

MİKRODALGA ENERJİSİNİN KOLEMANİT VE ÜLEKSİTİN SUDAKİ ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF MICROWAVE ENERGY ON SOLUBILITY OF COLEMANITE AND ULEXITE IN WATER

Şafak G. ÖZKAN, M. Faruk ESKİBALCI, Can GÜNGÖREN

İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar-İSTANBUL

Yayına Geliş (Received): 04.11.09, Yayına Kabul (Accepted): 30.12.09

ÖZ: Bor madenleri genellikle sığ derinliklerden açık işletme yöntemleri ile çıkarılır ve genellikle su kullanılan cevher hazırlama yöntemleriyle zenginleştirilirler. Suyla temas eden bor minerallerinin çözünmeye bağlı kayıpları kaçınılmazdır. Bu çalışmada bor minerallerinin, konvansiyonel şartlarda ve mikrodalga enerji uygulanmasından sonra gerçekleşen sudaki çözünmesine bağlı katı kayıpları incelenmiştir. Öncelikle Balıkesir-Bigadiç yöresinden temin edilen kolemanit ve üleksit numuneleri konvansiyonel ve mikrodalga enerji uygulaması ardından suda çözüldürme işlemine tabii tutulmuştur. Deney sonuçları normal şartlarda yapılan çözünürlük deneylerinde sıcaklık artışına bağlı olarak hem kolemanit hem de üleksit numunelerinin çözünürlüğe bağlı katı kayıplarının arttığını, pülpte katı oranı artışına bağlı olarak ise azaldığını göstermiştir. Mikrodalga ön işlemlerinde ise mikrodalga güç seviyesi arttıkça çözünürlüğe bağlı katı kaybının azaldığı ve uygulanan her bir güç seviyesinde mikrodalga enerjiye maruz kalma süresi arttıkça çözünürlüğe bağlı katı kayıplarının yine bir miktar azaldığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga enerjisi, sudaki çözünürlük, kolemanit, üleksit, cevher hazırlama ve zenginleştirme

ABSTRACT: Boron mines are generally exploited from shallow depths and beneficiated by wet mineral processing methods. where due to solubility of the boron minerals that contact water are unavoidable. In this study, solid material losses due to solubility of boron minerals were investigated in conventional conditions and after the microwave energy treatment. The representative colemanite and ulexite samples supplied from Balıkesir-Bigadiç Region were dissolved in water conventionally and after microwave treatment. Experimental results showed that solid material losses of the both colemanite and ulexite samples increased while temperature increases and decreased while solid-liquid ratio increases. It is seen from the experimental results of microwave pre-treatment that solid material losses due to solubility were decreased while the microwave power increased and solid material losses were also decreased while microwave pre-treatment time increased.

Key Words: Microwave energy, solubility in water, colemantie, ulexite, mineral processing and ore dressing.

GİRİŞ

Bor elementi yer kabuğunda 10 ppm, deniz suyunda ise 3-5 ppm oranında bulunur. Bor elementine doğada tek başına rastlanmaz. Genellikle kolemanit ($2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$), üleksit ($Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 16H_2O$) gibi mineraller oluşturarak oksitli ve bazı alkali iyonları içerecek şekilde bulunur. 150'den fazla bor içeren bileşik olduğu halde çok az bir kısmı bor cevheri olarak ticari öneme sahiptir. US Bureau of Mines ve Eti Maden A.Ş.'nin

verilerine göre dünya görünür rezervi 480 milyon ton B_2O_3 'e eşdeğer 1 milyar 140 milyon ton cevherdir. Mümkün ve muhtemel rezervler de eklendiğinde bu değer; 1 milyar 303 milyon ton B_2O_3 'e eşdeğer 3 milyar 199 milyon ton cevhere çıkmaktadır. Bor madenciliği nispeten kolay ve bilinen yöntemlerle (yerüstü, yeraltı ve çözültü madenciliği) gerçekleştirilmektedir. Bor cevherleri; boyuta göre sınıflandırma, elle ayıklama, özgül ağırlığa bağlı ayırma, elektrostatik ayırma, ısıl işlemler-boyuta göre

sınıflandırma ve flotasyon yöntemleri kullanılarak; fiziksel, kimyasal ve fiziko-kimyasal yöntemlerle zenginleştirilebilir (Özkan ve diğ., 2008a).

Madenlerden çıkarılan bor cevherinin depolanması açık atmosferde gerçekleştirilmekte ve iklim koşulları özellikle yağışlara bağlı olarak değerli bor iyonlarının çözünürlüğüne etki etmektedir. Katı bor parçacıklarının kazanılmasının ardından belirli miktar bor minerali zenginleştirme prosesinin gerçekleştiği pülpde çözelti halinde kalmaktadır. Bu çözelti atık ya da artık olarak adlandırılır ve mineral rezervinin özelliklerine bağlı olarak diğer çözünebilir alkali veya asidik iyonlarla birlikte çözünebilir boratları da beraber içerir. Bu nedenle, borun sadece sudaki değil diğer alkali ve asidik ortamlardaki çözünürlük değerlerinin tespiti de parçacık çözünme mekanizmasının anlaşılması açısından önemlidir. Bu ortamlar depolama tanklarında, zenginleştirme cihazlarında ve atık havuzlarında kolaylıkla görülebilmektedir.

Bor mineralleri, zenginleştirme işlemlerinin uygulanması esnasında genellikle su ile temas halindedir. Yaş yapılan zenginleştirme işlemleri esnasında suyla temas eden borun çözünerek kayıpların yaşanması kaçınılmazdır. Bor zenginleştirilmesinde yaş ve ısı işlemler seçildiğinde çözünen bor miktarının bilinmesi kimyasal zenginleştirme, kalsinasyon, katı-sıvı ayrımı gibi proseslerin veriminin hesaplanmasında oldukça önemlidir. Bu amaç doğrultusunda, bu çalışmada; bor minerallerinin, konvansiyonel şartlarda ve mikrodalga enerji uygulanmasından sonra gerçekleşen çözünmeye bağlı katı kayıpları hesaplanmıştır. Ayrıca konvansiyonel ve mikrodalga ön işlemlerli çözümdürme işlemlerinin de mukayesesi yapılmıştır. Literatür verileri; normal şartlar altında kolemanitin sudaki çözünürlüğünün 0,81 g/l üleksitin ise 7,60 g/l olduğunu göstermektedir (Özkan, 1999, Özkan, 2000, Özkan, 2002, Özkan ve Eskibalci., 2006, Çetiner ve diğ., 2007, Eskibalci ve Özkan, 2008, Özkan ve diğ., 2008a, Özkan ve diğ., 2008b).

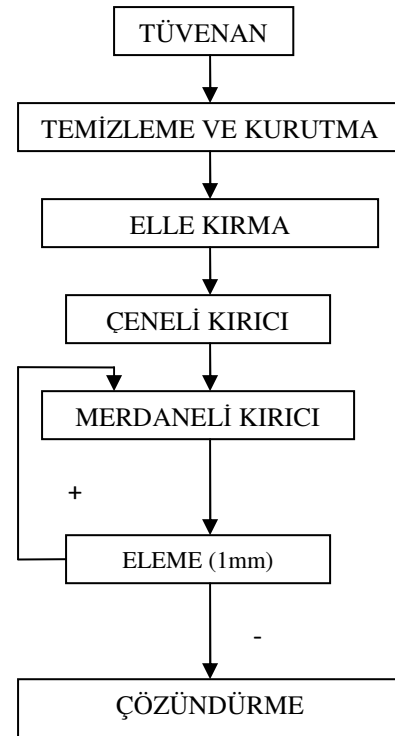
Son 25 yılda birçok araştırmacı mikrodalga enerjisini madencilik alanında kullanmıştır. Mikrodalga enerjisinin öğütme, kurutma, susuzlaştırma gibi birçok alanda uygulama potansiyelinin olduğuna değinilmiştir. İlk yatırım maliyetinin yüksek olması bir dezavantaj olmakla birlikte özellikle kurutma ve susuzlaştırma ile öğütülebilirliğe olan etkisi oldukça ilgi çekicidir (Xia ve Pickles, 1997, Haque, 1999, Yıldız ve Alp, 2000, Kingman ve diğ., 2001, Jones ve diğ., 2002,

Eskibalci, 2007, Eskibalci ve Özkan, 2008, Güngören, 2009).

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmaya konu olan kolemanit ve üleksit numuneleri Eti Maden A.Ş. Bigadiç Bor İşletmesinden temin edilmiştir. Numuneler alınırken olabildiğince saf kristaller alınmaya özen gösterilmiştir. Numuneler, yüzeylerindeki kil ve benzeri safsızlıkların giderilmesi amacıyla su ile yıkanmış ardından doğal kurumaya bırakılmışlardır. Alınan numunelerin ortalama tane boyutu 200 mm'dir. Öncelikle elle kırma işlemine tabii tutulan numuneler daha sonra 2 aşamada laboratuvar tipi bir çeneli kırıcıyla 30 mm altına indirilmiştir. Ardından kapalı devre bir merdaneli kırıcı vasıtasıyla tamamı 1 mm altına kırılmıştır. Proses akım şeması Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. DeneySEL Akım Şeması (Güngören, 2006)

Figure 1. The Experimental Flowsheet (Güngören, 2006)

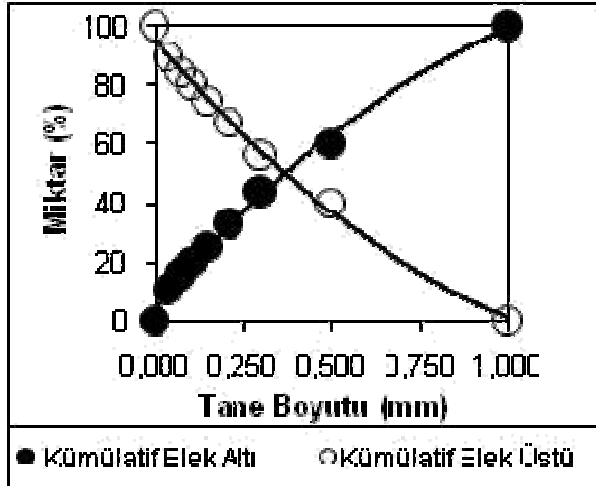
Eti Maden A.Ş.'ye bağlı Bigadiç Bor İşletmesi'nde gerçekleştirilen komple kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Numunelerin Komple Kimyasal Analiz Sonuçları (Eskibalci, 2007)

Table 1. Chemical Analysis of the Samples (Eskibalci, 2007)

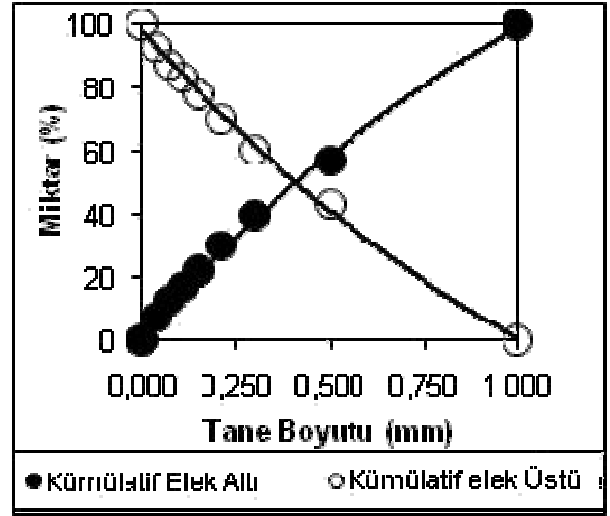
Kimyasal Bileşim (%)	Kolemanit	Üleksit
B ₂ O ₃	49,17	42,98
CaO	26,71	21,18
Na ₂ O	0,25	3,20
MgO	1,27	0,46
SiO ₂	2,95	1,78
SO ₄	0,26	0,20
SrO	0,09	0,74
Al ₂ O ₃	0,08	0,05
Fe ₂ O ₃	0,012	0,010
As (ppm)	3,030	33,33
Kızdırma Kaybı	19,01	35,50

Numunelerin tane boyut dağılımını tespit etmek için elek analizi yapılmıştır. Kümülatif elek üstü-altı grafikleri Şekil 2-3'te verilmektedir. Numunelerin elek analizinden üleksitin d₅₀ ve d₈₀ boyutlarının sırasıyla 0,350 ve 0,700 mm; kolemanitin ise 0,400 ve 0,730 mm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Üleksit Numunesine Ait Tane Boyut Dağılımı Grafiği (Güngören, 2006)

Figure 2. Particle Size Distribution Graph of the Ulexite Sample (Güngören, 2006)



Şekil 3. Kolemanit numunesine ait tane boyut dağılımı grafiği (Güngören, 2006)

Figure 3. Particle size distribution graph of the colemanite sample (Güngören, 2006)

Bu çalışmada, ayrıca, temsili kolemanit ve üleksit numunelerinin kristal yapısının belirlenmesinde XRD (X-Ray Diffractometre) teknikleri de kullanılmıştır. Numunelerin XRD analiz grafikleri Şekil 4'te verilmektedir.

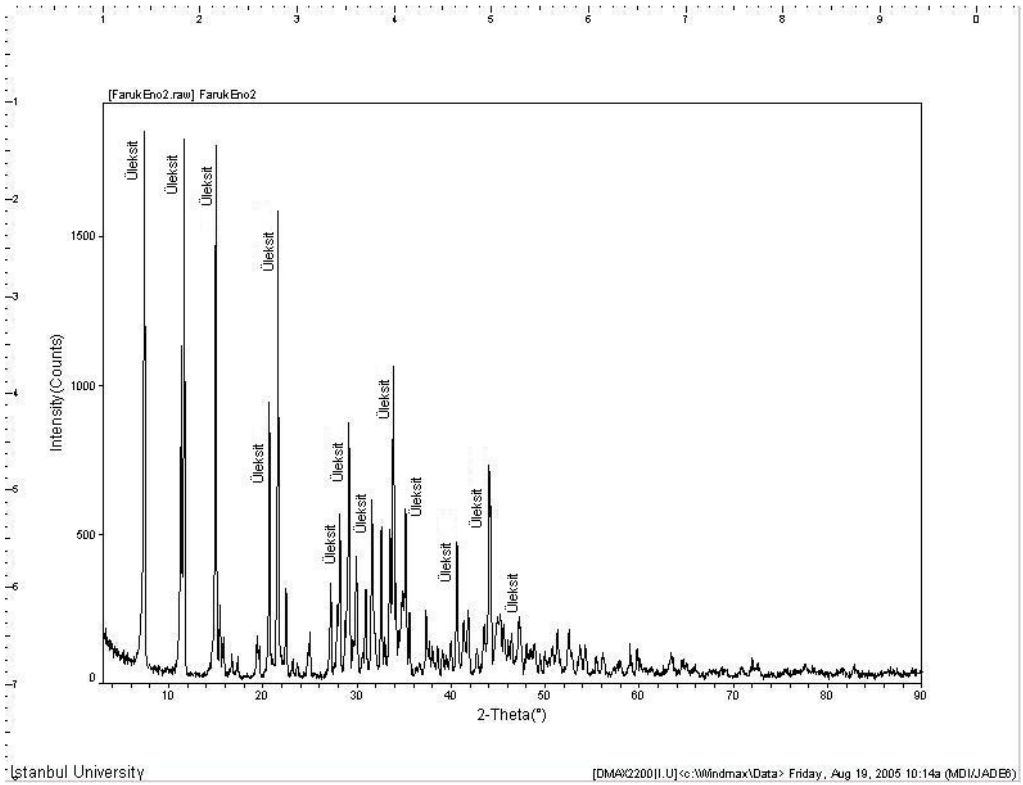
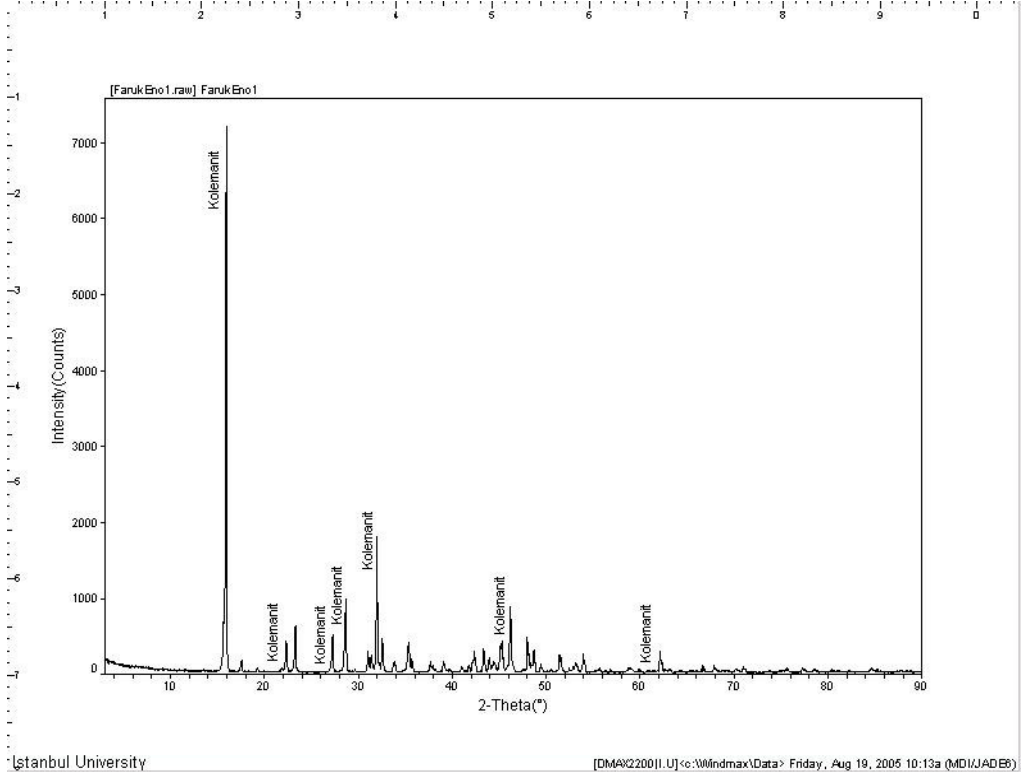
SAF KOLEMANİT VE ÜLEKSİT MİNERALLERİNİN ÇÖZÜNÜRLÜK KARAKTERLERİNİN İNCELENMESİ

Çözündürme deneylerinde çözeltinin sıcaklığı dijital bir termometre yardımıyla kontrol edilerek, sıcaklık değişiminin ± 5 °C'de kalması sağlanmıştır. Karıştırma hızı ise 120dev./dk.'da sabit tutulmuştur. Her çözelti bir vakum pompa yardımıyla filtre edilmiş ve kalıntı 55 °C'de kurutulmuştur. Kurutma sıcaklığının düşük olmasının sebebi üleksitin kristal suyunu 60-65 °C'de kaybetmeye başlamasıdır. Kurutma işleminden sonra numuneler tartılarak çözünmeye bağlı katı kayıpları hesaplanmıştır.

Temsili kolemanit ve üleksit numunelerine çözünürlük karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla 2 farklı yöntem kullanılarak çözünürlük deneyleri yapılmıştır. Bu yöntemler: Konvansiyonel çözündürme ve mikrodalga ön işlemlili çözündürme deneyleridir. Deneyler sırasında musluk suyundaki iyonların çözünme üzerindeki etkisini bertaraf etmek için distile su kullanılmıştır.

Deneylerde değişik parametrelerin çözünmeye bağlı katı kayıpları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu parametreler:

1. Sıcaklık (oda sıcaklığı-22°C , 45°C ve 60°C),
2. Katı-Sıvı Oranı (ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve %25),
3. Çözündürme Süresi (30, 45, 60, 75 ve 90 dk.)'dir.

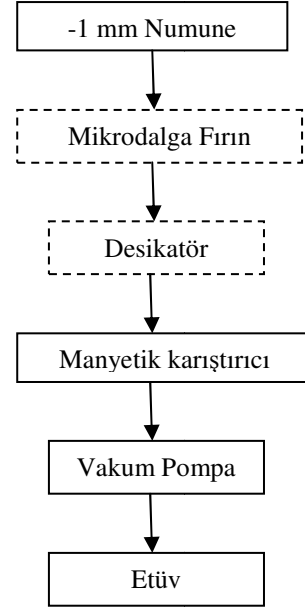


Şekil 4. Kolemanit ve üleksit numunelerinin XRD grafikleri (Eskibalci, 2007)

Figure 4. XRD Graphs of the colemanite and ulexite samples (Eskibalci, 2007)

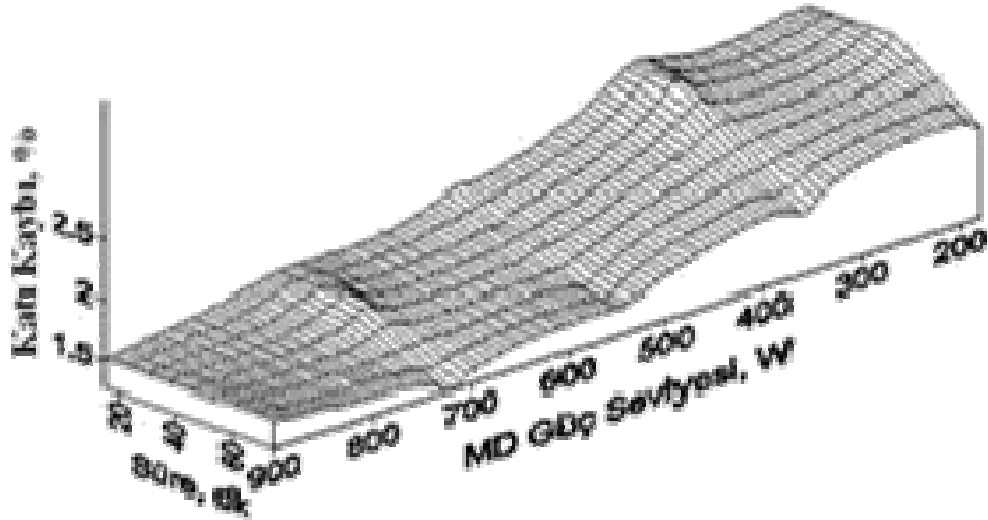
Deneylerde -1 mm tane boyutundaki numunelerden 20 gram kullanılmıştır. Mikrodalgaya bağlı çözünürlük deneylerinde kolemanit ve üleksit numuneleri ayrı ayrı 180, 360, 540, 720, 900 W olmak üzere 5 farklı mikrodalga güç düzeyinde 15, 30, 45, 60 ve 75 dk. süre ile mikrodalga enerjisine maruz bırakılmıştır. Her bir örnek mikrodalga fırından çıkartıldıktan sonra hemen tartılmış ve ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Buradan bünye suyunun hangi oranda uzaklaştığı da belirlenmeye çalışılmıştır. Havadan nem almayacak şekilde bir desikatörde soğutulan numuneler daha sonra normal çözündürme deneyleri ile karşılaştırma yapılabilmek için seçilen %10 pülpte katı oranı, 60 dk. çözündürme süresi ve normal su sıcaklığında sabit karıştırma hızı ile seri çözündürme deneylerine tabi tutulmuşlardır. Konvansiyonel ve Mikrodalga ön işlemlili çözündürme deneylerinin akım şeması Şekil 5'te verilmiştir.

Deneylerden elde edilen, mikrodalga güç seviyesi ve süreye bağlı çözünürlük % katı kaybı değişimleri 3 boyutlu grafikler kullanılarak Şekil 6-7'de; konvansiyonel çözündürmenin uygulandığı deneylerden elde edilen pülpte katı oranı ve çözündürme süresine bağlı çözünürlük % katı kayıpları ise Şekil 8-13'te görülmektedir.



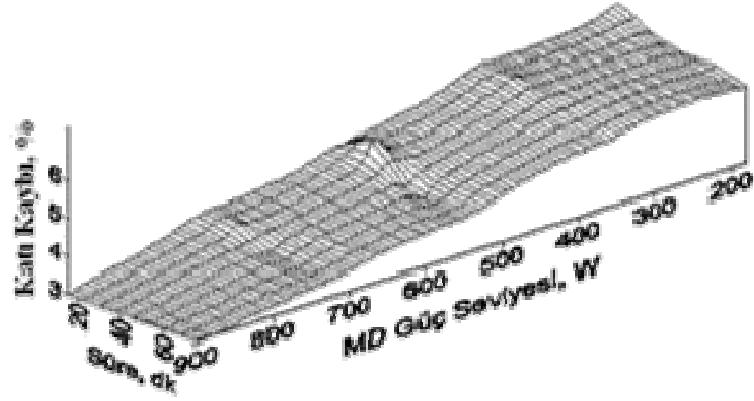
Şekil 5. Konvansiyonel ve mikrodalga ön işlemlili çözündürme deneyleri akım şeması (Eskibalıcı, 2007; Güngören, 2009)

Figure 5. Flowsheet of the conventional and microwave pre-treated dissolution tests (Eskibalıcı, 2007; Güngören, 2009)



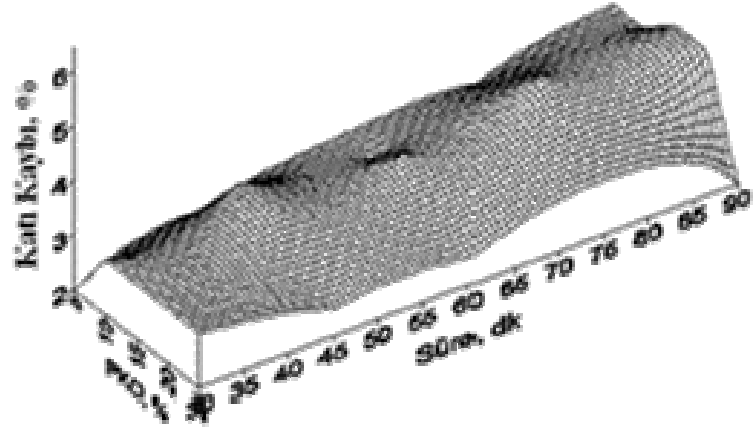
Şekil 6. Mikrodalga ön işleme tabii tutulmuş kolemanitin maruz kalma süresi ve mikrodalga gücüne bağlı çözünürlük % katı kaybı değişimi

Figure 6. Variation of the material loss % of the pre-treated colemanite due to the residence time and microwave power



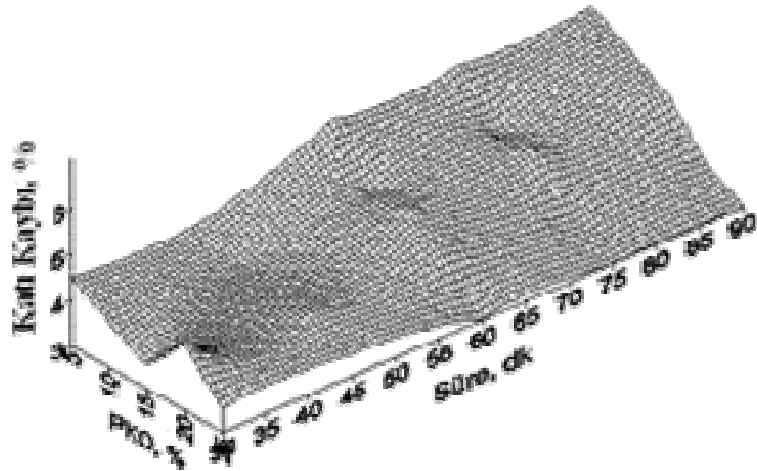
Şekil 7. Mikrodalga ön işleme tabii tutulmuş üleksitin maruz kalma süresi ve mikrodalga gücüne bağlı çözünürlük % katı kaybı değişimi

Figure 7. Variation of the material loss % of the pre-treated ulexite due to the residence time and microwave power



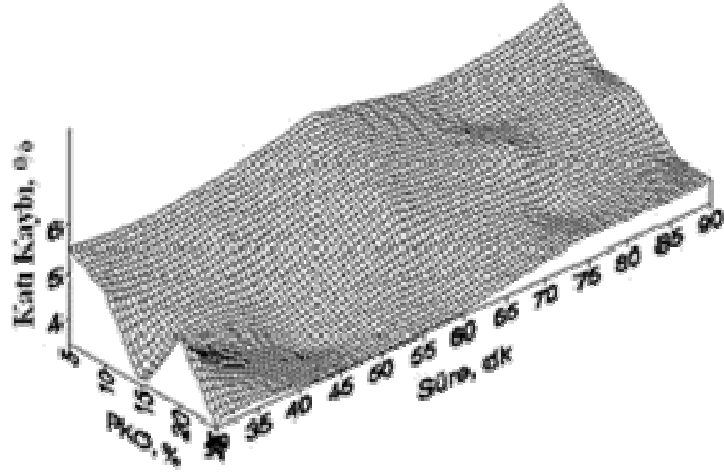
Şekil 8. Konvansiyonel çözüdürmeye tabii tutulmuş kolemanitin oda sıcaklığında, pülpte katı oranı ve çözüdüreme süresine bağlı çözünürlük % katı kaybı değişimi

Figure 8. Variation of the material loss % of the conventionally dissolved colemanite due to pulp ratio and residence time at ambient temperature



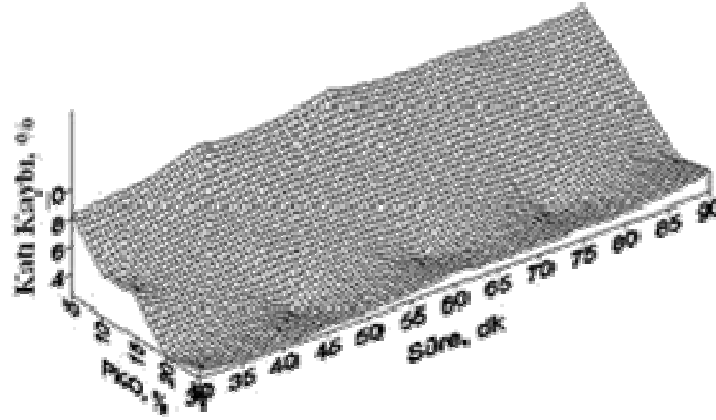
Şekil 9. Konvansiyonel çözüdürmeye tabii tutulmuş kolemanitin 45 °C sıcaklıkta, pülpte katı oranı ve çözüdüreme süresine bağlı çözünürlük % katı kaybı değişimi

Figure 9. Variation of the material loss % of the conventionally dissolved colemanite due to pulp ratio and residence time at 45°C



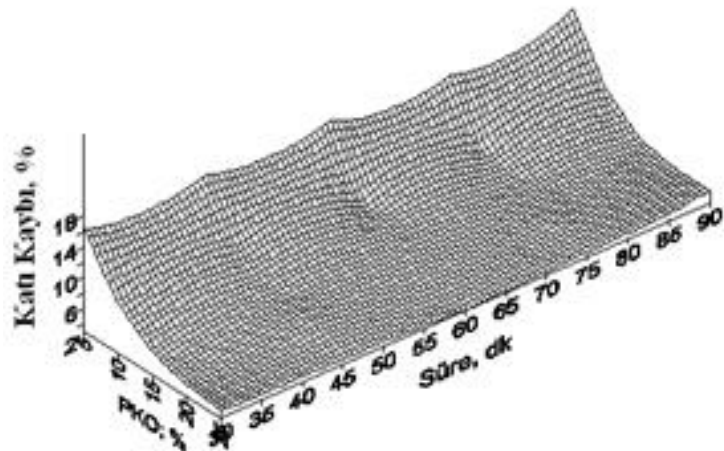
Şekil 10. Konvansiyonel çözündürmeye tabii tutulmuş kolemanitin 60 °C sıcaklıkta pülpte katı oranı ve çözündürme süresine bağlı çözünürlük % katı kaybı değişimi

Figure 10. Variation of the material loss % of the conventionally dissolved colemanite due to pulp ratio and residence time at 60°C

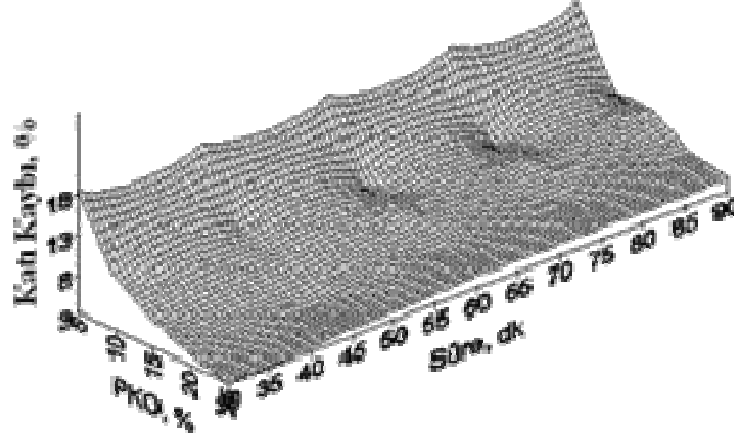


Şekil 11. Konvansiyonel çözündürmeye tabii tutulmuş üleksitin oda sıcaklığında, pülpte katı oranı ve çözündürme süresine bağlı çözünürlük % katı kaybı değişimi

Figure 11. Variation of the material loss % of the conventionally dissolved ulexite due to pulp ratio and residence time at ambient temperature



Şekil 12. Konvansiyonel çözündürmeye tabii tutulmuş üleksitin 45 °C sıcaklıkta, pülpte katı oranı ve çözündürme süresine bağlı çözünürlük % katı kaybı değişimi

Figure 12. Variation of the material loss % of the conventionally dissolved ulexite due to pulp ratio and residence time at 45°C**Şekil 13.** Konvansiyonel çözündürmeye tabii tutulmuş üleksitin 60°C sıcaklıkta, pülpte katı oranı ve çözündürme süresine bağlı çözünürlük % katı kaybı değişimi**Figure 13.** Variation of the material loss % of the conventionally dissolved ulexite due to pulp ratio and residence time at 60 °C

SONUÇLAR

Grafikler (Şekil 7-13) incelediğinde; kolemanitin sudaki en yüksek çözünürlük % katı kaybının; %5 pülpte katı oranı ve 60 °C pülp sıcaklığı ile 60 dakika çözünme süresinde %6 olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Üleksite ait grafikleri incelediğimizde de sudaki en yüksek çözünürlük % katı kaybının %5 pülpte katı oranı, 60 °C pülp sıcaklığı ve 30 dakika çözünme süresinde %18,5 olarak elde edildiği tespit edilmiştir.

Normal şartlarda yapılan çözünürlük deneylerinde sıcaklık artışına bağlı olarak hem kolemanit hem de üleksit numunelerinin çözünürlük % katı kayıpları artmış, pülpte katı oranı artışına bağlı olarak da bir azalma eğilimi göstermiştir.

Mikrodalga güç seviyesi arttıkça çözünürlüğe bağlı % katı kaybının azaldığı ve uygulanan her bir güç seviyesinde mikrodalga enerjiye maruz kalma süresi arttıkça çözünürlüğe bağlı % katı kayıplarının yine bir miktar azaldığı görülmektedir.

Orijinal numune ile mikrodalga enerjiye maruz kalmış numunenin çözünürlük değerlerinin mukayese edilebilmesi için baz alınan çözündürme şartları; %10 pülpte katı oranı, 60 dk çözündürme süresi ve normal su sıcaklığıdır (22 °C). Konvansiyonel şartlarda yapılan deneylerde kolemanit ve üleksitin çözünürlük % katı kaybı değerleri sırası ile %3 ve %7,5 olarak bulunmuştur. Aynı çözündürme şartlarında farklı mikrodalga enerji seviyelerine maruz kalmış numunelerin çözündürme deneylerinde elde edilen en düşük çözünürlük % katı kaybı değerleri kolemanit ve üleksit mineralleri için sırası ile %1,25 ve %3 olmuştur. Bu değerler kolemanit için en düşük 720 W mikrodalga güç

seviyesi ve 75 dk maruz kalma süresinde elde edilirken, üleksit için ise yine en düşük 900 W mikrodalga güç seviyesi ve 15 dk maruz kalma süresinde elde edilmiştir.

SUMMARY

Colemanite and ulexite are commercially preferable borate minerals. They are respectively chemically defined as $2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$ and $Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 16H_2O$ respectively and exploited for their high borate content in their pure forms.

Dissolution basics of boron minerals has been investigated by several researchers in terms of chemistry and physics kinetics. Determination of solubility value or dissolution rate is extremely crucial for the mining and mineral processing industry as wet processes are generally preferred for beneficiation of these types of borates.

Boron minerals are usually beneficiated by wet methods and storage of mined borate ore is carried out in an open atmosphere and climate conditions certainly affect dissolution of borate ions especially due to rain. The solid material losses due to solubility of the boron minerals that contact water are unavoidable.

In this study, the solid material losses due to solubility of the boron minerals were investigated in conventional conditions after the microwave energy treatment. The representative colemanite and ulexite samples which are taken from Balıkesir-Bigadic Region were dissolved in water conventionally and after microwave treatment.

Experimental results show that the maximum solid material loss of colemanite is 6% at 5 % solid-liquid ratio, 60 minutes residence time and 60 °C for

ulexite this ratio reaches 18.5% at 5 % solid-liquid ratio, 30 minutes residence time and 60 °C.

Solid material losses of both of the colemanite and ulexite samples increase with temperature and decrease while solid liquid ratio increases.

Solid material losses increase with microwave power and decrease while pre-treatment time increases at every microwave power level.

The comparison conditions of the conventional and microwave pre-treated samples are 10 % solid-liquid ratio 60 minutes residence time and room temperature. The solid material losses of colemanite and ulexite in conventional conditions are sequentially found 3 % and 7.5%. The minimum solid loss of the the samples which are pre-treated in the same conditions but in different microwave power levels is 1.25% for colemanite and 3% for ulexite. These values are reached in 720 W and 75 minutes for colemanite and 900 W 15 minutes for ulexite.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Çetiner, Z., Xiong, Y.L., Özkan, Ş.G., 2007**, Experimental Determination of Equilibrium Solubility Quotients of the Natural Colemanite in NaCl Solutions up to 2.0 M, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71 (15) A155-A155 Suppl. S Aug.
- Eskibalci, M.F., 2007**, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirmede Mikrodalga Enerjisinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Eskibalci, M.F., Özkan, Ş.G., 2008**, Mikrodalga Enerjisinin Cevher Hazırlamadaki Uygulamaları Ve Bor Minerallerinin Öğütülebilirliğine Olan Etkilerinin İncelenmesi, İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi. (Baskıda)
- Güngören, C., 2006**, Ultrasonik ve Mikrodalga Enerjisinin Bor Minerallerinin Çözünürlüğüne Etkilerinin Araştırılması, Lisans Tezi, İ.Ü. İstanbul.
- Güngören, C., 2009**, Ultrasonik ve Mikrodalga Enerjilerinin Kolemanit Flotasyonunda Ön İşlem Olarak Kullanma Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü., İstanbul.
- Haque, K.E., 1999**, Microwave Energy For Mineral Treatment Processes – a brief review, *international Journal of Mineral Processing*, vol 57, pp: 1-24.
- Jones, D.A., Kingman, S.W., Lelyvel, T.P., Mavrofidis, S.D. and Miles, N.J., 2002**, Microwave Heating Applications in Environmental Engineering – A Review *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 34 pp 75-90.
- Kingman, S.W., Vorster, W. and Rowson NA, 2001**, The Effect of Microwave Radiation Upon The Processing of Neves Corvo Copper Ore, *International Journal of mineral Processing*, vol. 63, 1, 29-44.
- Özkan, Ş.G., 1999**, A Practical Approach to Solubility of Colemanite Ores, *The Institution of Mining and Metallurgy Transactions, Section C*, 108, C53-C55.
- Özkan, Ş.G., 2000**, Investigation of Solubility Parameters Prior to Processing of Kestelek Colemanite, *Proc. 8th Int. Mineral Processing Symposium*, Antalya, 545-548, Balkema, Rotterdam.
- Özkan, Ş.G., 2002**, Material Characterization Test Prior to Colemanite Flotation, *Proc. 1st Int. Boron Symposium*, 41-47, Kütahya.
- Özkan, Ş.G., Çebi, H., Delice, S., Doğan, M., 1997**, Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madenciliği, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempzyumu, 224-228, İzmir.
- Özkan, Ş.G., Eskibalci, M.F., 2006**, Mikrodalga Enerjisinin Hidrate Bor Minerallerinin Sudaki Çözünürlüğüne Etkisinin Araştırılması, *proc. 3rd Int. Boron Symposium*, 253-258, Ankara.
- Özkan, Ş.G., Güngören, C., Eskibalci, M.F., 2008a**, Effects of Ultrasonic Energy on Solubility of Colemanite and Ulexite, *proc. 11th Int. Mineral processing Symposium*, 823-828, Antalya.
- Özkan, Ş.G., Kuyumcu, H.Z., Önal, G. 2008b**, A Recent Outlook for Borates Mining and Industry in Turkey, *World of Mining-Surface & underground*, 60 (1) 43-47, January-February, GDMB Medienverlag.
- XIA, D.K. and Pickles, C.A., 1997**, Applications of Microwave Energy in Extractive Metallurgy, A Review, *CIM Bulletin*, Volume 90, No: 1011, pp: 96-107.
- Yıldız, K. ve Alp, A. 2000**, Metalurjik Proseslerde Mikrodalga Kullanımı, *Metalurji Dergisi*, Cilt 24, Sayı:125, s. 24-29.