

Pirit ile Mikrodalga Piroliz için Mikrodalga Fırın Tasarımı

Microwave Furnace Design for Microwave Pyrolysis by Pyrite

Yıldırım İsmail Tosun

Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak

ÖZET Güneydoğu Anadolu bölgesinde Ergani ve Siirt bakır yataklarından bakır konsantresi üretilirken pirit atıkları ve yüksek piritli atıklar açığa çıkmaktadır. Bunlar süpürme flotasyonu atıkları ve konsantratör atıkları olarak alınmaktadır. Ergani bakır konsantratörü yaklaşık olarak yıllık 350 bin tonluk pirit atığı sülfürik asit üretimine gönderilirken, Siirt de milyonlarca tonluk pirit içeren tesis atıkları oluşmaktadır. Bu atıklar kömürlerin mikrodalga fırın içerisinde pirolizi için değerlendirilebilir. Bant türü mikrodalga fırın tasarımı ile Şırnak Asfaltitleri bünyesindeki mikron boyutunda ve makro boyutlu pirit mineral içeriği mikrodalga ile pirolizi sağlamaktadır. Bu çalışmada % 8 pirit içeren Şırnak Asfaltiti ve Tunçbilek linyit kömürü bant tipi mikrodalga ile 500°C de pirolize tabi tutulmuştur. Nem, uçucu madde çıkışı gözlenmiş ve daha temiz kömür ürün elde edilmiştir. Ayrıca yanabilir kükürt miktarı %23 oranında azalmıştır.

ABSTRACT In the Southeastern Anatolian Region of Turkey, in Ergani Elazığ and Siirt Şırvan copper ore concentrators, containing the pyrite and the high pyrite content discarded is received as pyrite concentrate from concentrating copper by flotation swept and waste products. Ergani Concentrator produce the pyrite concentrate by product about 350 thousand tons for sulfuric acid production and about 1,700 thousand tons of pyrite waste sent to dispose, Siirt Şırvan copper pyrite is not also evaluated. These pyrite waste products both should be evaluated by the microwave pyrolysis of Turkish Lignites and Şırnak Asphaltite which contains approximately 8% coal pyrite at separately disseminated micron and macro sized. The shale and clay content was also separated selectively in this microwave processing in terms of high carbon contents. In this study, samples are subjected to microwave pyrolysis by roasting of pyrite waste and subsequently pelletized coal samples were subjected to microwave pyrolysis by pyrite at 500°C. Extraction of moisture and volatile matter improves cleaning of coal types for lignites and Şırnak asphaltite at certain degree. The sulfur contents were also decreased at 23% for Şırnak Asphaltite.

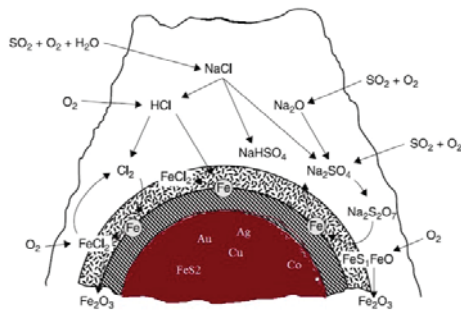
1 GİRİŞ

Ergani Elazığ ve Siirt Sirvan piritli bakır cevheri flotasyon ile konsantre edilmektedir. Konsantratör de süpürme devresinde atık piritli -74 mikron ve daha ince şlam boyutta olmaktadır. Genellikle Ergani Konsantratörü pirit konsantre ürün sülfürik asit üretimine gönderilmektedir ve ayrıca 1,700 bin ton atık tumba atık sahasına gönderilir. Bu atık ürünler hem bakırca ve diğer metal içerikleri açısından hem de metal Co ve Ag içerikler açısından değerlendirilmelidir. Bu çalışmada kullanılan numuneler iri +10mm lik pirit atık

peleti mikrodalga etkileşim için fırına konmaktadır. Kömürün pirolizi için ağırlık olarak eş değer miktarda piroliz hücrelerine kömür tozu ile mikrodalga etkileşim karışım üzerine uygulanmıştır.

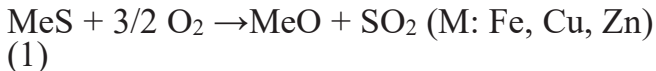
Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin pirit atıklarının tercih edilmesinin asıl nedeni yüksek tenörlü yataklardan oluşmasıdır. Siirt Şırvan da kısmen % 2-4 Cu ihtiva eden kompleks bakır sülfür cevherinden yüksek piritli atık çıkabilmektedir. Benzer şekilde de Ergani ve Hakkari, bakır, kurşun, çinko sülfür yataklarında pirit büyük bir rezerv dağılımı göstermektedir. Bu çalışmada Tunçbilek

mümkün olmayayan atık veya fakir demir cevherleri manyetit ve hematit içeren fakir cevherler bu yöntemle faydalı hale getirilebilmektedir. Isı taşıyıcı ve iletici sentetik malzeme olabilmektedirler (Standish vd., 1990, Standish vd., 1991 (VanWyk vd. 1998 Veasey vd. 1990, Walkiewicz vd. 1991, Walkiewicz 1988) ve mikrodalga fırın içerisinde kömürün kurutulması ve pirolizi mümkün olmaktadır. Yaygın olarak malzeme kurutmada mikrodalga endüstriyel fırınlar ekonomik ve avantajlı olduğu tespit edilmiştir (Metaxas vd., 1983, Ma ve Pickles 2003). Özellikle kömürlerin niteliklerinin geliştirilmesinde mikrodalga prosesleri ekonomiye fayda sağlayacaktır.



Şekil 2. Mikrodalga etkisi altında piritin kesitinde oluşan oksidasyon reaksiyonları.

Mikrodalga radyasyonu altında metal sülfür mineralleri kolaylıkla aşağıdaki reaksiyona göre oksitlenmektedir. Sıcaklıklar mineral türüne bağlı olarak aşağıdaki çizelgede olduğu gibi kısa sürede 700°C - 1000°C üzerine çıkabilmektedir. Silikat içeriği ancak 200°C çıkabilmektedir.



2 MALZEME VE METHOD

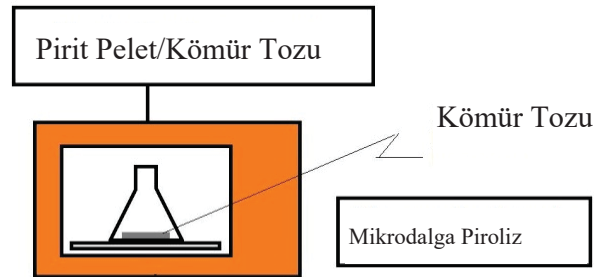
Testlerde kullanılacak pirit atık 350 °C 'de 4 saat boyunca 10mm lik pellet olarak soğuk bağlanmıştır. Erlenmeyer konik flask içersine 50 gr toz kömür ve 50 gr pirit peleti katılarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kömürlerin kısa analizi aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan Tunçbilek linyiti ve Şırnak Asfaltitinin kısa analizleri.

Kömür Türü	Kül%	Nem%	Fe%	SiO2,%	Kümülatif Porosite %	Reaktivite,%
Tunçbilek Linyiti	0,7	37,4	0,33	3	2,2	16
Şırnak Asfaltiti	1,2	33,2	0,22	2	1,3	22

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan atık pirit numunelerinin kimyasal bileşimi

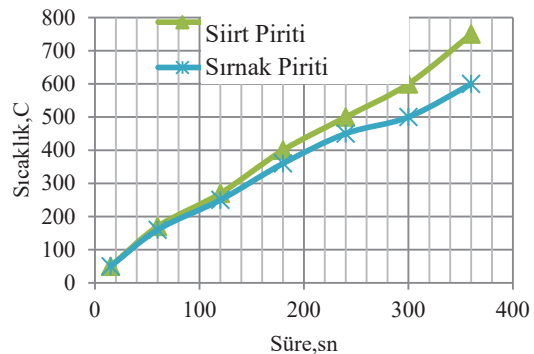
Pirit Türü	Cu%	S%	Fe%	SiO2,%	Al2O3,%
Siirt Piriti	0,7	37,4	0,33	3	16
Şırnak Kömür Piriti	1,2	33,2	0,22	2	22



Şekil 3. Etkili Mikrodalga Piroliz Cihazı

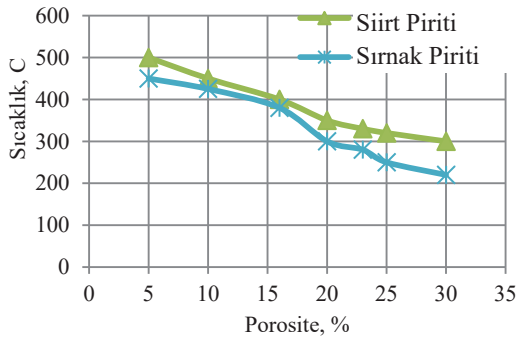
50 gr'lık -1 mm boyutundaki toz kömür Siirt bakır piriti ve Şırnak asfaltit pirit ile 75 mikron toz örneklerin 10 mm lik pelletleri ile mikrodalgada piroliz işlemine tabi tutulmuştur (Marland vd.,2000).

Test sonuçları, ağırlık değişimi olarak kaydedilmiştir. Klasik piroliz sonucu elde edilen kütle kaybı baz alınarak piroliz verimleri 3-10 ve 30 dakikalık mikrodalga etkileşimle belirlenmiştir (Şekil 3).



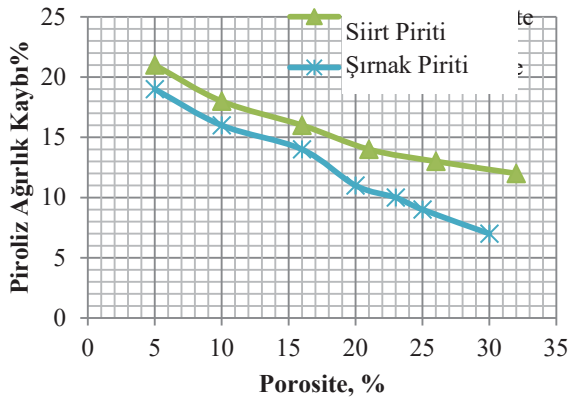
Şekil 3. Şırnak Asfaltitinin Mikrodalga Pirolizinde Yüze Sıcaklık Değişimi

5dklık süre sonunda yeterli bir sıcaklık artışı pelet yüzeyinde gözlenmiştir. Ancak Şırnak asfaltitine ısı iletimi henüz başlayabilmektedir. Porozite nin etkisi mikrodalga fırında 5dk sonrası sıcaklık değişimi olarak belirlenmiştir (Şekil 4)



Şekil 4. Şırnak Asfaltitinin Mikrodalga Piroliz Sıcaklık Değişimi

Şırnak asfaltitinin ısı iletimi porozite ile önemli derecede etkilenmiştir ve %15 in üzerindeki porozitede kısmen ısı iletimi azalmaktadır. Piroliz kütle kaybı kısmi piroliz in gerçekleşebildiğini ve gözenegin pirolize engel olduğu gözlenmiştir (Şekil 5).

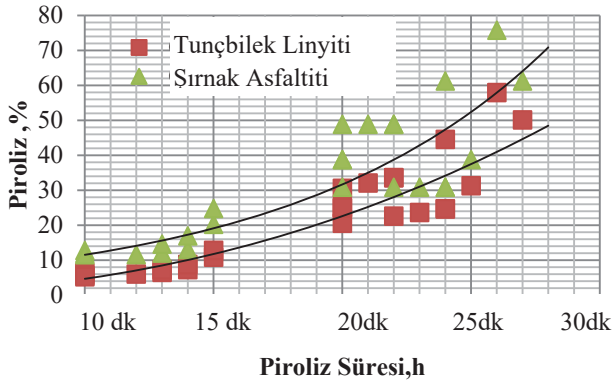


Şekil 5. Şırnak Asfaltitinin Mikrodalga Fırında Piroliz Ağırlık Değişimi (10dk mikrodalga piroliz)

3 BULGULAR VE İRDELEMESİ

Farklı tür kömürlerin piroliz koşulları mikrodalga ısı yayılım durumlarına ve metal bileşenlerinin dağılımına bağlı gelişebilmektedir. Optimum koşullarda elde edilen bulgular Şekil 5. 'de gösterilmektedir. Pirit Tipi böyle bir pirolizin avantajları şunlardır. İri kömür parçacıklarının ince tanelerden daha düşük bir ısıtma hızına sahip olması, dolayısıyla piroliz sırasında sıcaklık kontrolü geliştirilmesidir. Buna ek olarak, piroliz sırasında gelişmiş kömür tozu kontrolü olacak ve mikrodalga ısıtma ve

klasik piroliz ile tam piroliz için gereken spesifik enerji tüketimleri sırasıyla yaklaşık 0,18 ve 4,4 kW h/kg olmuştur. Tipik olarak, bilyalı değirmende enerji tüketimi yaklaşık 4,5 ila 9 kWh/kg arasındadır. Bu nedenle, mikrodalga piroliz ve yeniden öğütme için kombine enerji tüketimi hala geleneksel sıcaklığa kıyasla daha düşük olacaktır. Pirit ve demir cevherlerinin iki ana nedeni, karbonlu madde ve ultra-ince sülfür parçacıkları pirit ve demirli iyonların varlığı ve manyetik zayıflamanın varlığıdır. Kömür matrisinde pirotin de pirit den daha etkili sıcaklık artışına neden olabilmektedir.. Kömür maddesinde her iki sülfürün varlığına bağlı olarak daha az geçirimli olduğunda şeyl taşı, silikat, ve kil matrisi şeffaf davranmaktadır ve mikrodalgaları geçirmeden yansıtır. Cevherdeki karbonlu madde sıcaklığı absorbe eder. En önemli husus organik karbon ve kömür karbonudur. Organik karbonun bileşenleri amorf olduğundan yansıtmaya yapabilmektedir. Bu demir cevherleri, sülfidlerin matrisinin ısı taşıyıcı olarak değerlendirmek ve pirolizden önce karbonlu maddeyi piroliz etmek veya pasifleştirmek için ön işleme tabi tutulması yararlı olacaktır. Mikrodalga işleme yöntemleri kavurma, klorlama, basınçlı oksidasyon, kurutma, piroliz ve atıkların çözülmesi ve gazlaştırılmasıdır. Mikrodalga fırınlar kurutma, kireçleme, kavurma ve eritme gibi bazı birim işlemlerinde cevherlerin arıtılması için alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Karbon ve metal sülfidlerin çok iyi mikrodalga emiciler olduğu bilinmektedir ve hızlı ve seçici olarak ısıtılabilirler. Bazı araştırmacılar dolaylı olarak mikrodalgalarla ısıtılan ısıyı iyileştirebilir, bu nedenle manyetit bir tutucu olarak kullanılır. Bu çalışmada, kömür numunesinin kömür piriti ve bakır pirit ile mikrodalga pirolizi incelenmiştir. Konsantre, mikrodalga ısıtma işlemine karşı oldukça duyarlıdır. Bu çalışmada, Tunçbilek linyiti ve Şırnak asfaltitinin Şekil 6'te görüldüğü gibi, kısmi pirolizi gerçekleştirebilmiştir ve bazı durumlarda da yavaş piroliz gerçekleştirmiştir.



Şekil 6. Mikrodalga Pirolizinde kütle kaybına piroliz süresinin etkisi (900W)

Şekil 6 görüldüğü gibi, Şırnak piritinin ısıyı soğuran davranışı da izlenmiştir ve piroliz hızı için optimum koşullar oluşturulurken, 50 g numunenin yüzeyi yaklaşık 500 °C 'ye erişirken, numunenin iç kısmı 600 °C 'ye erişmiştir. 10 g örnek kullanıldığında, sıcaklık yaklaşık 700 °C 'ye yükselmiştir. Genellikle, laboratuvar ölçekli mikrodalga işleme, numune sıcaklığı örnek kütlesi ile birlikte artar. Klasik fırında ısıtmanın aksine, mikrodalga sistemlerinde ısı dahili olarak üretilir ve böylece numunedeki ısı kaybı ısıtma davranışını kontrol eden önemli bir faktördür. Nispeten düşük kütleli numuneler için, yüksek yüzey alanı/hacim oranı, sıcaklık artış oranını değiştirir ve maksimum sıcaklığı sınırlar. Sonuç olarak, geçirgenlik değerleri nispeten düşüktür ve numune mikrodalga alanı ile etkili bir şekilde birleştirilemez. Diğer yandan, potanın aynı kesit alanı için, numune kütlesi arttıkça, yüzey alanının hacim oranında bir azalma olur ve içten gelen ısı kaybını azaltır ve daha yüksek hacimli bir numuneyle sıcaklık azalır. Ek olarak, numune kütlesi arttıkça, elektrik alanıyla etkileşime girmek için daha fazla malzeme vardır. Karşılaştırma amacıyla, refrakter konsantredeki sülfidlerin ve karbonlu maddelerin oksidasyonu hem mikrodalga sistemi hem de geleneksel bir direnç fırını içinde gerçekleştirilebilmektedir. Olay 900 W'lık bir mikrodalga gücünde, üretilen ısı, numunenin erimesine neden olabilmektedir ve bu nedenle 600 W'lık mikrodalga gücü daha pirolizde faydalı olacaktır. 600 W'de, sıcaklıkta aşırı yükselme olmadan kayda değer bir oksidasyon elde edilmiştir. Bununla birlikte, bazı numuneler ile sinterleme gözlenmiştir. Şekil 3'deki sonuçlar ile gösterildiği gibi piroliz işlemi yaklaşık 600 °C 'de neredeyse tamamlanır ve bu nedenle geleneksel piroliz 600 °C 'de gerçekleştirilir. Pirolizin 700 °C 'nin üzerine oluşması için, ilave pirit ağırlık olarak

katılması 700 °C'nin üstünde sıcaklık artışına neden olabilmıştır ancak piroliz ekonomik olmamıştır. Şekil 4, klasik ve mikrodalga piroliz için işleme süresinin bir fonksiyonu olarak piroliz süresinin konsantrenin karbon içeriği üzerindeki etkisini göstermektedir. Karbon içeriği, mikrodalga testlerinde konveksiyona göre daha hızlı azaldığı görülmektedir. Karbon kütlenin % 75'inden fazlası mikrodalga piroliz ile 10-30 dakika içinde uzaklaştırılabilmektedir.

Aynı miktarda karbon çıkarma işlemi saatlerce sürer. Kömür piritinin davranışı Şekil 5'de gösterilmektedir. Hem mikrodalga hem de konvansiyonel işleme için, uçtaki sıcaklık oranı muhtemelen numunedeki daha büyük demir miktarını yansıtan kömür piritinden daha yüksektir. 30 dakika sonra kükürdün % 25'i konvansiyonel kavurma ile uzaklaştırıldı, mikrodalga ısıtma için pirit kükürtünün yaklaşık % 13'ü 3 dakika sonunda çıkarıldı. Mikrodalga işlenmesinde, mükemmel mikrodalga emiciler olan kömür parçacıklarının kömür ve pirit içeriğindeki (Şekil 6) piroliz, klasik pirolizden daha yüksek sıcaklıktadır ve bu, daha yüksek piroliz oranlarına neden olur.

Bu çalışmada; Pirit atığının fizikokimyasal özellikli düşük dereceli cevher, gerçekleştirilen test sonuçlarına yer vererek, pirit atıklarının dokusal özellikleri arasındaki fark incelenerek belirlendi. Bu çalışmada Şırnak ve Siirt'deki pirit atığının değerlendirilmesi, temel nitelikler açısından potansiyel bir değerlendirilebilirlik olarak tanımlanmıştır. Pirit piroliz işleminden bu metalik pelet olarak elde edilen demir hammaddesi zengin sıcaklık attrıran ısı taşıyıcı olarak değerlendirilebilir. Özellikle mikrodalga piroliz işlemi çok ekonomiktir. Şekil 6 da görüldüğü gibi Tunçbilek linyiti poroz yapısından ötürü daha az ısı iletimi gözlenmiştir. Şırnak asfaltitinde ısı iletimi daha yüksek olmuştur. Böylelikle, piroliz daha ekonomik olarak belirlenmiştir. Refrakter mineraller mikrodalga ısıtma işleminde yansır. Klasik pirolizde ısı iletimi fırın malzemesi çevresi için enerji kaybedilmektedir. Mikrodalga da gereken spesifik ısı enerji sarfiyatları sırasıyla yaklaşık 0,128 ve klasik fırında ise 4,58 kW h/kg olmuştur. Klasik pirolizde spesifik enerji değerleri daha yüksektir, çünkü mikrodalga işlemi sırasında sadece örnek ve numune taşıyıcısı ısıtılırken klasik fırında çevrenin de ısıtılması gerekir. Sülfidlerin oksidasyon reaksiyonları ekzotermiktir ve eğer ısıtma kontrol edilmemişse sinterleşme

görülebilmektedir. Mikrodalga ısıtmada, geleneksel kızdırmaya göre sıcaklık kontrol etmek daha zordur. Sonuç olarak, bazı yerel bazı camsı madde oluşmuştur ve bir miktar sinterleşme oluşmuştur. Mikrodalga radyasyonla bakır pirit ve demir cevherleri, kömür ve şeyl piritleri pirolizde yanabilmektedir. Test sonuçları sürekli bir kütle kaybı olduğunu ve toplam kütle kaybı % 12 olduğunu göstermiştir. Kömür pirolizinde % 10'un üzerinde büyük kütle kaybı 400 °C ve 600 °C arasında gerçekleşmiştir. Gerçek ve göreceli geçirimsizlik çok yüksek frekansın gücü düşürüldükçe önemli ölçüde etkili olmuştur. 400 °C 'nin ötesinde, permitivite azaldı ve bu, piritin çoğunun absorbansından kaynaklanmıştır. Bakır pirit daha hızla mikrodalga ısınmayı sağlamıştır. 30 dk boyunca mikrodalga ısıtmadan sonra 50 gr'lık bir numuneyle 600 °C 'nin üzerindeki sıcaklıklar elde edilebilmiştir. Mikrodalga pirolizi için, gözenekliliğe ve spesifik enerji tüketimine bağlı olarak hem ısıtma hızı hem de piroliz oranları daha yüksektir Şırnak asfaltinin piroliz işlemlerinde, asfaltin pirit içeriği, reaksiyona giren amorf karbon maddenin başarılı bir ölçüde kütle kaybında kolaylıkla etkili olmuştur. Mikrodalga ısıtmada meydana getirilen yüksek sıcaklıklar nedeniyle taşıyıcının kesitleri sinterleşmiş, mikrodalga fırında tamamlanan yaklaşık% 65 pirit oksitleme piroliz işleminde gerçekleşmiştir. Mikrodalgada ısınma davranışının incelenmesi için, mikrodalga gücü artan, işleme süresi ve numune kütlesi. Değiştirilmiştir. Demir maddesinin mikrodalgalara aşırı tepki vermesi nedeniyle, daha yüksek güçler sinterleme ve konsantrenin erimesine neden olurken, 600W'lık düşük bir mikrodalga gücü piroliz için uygun bulunmuştur. Piroliz sonrası Siirt pirit değerleri ile pirolizde kütle kaybı yaklaşık % 25'in üzerine çıkmıştır. Bu değerler klasik pirolizdeki değerlere benzer elde edilmiştir.

Hem mikrodalga hem de konvansiyonel işleme için, uçtaki sıcaklık oranı muhtemelen numunedeki daha büyük demir miktarını yansıtan kömür piritinden daha yüksektir. 30 dakika sonra kükürdün% 85'i konvansiyonel kavurma ile uzaklaştırıldı, mikrodalga ısıtma için pirit kükürtünün yaklaşık% 65'i 3 dakika sonunda çıkarıldı. Mikrodalga kömür proliz işlenmesinde, mükemmel mikrodalga emiciler olan kömür parçacıklarının kömür ve pirit içeriği etkili olmuştur (Şekil 6). Mikrodalga pirolizde sıcaklık kontrolü zordur ve klasik pirolizden daha yüksek

sıcaklıktadır ve bu, daha yüksek piroliz oranlarına neden olur. Tüm rakamlar, yüksek çözünürlüklü olmalıdır (300 dpi) . Grafikler (örneğin, aşağıda Şekil 1), çizgi çizimleri, fotoğraflar ve diğer illüstrasyonlar içeren şekiller renk olarak tercih edilir. Rakamların ard arda Arap rakamlarıyla (1, 2, 3 vb.) Numaralandırılması ve ilgili metne olabildiğince yakın yerleştirilmesi gerekir. Metinde rakamın göreceli konumu değil rakamına bakın. Şekil 7 Mikrodalga Kavurma sırasında permitivite kaybı gözeneklilik etkisi Şekil 8. Mikrodalga Kavurma permitivite kaybı gözeneklilik etkisi Tüm rakamlar ve tablolar ardışık Arapça rakamlarla (1, 2, 3 vb numaralandırılmış olmalıdır ve ilgili metne olabildiğince yakın yerleştirilir . Metinde rakamın göreceli konumu değil rakamına bakın.

Bu çalışmada; Pirit atığının fizikokimyasal özellikli düşük dereceli cevher, gerçekleştirilen test sonuçlarına yer vererek, pirit atıklarının dokusal özellikleri arasındaki fark incelenerek belirlendi. Bu çalışmada Ergani ve Siirt'deki bakır konsantrat atığının değerlendirilmesi, temel nitelikler açısından potansiyel bir değerlendirilebilirlik olarak tanımlanmıştır. Pirit külü kavurma işleminden bu metalik değerlerle ?? elde ettikten sonra elde edilen demir hammaddesi zengin ürün olarak değerlendirilebilir. Özellikle mikrodalga kavurma işlemi ile çok ekonomiktir. Şekil 6, akış şemasına göre toplu konsantre akış şemasına göre cevherden elde edilmiştir. 700 °C Kavrulduktan sonra elde edilen külü oksitleyici asidik oksitleme ve mikrodalga yıkama ile RA'da bulunan Co, Cu, Au ve Ag yüksek ekonomik olarak toparlanmıştır. Demir içeriği de daha yüksek olacaktır.

Şekil 9 Mikrodalga pirolizi için, gözenekliliğe ve spesifik enerji tüketimine bağlı olarak hem ısıtma hızı hem de piroliz oranları daha yüksektir Geleneksel piroliz için ilgili değerlerin altındadır. Kızartma ve piroliz işlemlerinde, pirit içeriği, reaksiyona giren maddenin başarılı bir miktarda kolaylıkla etkili olmuştur. Mikrodalga ısıtmada meydana getirilen yüksek sıcaklıklar nedeniyle taşıyıcının kesitleri sinterlenmiş, mikrodalga fırında tamamlanan yaklaşık% 65 pirit oksitleme kavurma işlemi gerçekleştirilmiştir.

4 SONUÇLAR

Testlerde piritin yüksek sıcaklıklara çıkararak pirolizi sağladığı ancak kömür türüne göre mikrodalga etkisi altında ısı iletimini farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Bu çalışmada, Ergani bakır konsantratörü ve Siirt'teki atık değerlendirme, temel nitelikler açısından potansiyel ısı iletici olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir. Şırnak ve Siirt Pirit külünün değerlendirilmesi basit bir band akışı ile sağlanabilecektir. Refrakter madde mikrodalga pirolizinde en az miktarda içerilmelidir. Mikrodalga ve klasik fırında konveksiyon yoluyla ısıl oksidasyonun sağladığı ısı iletim için gereken spesifik enerji sarfiyatları sırasıyla yaklaşık 0,128 ve 4,58 kWh/kg olmuştur. Geleneksel pirolizde, spesifik enerji değerleri daha yüksektir, çünkü mikrodalga işlemi sırasında sadece örnek ve numune taşıyıcısı ısıtılırken çevrenin de ısıtılması gerekir. Mikrodalga ısıtmada, geleneksel kızdırmaya göre sıcaklık kontrol etmek daha zordur. Mikrodalga radyasyonla bakır pirit ve demir cevherleri, kömür ve şeyl pirolizde ısı iletiminde faydalı absorbanı sağlamıştır. Tunçbilek linyiti için toplam 10 dk lık bir süre sonunda kütle kaybı %12 ye ulaştığı belirlenmiştir. Kömür pirolizinde % 10'un üzerinde toplam kütle kaybı 400 °C ve 600 °C arasında gerçekleşmiştir. Daha az frekans gücünde 600W düşürüldüğünde önemli ölçüde piroliz gerçekleşebilmiştir. Bakır piriti mikrodalgada daha hızlı ısınmayı sağlamıştır. Piroliz sonrası 50 gr'lık bir numuneyle 600 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kısa süreli piroliz sağlanabilmiştir. Mikrodalga ısıtma davranış çalışmaları, mikrodalga gücü artan, işleme süresi ve numune kütlesi pirolizi ve kütle kaybında etkili kontrol parametreleri olmuştur ve 600W'lık düşük bir mikrodalga gücü piroliz için yararlı bulunmuştur.

KAYNAKLAR

Amankwah, R.K., Pickles, C.A., 2005. Microwave calcination and sintering of manganese carbonate ore. *Canadian Metallurgical Quarterly* 44 (2), 239–248.

Amankwah, R.K., Pickles, C.A., Yen, W.T., 2005b. Gold recovery by microwave augmented ashing of waste activated carbon. *Minerals Engineering* 18 (2), 517–526.

Anonim a, 2016, *Tekfen İnşaat Şirket* web sayfası, <http://www.tekfeninsaat.com.tr>

Anonim b, 2016, *Gayret Makina Şirket* web sayfası, <http://www.gayretmakina.com.tr>

Anonim c, 2016, *Multotec Şirket* web sayfası, <http://www.multotec.com/category/industry/coal>

Anonim d, 2016, *MBE Şirket* web sayfası, <http://www.mbe-cmt.com/en/products/pneufлот%С2%AE/pneufлот%С2%AE>

Anonim e, 2016, *SCHAUENBURG Şirket* web sayfası, http://www.schauenburg-aka.com/index_e.html

Anonim f, 2016, *CWP Şirket* web sayfası, <http://cwp.com.tr/en/products.aspx?id=30>

Ateşok, G., 1986, *Kömür Hazırlama*, Kurtuluş Matbaası, İstanbul

Chen TT, Dutrizac JE, Haque KE, Wyslouzil W, Kashyap S. 1984, The relative transparency of minerals to microwave radiation. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 123, 3, s. 349–51.

Datta A K; Nelson S O (2000). Fundamental Physical Aspects of Microwave Absorption and Heating in *Handbook of Microwave Technology for Food Applications*. CHIPS Publications, USA

Datta A K; Sun E; Solis A (1995). Food dielectric property data and their composition-based prediction. In: *Engineering Properties of Foods* (Rao M A; Rizvi S S, eds), Chapter 9, 457–494. Marcel Dekker, Inc., New York

Decareau R V (1985). *Microwaves in the Food Processing Industry*. Academic Press, Orlando, FL, USA

DPT, 2013, *Madencilik*, 9 Kalkınma Özel İhtisas Raporu.

El-Shami S M; Selim I Z; El-Anwar I M; Hassan M M (1992). Dielectric properties for monitoring the quality of heated oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS)*, 69(9), 872–875

Gabriel C., Gabriel S., Grant E.H., Halstead B.S.J., Mingos D.M.P., 1998, Dielectric parameters relevant to microwave dielectric heating. *Chemical Society Reviews*, 27, s.213–23.

Haque KE. Microwave energy for mineral treatment processes—a brief review, 1999, *International Journal of Mineral Processing*, 57, 1, s.1–24.

Hutcheon, R.M., De Jong, M.S., Adams, F.P., 1992. A system for rapid measurement of RF and microwave properties up to 1400 °C. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 27 (2), 87–92.

Hutcheon, R.M., De Jong, M.S., Adams, F.P., Lucuta, P.G., McGregor, J.E., Bahen, L., 1992a. RF and microwave dielectric measurements to 1400 °C and dielectric loss mechanisms. In: *Materials Research Society Symposium*

- Proceedings (Microwave Processing of Materials III)*, vol. 269, pp. 541–551.
- Hutcheon, R.M., Hayward, P., Smith, B.H., Alexander, S.B., 1995. High-temperature dielectric constant measurement – another analytical tool for ceramic studies. *Microwaves: Theory and Application in Materials Processing III*, vol. 59. *Ceramic Transactions*, American Ceramic Society, pp. 235–241.
- Jacob J., Chia L.H.L., Boey F.Y.C., 1995, Review—thermal and non-thermal interaction of microwave radiation with materials. *Journal of Materials Science*, 30, 21, s.5321–7.
- Karmazsin, E., 1987. Use of low – and high-power microwave energy for thermal analysis. *Thermochimica Acta* , 110, 289–295.
- Kelly RM, Rowson NA., 1995, Microwave reduction of oxidised ilmenite concentrates. *Minerals Engineering*, 8, 11, s.1427–38.
- Kemal, M., Arslan, V., 1999. *Kömür Teknolojisi*, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İZMİR, 975-441-142-5
- Kemal. M., İpekoğlu, Ü. 1985, Türkiye'nin Yakacak Gereksinimi ve Çözüm Olanakları, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi*, T.M.M.O.B. Maden Mühendisleri Odası, Ankara
- Kılıç Ö., 2009, Mikrodalga ile Isıl İşlem Uygulamanın Kireçtaşı Kalsinasyonuna Etkisi, *Madencilik*, 48, 3, s 45-53.
- Kingman S.W., Vorster W., Rowson N.A., 1999, The influence of mineralogy on microwave assisted grinding. *Minerals Engineering*, 3,3, s.313–27.
- Kural, O., 1999, *Kömür*,
- Kuyucak, S., Türkiye'nin Pirit Külü Kaynaklarının Demir ve Demir Dışı Metaller Yönünden Değerlendirilmesi, MTA Teknoloji Dairesi, Araştırma Raporu 1, Ankara, Nisan 1977
- Lu, T., Pickles, C.A., Kelebek, S., 2007. Microwave heating behaviour of a gibbsite type bauxite ore. In: Bekguleryuz, M.O., Paray, F., Wells, M. (Eds.), *Proceedings of Symposium on Light Metals in Transport Applications. MetSoc (CIM)*, Toronto, Ont. Canada, pp. 421–449 (August 25–30).
- Ma, J., Pickles, C.A., 2003. Microwave segregation process for nickeliferous silicate laterites. *Canadian Metallurgical Quarterly* 42 (3), 313–326.
- Marland S, Han B, Merchant A, Rowson N., 2000, The effect of microwave radiation on coal grindability. *Fuel*, 79, 11, s.1283–8.
- Metaxas, A.C., Meredith, R.J., 1983. *Industrial Microwave Heating*. Chapter 10, Peter Peregrinus, London, UK.
- Salsman J.B., Williamson R.L., Tolley W.K., Rice D.A., 1996, Short-pulse microwave treatment of disseminated sulphide ores. *Minerals Engineering*, 9, 1, s.43–54.
- Siirt Madenköy Fizibilite Etudu, MTA, Ankara, 1981
- Standish, N., Worner, H.K., Gupta, G., 1990. Temperature distribution in microwave heated iron ore–carbon composites. *J. Microwave Power Electromagnet Energy* 25 _2., 75–80.
- Standish, N., Worner, H.K., Obuchowski, D.Y., 1991. Particle size effect in microwave heating of granular materials. *Powder Technology* 66, 225–230.
- VanWyk EJ, Bradshaw SM, de Swardt JB., 1998 The dependence of microwave regeneration of activated carbon on time and temperature, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* ,33, 3, s.151–7.
- Veasey TJ, Fitzgibbon KE., 1990, Thermally assisted liberation—a review. *Minerals Engineering* , 3, 1/2, s.181–5.
- Walkiewicz J.W., Clark A.E., McGill S.L., 1991, Microwave assisted grinding. *IEEE Transactions on Industry Applications* ,27, 2, s.239–43.
- Walkiewicz JW, Kazonich G, McGill SL., 1988, Microwave heating characteristics of selected minerals and compounds. *Minerals and Metallurgical Processing* , 5, 1, s.39–42.
- Xia D.K., Pickles C.A., 2000, Microwave caustic leaching of electric arc furnace dust, *Minerals Engineering*, 13, 1, s.79–94.