' de verilmiştir.

Numunenin yapılan TG-DTA analizi sonucuna göre ilk endotermik pikini 572 derecede verdiği görülmektedir. Numunenin yapısının bozulmaması için uygulanacak sıcaklıkların belirlenmesinde bu değer dikkate alınarak çalışma parametreleri düzenlenmiştir. Deneylerde 175, 225, 275, 325, 375 ve 400 °C sıcaklık ile 10, 20, 30, 40 ve 50 dk ısıya maruz kalma süreleri test edilmiştir. Isıya bağlı yapılacak olan tüm deneylerde uygulanacak olan öğütme

süresinin tespit edilmesi amacıyla ısı uygulaması yapılamamış numune üzerinde 5-10-15 ve 20 dk'lık farklı öğütme süreleri test edilmiş ve öğütülen numunelerin elek analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu elek analiz sonuçları incelendiğinde 10-15 ve 20 dk'lık öğütme işlemlerinde numune tane boyutunun çok küçüldüğü ve karşılaştırmada zorluk olacağı için tane boyutu nispeten onlara göre daha iri kalan 5 dk'lık öğütme süresi deneylerde kullanılmak üzere seçilmiştir.

2.7.2. Mikrodalga Fırın İle Yapılan Deneyler

Mikrodalga ısıtmaya bağlı öğütme deneyleri maksimum 900W güç seviyesine çıkabilen, ev tipi Arçelik Marka bir mikrodalga fırınında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan fırın Şekil 6' da verilmiştir.

Cihazın sahip olduğu teknik özellikler dikkate alınarak çalışma parametreleri düzenlenmiştir. Deneylerde 180 W, 360 W, 540 W, 720 W ve 900 W güç seviyelerinde 3, 5, 7, 10, 15 ve 20 dk maruz kalma süreleri test edilmiştir. Isı uygulamasının etkisini belirleyebilmek için daha önce ısı uygulanmaksızın gerçekleştirilen 5 dk'lık öğütme deney sonuçları baz alınmış, elde edilen veriler bu sonuçlar ile mukayese edilmiştir.



Şekil 5: Deneylerde kullanılan Isıl İşlem Fırını



Şekil 6: Deneylerde kullanılan MD Fırın

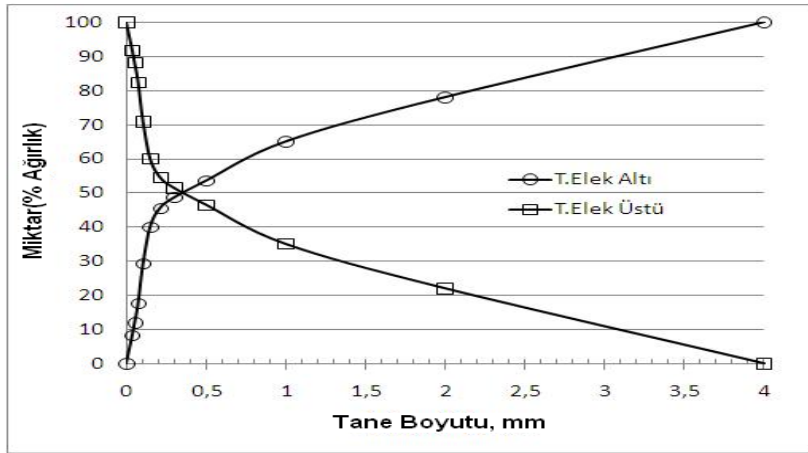
3. BULGULAR

3.1. Tane Boyut Dağılım Analiz Sonuçları

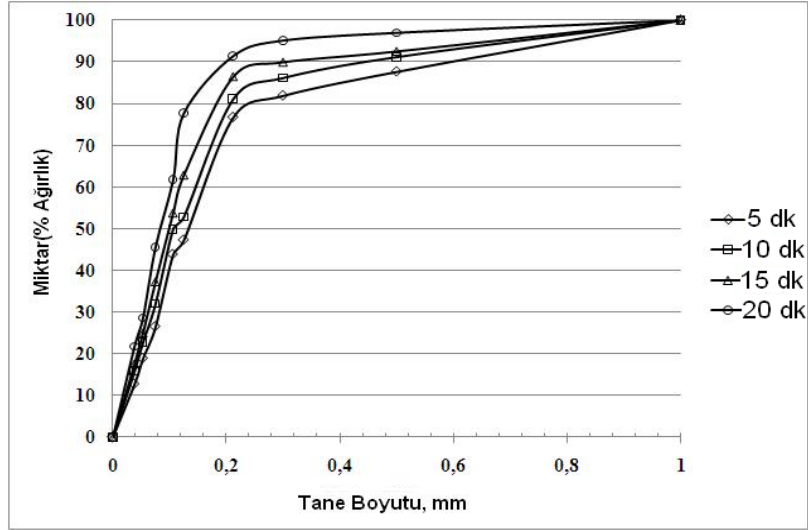
Numunenin tane boyut dağılımının belirlenebilmesi için yaş olarak yapılan elek analiz işleminden elde edilen veriler ile Şekil 7'deki kümülatif elek altı eğrileri çizilmiştir. Grafiği incelediğimizde numunenin ortalama tane boyutunun (d_{50}) 0,35 mm ve d_{80} 'inin 2,19 mm olduğu tespit edilmiştir.

3.2 Öğütme Deneyleri

Isıya maruz kalmamış numunelerin seramik bilyalı değirmende farklı öğütme süreleri ile (5 dk, 10 dk, 15dk ve 20dk) kuru olarak gerçekleştirilen öğütme deneylerinden elde edilen verilerden yola çıkılarak oluşturulan kümülatif elek altı eğrileri Şekil 8'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde; öğütme süresi arttıkça ürün tane boyutunun daha da incelendiği görülmektedir.

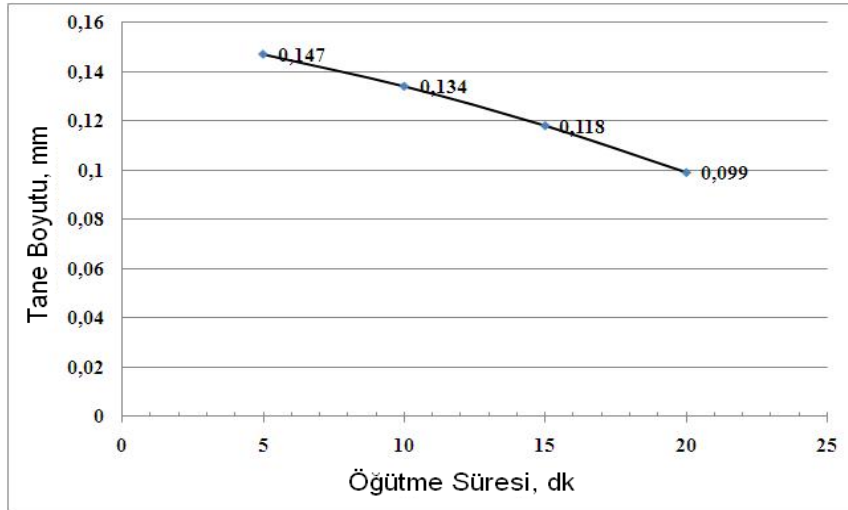


Şekil 7: Öğütme deneyleri öncesinde numunenin kümülatif elek eğrileri



Şekil 8: Isı uygulanmamış numunenin öğütme süresine bağlı tane boyut değişimi grafiği

Yine bu veriler yardımıyla numunelerin ortalama tane boyutları da (d_{50}) belirlenmiş ve sonuçlar Şekil 9'da gösterilmiştir. Eğri incelendiğinde öğütme süresinin artmasına bağlı olarak ortalama tane boyutunun azaldığı görülmektedir.



Şekil 9: Isı uygulanmamış numunenin öğütme süresine bağlı ortalama tane boyutlarının değişimi

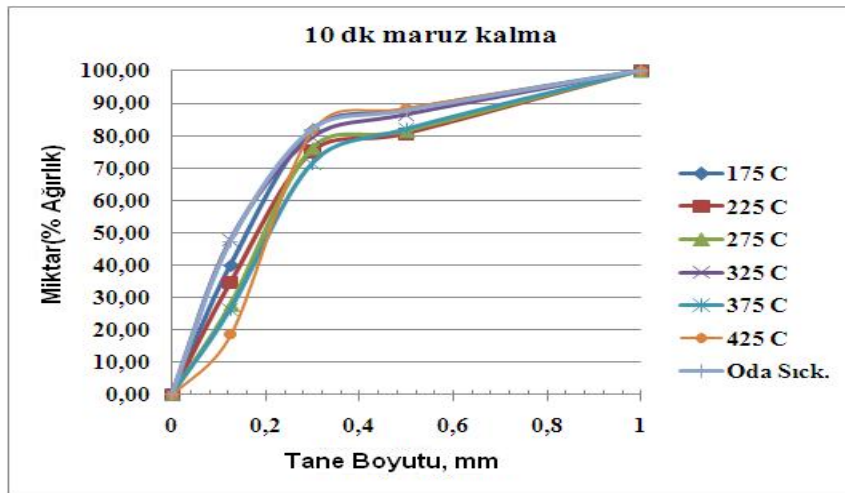
Bu elek analiz sonuçları incelendiğinde 10-15 ve 20 dk'lık öğütme işlemlerinde numune tane boyutunun çok küçüldüğü ve ısı uygulamasının öğütmeye etkisinin olup olmadığının belirlenmesi sırasında karşılaştırmada zorluk olacağı için tane boyutu nispeten onlara göre daha iri kalan 5 dk'lık öğütme süresi deneylerde kullanılmak üzere seçilmiştir.

3.3. Isıtma Sonrası Öğütme Deney Sonuçları

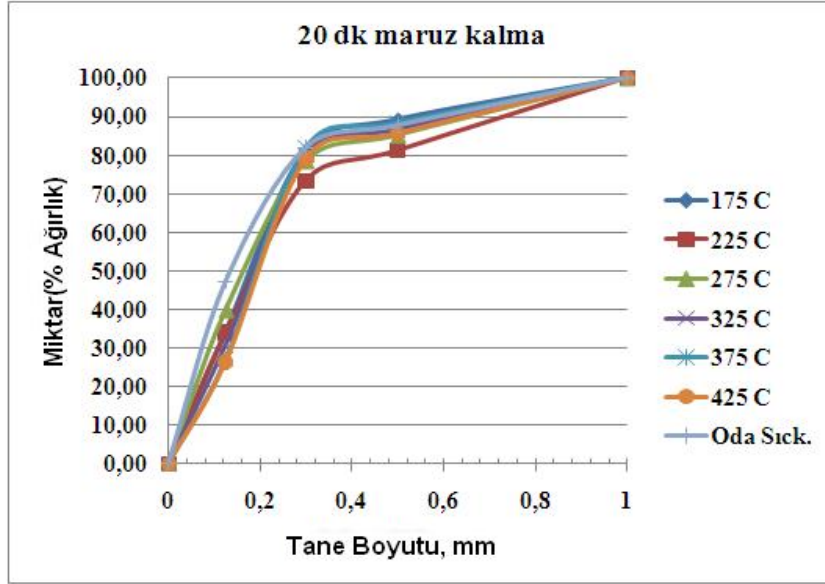
3.3.1. Konvansiyonel Fırın İle Yapılan Deneyler

Konvansiyonel fırın ile yapılacak deneyler için cihazın sahip olduğu teknik özellikler dikkate alınarak çalışma parametreleri düzenlenmiştir. Deneylerde 175, 225, 275, 325, 375 ve 400 °C sıcaklık ile 10, 20, 30, 40 ve 50 dk ısıya maruz kalma süreleri test edilmiştir. Isı uygulaması sonrasında numune bekletilmeksizin değirmene beslenerek 5 dk kuru olarak öğütülmüştür. Öğütme işlemi sonrasında numuneler yaş eleme işlemine tabi tutulmuşlardır.

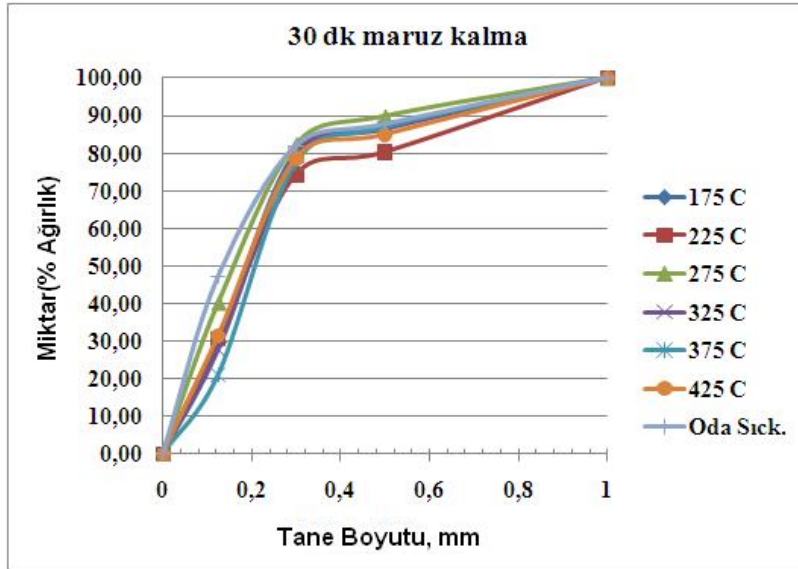
Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar yardımıyla her bir ısıya maruz kalma sürelerine bağlı olarak farklı sıcaklık değerlerinin öğütmeye olan etkisi Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'de verilmiştir.



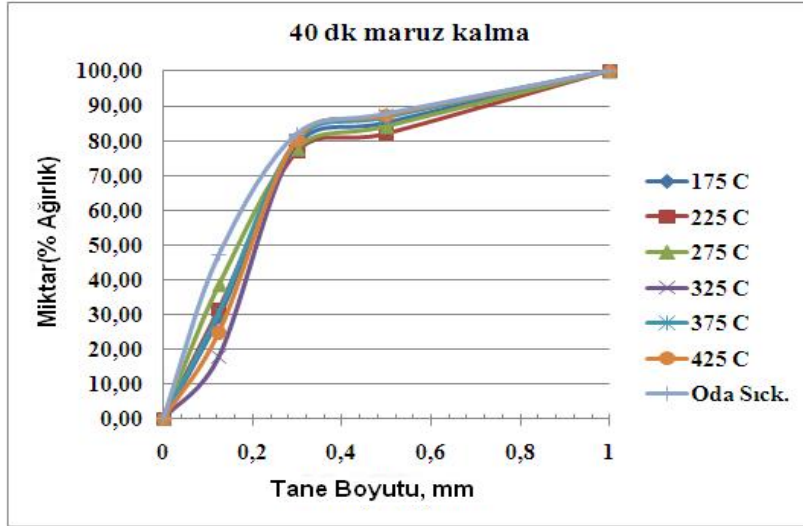
Şekil 10: Konvs. ısıtma, 10 dk maruz kalma



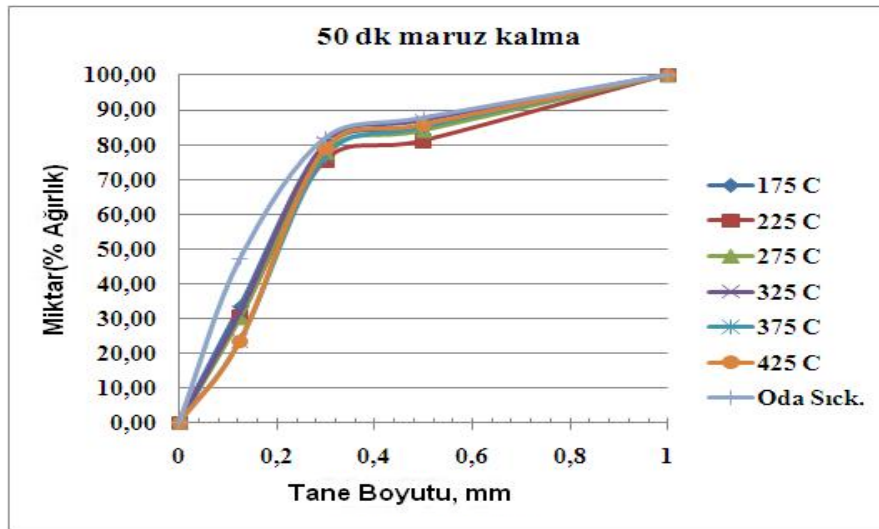
Şekil 11: Konvs. ısıtma, 20 dk maruz kalma



Şekil 12: Konvs. ısıtma, 30 dk maruz kalma



Şekil 13:Konvs. ısıtma, 40 dk maruz kalma



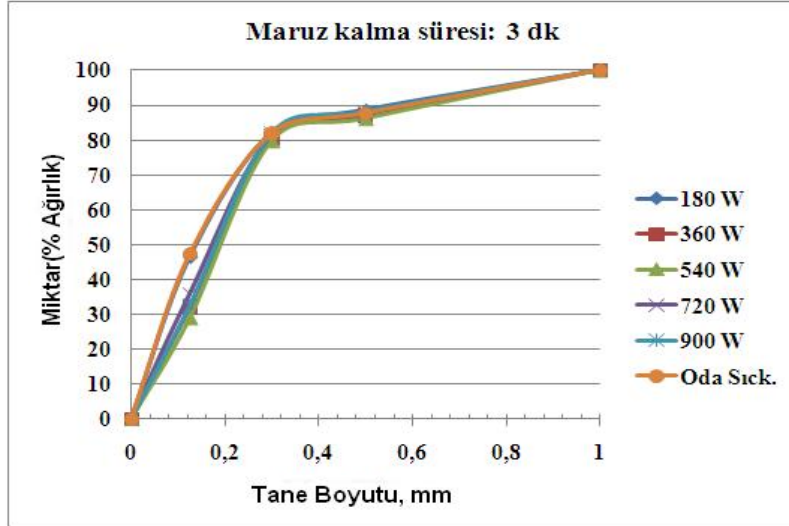
Şekil 14:Konvansiyonel ısıtma, 50 dk maruz kalma

Konvansiyonel fırında yapılan ısıya bağlı öğütme deneylerinden elde edilen tüm sonuçlar normal numunenin (ısı uygulaması olmayan) öğütme deneyi sonuçları ile genel olarak karşılaştırıldığında ısı uygulamasının kuvarsitin öğütülebilirliğine olumlu bir etkisinin olmadığı, ısı uygulamasına tabi tutulan numunelerin d_{50} tane boyutlarının ısı uygulamasına tabii tutulmayan numunenin d_{50} tane boyutuna göre daha iri tane boyutlara sahip olduğu tespit edilmiştir.

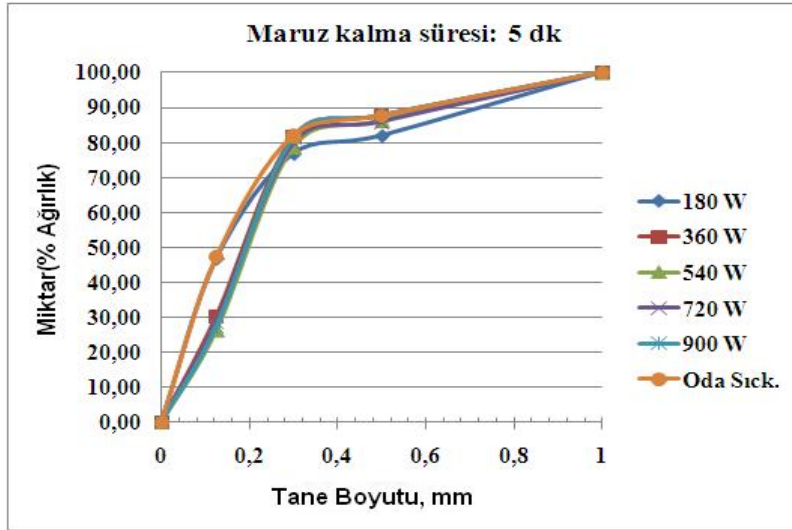
3.3.2 Mikrodalga Fırın İle Yapılan Deneyler

Cihazın sahip olduğu teknik özellikler dikkate alınarak çalışma parametreleri düzenlenmiştir. Deneylerde 180 W, 360 W, 540 W, 720 W ve 900 W güç seviyelerinde 3, 5, 7, 10, 15 ve 20 dk maruz kalma süreleri test edilmiştir. Isı uygulamasının etkisini belirleyebilmek için daha önce ısı uygulanmaksızın gerçekleştirilen 5 dk'lık öğütme deney sonuçları baz alınmış, elde edilen veriler bu sonuçlar ile mukayese edilmiştir.

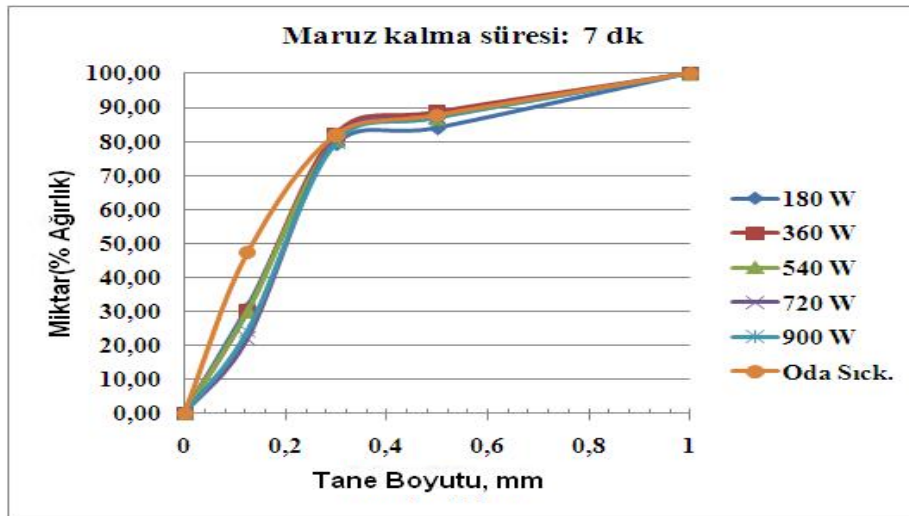
Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar yardımıyla her bir maruz kalma sürelerine bağlı olarak farklı sıcaklık değerlerinin öğütmeye olan etkisini Şekil 15, Şekil 16, Şekil 17, Şekil 18, Şekil 19 ve Şekil 20'deki kümülatif elek altı eğrilerinde verilmiştir.



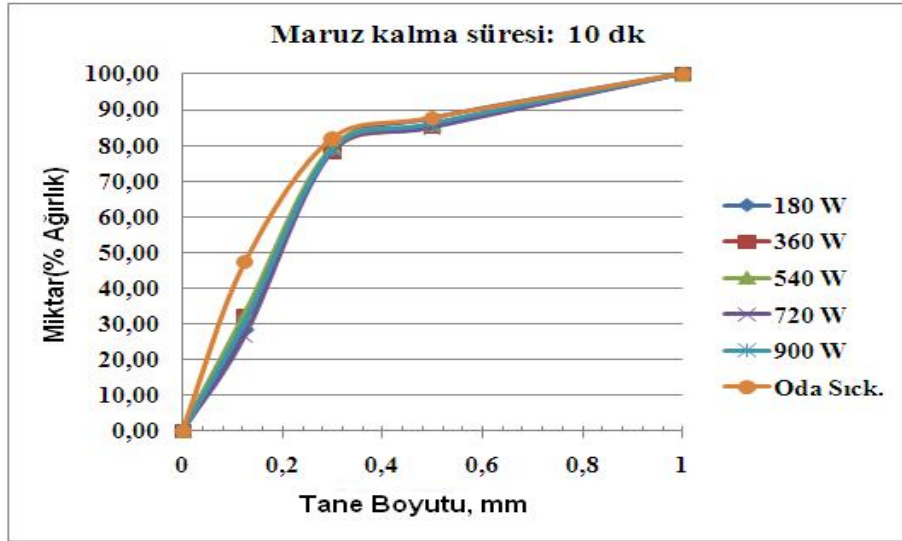
Şekil 15: Mikrodalga ısıtma, 3 dk maruz kalma



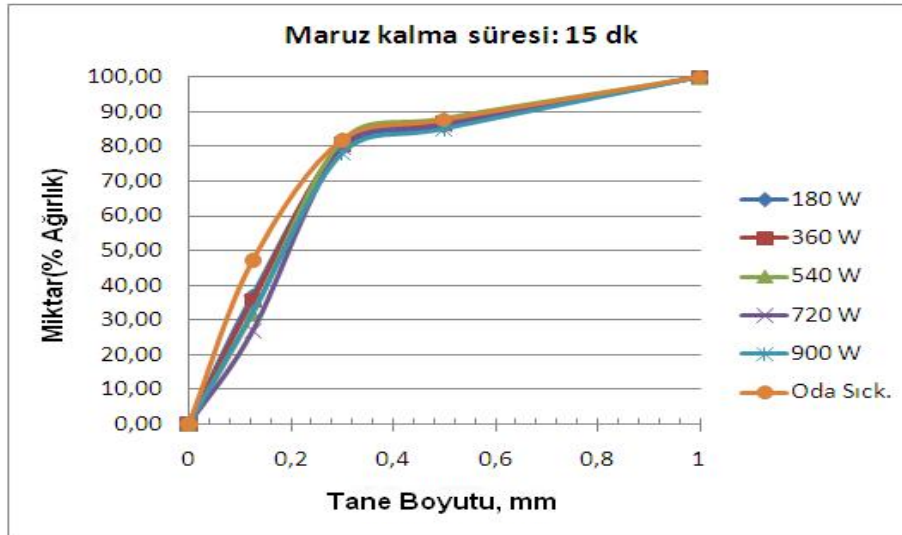
Şekil 16: Mikrodalga ısıtma, 5 dk maruz kalma



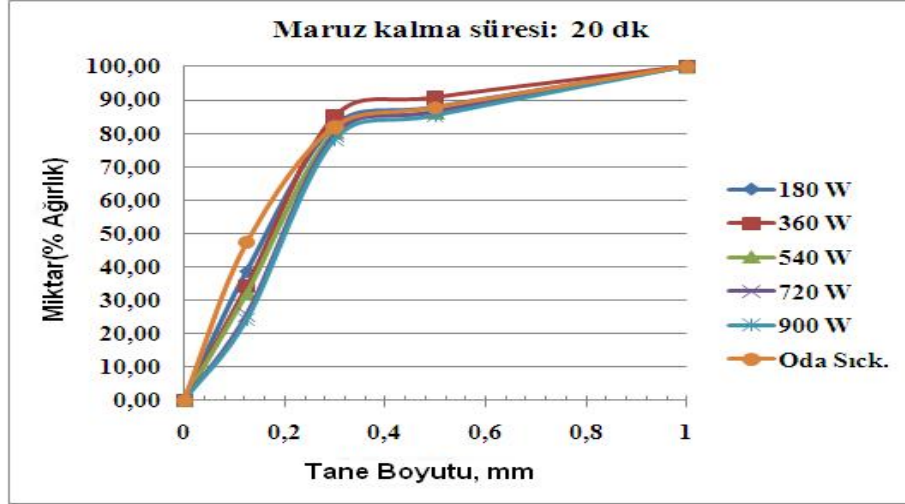
Şekil 17: Mikrodalga ısıtma, 7 dk maruz kalma



Şekil 18: Mikrodalga ısıtma, 10 dk maruz kalma



Şekil 19: Mikrodalga ısıtma, 15 dk maruz kalma



Şekil 20: Mikrodalga ısıtma, 20 dk maruz kalma

Mikrodalga fırında yapılan ısıya bağlı öğütme deneylerinden elde edilen tüm sonuçlar normal numunenin (ısı uygulaması olmayan) öğütme sonuçları ile genel olarak karşılaştırıldığında mikrodalgaya bağlı ısı uygulamasının kuvarsitin öğütülebilirliğine olumlu bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu deneysel çalışma kapsamında İstanbul-Çatalca-Akalan bölgesinde faaliyet gösteren özel bir işletmeye ait kuvarsit ocağından temin edilen numune üzerinde konvansiyonel ve mikrodalgaya bağlı ısıl ön işlemin kuvarsitin öğütülebilirliğine olan etkisi incelenmiştir.

Cihazların teknik özellikleri ve numunenin mineralojik yapısının bozulmaması dikkate alınarak farklı sıcaklık ve maruz kalma süreleri test edilerek ısıya bağlı ön işlem sonrası yapılan her bir öğütme deneyinden elde edilen veriler ısıya maruz kalmamış numunelerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak ısıl ön işlemin öğütmeye olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Isıya bağlı deneyler kapsamında konvansiyonel fırın ve ev tipi bir mikrodalga fırın kullanılmıştır. Deneylerde önceden hazırlanmış 500'er gramlık temsili numuneler kullanılmıştır. Her bir testten sonra

numuneler seramik bilyalı değirmende 5 dk öğütme deneyine tabi tutulmuşlardır. Öğütme sonrası numunelerin elek analizi yapılarak sonuçlar karşılaştırma amacıyla grafiklere aktarılmıştır.

Isıya bağlı öğütme deneylerinden elde edilen tüm sonuçlar normal numunenin (ısı uygulaması olmayan) öğütme sonuçları ile genel olarak karşılaştırıldığında ısı uygulamasının kuvarsitin öğütülebilirliğine olumlu bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Dielektrik sabiti, malzemenin mikrodalga enerjisinin içerisinde geçmesi esnasında enerjiyi içerisinde absorblama yeteneğinin bir ölçüsüdür. Kayıp faktörü ise malzemenin enerjiyi absorblamasının bir ölçüsüdür. Yüksek kayıp faktörlü malzemeler mikrodalga enerjisi ile kolaylıkla ısıtılabilir. Kuvars dielektrik özellikleri bakımından incelendiğinde kayıp faktörü çok düşük ve ısınma hızının 0,07 °C/sn (Toraman ve Depci 2007) olduğu görülmektedir. Bu da onun mikrodalgayı absorblayıcı değil geçirimli (transparan) yapıda olduğunu göstermektedir. Numunenin yapılan XRF analizinde de bünye suyunun olmaması ve kızdırma kaybının 0,63 gibi çok düşük çıkması bu sonucu teyit etmektedir.

KAYNAKLAR

- Akarsu H., Yıldırım M., 1999, Adana/Feke Kuvarsitlerinden Züccaciye Kalitesinde Cam Kumu Hazırlanması, 3 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s:34-46.
- Derling ST. and Abicht H.P., 1996, Microwave sintering of BaTiO₃-based ceramics, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, Vol. 31, No. 4, pp:221-227.
- Ersayın S., Ergün Ş. L. and Benzer H., 1994, The effects of heat treatment on grinding and liberation of chromite ores, *Progress in Mineral Processing Technology*, 5. International Mineral Processing Symposium Cappadocia/Turkey, Demirel&Ersayın (eds), pp: 33-37, Balkema.
- Fitzgibbon K.E. and Veasey T.J., 1990, Thermally assisted liberation-a review, *Mineral Engineering*, Vol:3, N:1/2, , p:181-185.
- Fuerstenau D.W. ,and Abouzeid Z.M., 2002, The energy efficiency of ball milling in comminution, *Int. J. Miner. Process.* 67, pp: 161- 185
- Fujimoto, S., 1993; "Reducing Specific Power Usage in Cement Plant", *World Cement*, (7), 25- 35.
- Güngör A. and Atalay Ü., 1996, Microwave processing and grindability, *Innovations in Mineral and Coal Processing*, 7. International Mineral Processing Symposium Istanbul/Turkey, Atak, Önal& Çelik (eds), pp:13-16, Balkema, Rotterdam.

- Jones D.A., Kingman S.W., Whittles D.N. and Lowndes I.S., 2005 , Understanding microwave assisted breakage, *Minerals Engineering* 18, p659-669.
- Jones D.A., Kingman S.W., D Whittles and I. Lowndes.S., 2006 , The influence of microwave energy delivery method on strength reduction in ore samples, *Chemical Engineering and Processing*, Volume 46, Issue 4, April 2007, Pages 291-299
- Kingman S. W., Jackson K., Cumbar E A., S Bradshaw M., Rowson N. A. and Greenwood R., 2003, Recent developments in microwave-assisted comminution, *International Journal of Mineral Processing*, Int. J. Miner. Process., volume 74, Issue:1-4, p:71-83, 19 November.
- Toraman Ö. Y., Depçi T., 2007, Kömürde Mikrodalga İle Önışlem Uygulamaları, *Madencilik*, Cilt 46, Sayı 3, Sayfa 43-53
- Özbayoğlu G. ve Depçi T., 2006; "Microwave Radiation Effect on Coal Grindability" 15th International Coal Properation Congress, October 2006, Pekin / China.
- Parekh B. K., Epstein H.E. and Goldberger W.M., 1984, Novel comminution process uses electric and ultrasonic energy, *Mining Engineering*, pp:1305-1309, September.
- Patil D., Mutsuddy B. and Garard R., 1992, Microwave reaction sintering of oxide ceramics, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, Vol. 27, No.1, pp:49-53.
- Stuchly M. A. and Stuchly S. S., 1983, Industrial, scientific, medical and domestic applications of microwaves, *IEE Proceedings*, Vol 130, No 8, pp:467502.
- Şener S. and Özbayoğlu G., 1996, Effect of heat treatment on grindability of ulexite, *Innovations in Mineral and Coal Processing*, 7. International Mineral Processing Symposium Istanbul/Turkey, Atak, Önal& Çelik (eds), pp:29-31, Balkema, Rotterdam.
- Walde S.G., Balaswamy V., Velu V. and Rao D.G., 2002, Microwave drying and grinding characteristics of weat, *Journal of Food Engineering* 55, p:271-276.
- Walkiewicz J.W., Clark A.E. and McGill S.L., 1991, Microwave-Assisted Grinding, *IEEE Transactions on Industry Application*, Vol 27, No 2, pp: 239-243, Mart/April.
- Wonnacott G. and Wills B.A., 1990, Optimisation of thermally assisted liberation of a tin ore with the aid of computer simulation, *Minerals Engineering*, v.3, issues 1-2, p.187-198.
- Yıldız K. ve Alp A., 2000., Metalurjik proseslerde mikrodalga kullanımı, *Metalurji Dergisi*, Cilt 24, Sayı:125, s.24-29.

