

MİKRODALGA ENERJİ KULLANARAK KÖMÜRDEN METALURJİK KOK ELDESİ

Öner Yusuf TORAMAN*

Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Üniversitesi, 51240, Niğde, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, mikrodalga enerjinin kömürden kok elde edilmesine etkisi araştırılmıştır. Yaklaşık 3 mm altına öğütülen ve 3 kW'lık bir mikrodalga güç, 60 ve 120 saniye olmak üzere farklı sürelerde mikrodalga enerjiye maruz bırakılan kömür örnekleri ile laboratuvar ölçekli deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kokun dayanım özellikleri iki farklı ticari kok örnekleri ile de mukayese edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga enerji, taşkömürü, kok, dayanım testi

METALLURGICAL COKE PRODUCTION FROM COAL USING MICROWAVE ENERGY

ABSTRACT

In this study, the effect of microwave energy on coke making from coal has been investigated. A series of batch experiments were carried out using a 3 kW microwave to heat 220 g of a bituminous coal, sized at -3 mm, at different times of 60 and 120 min. The strength properties of the cokes made by microwave treatment were compared with two commercial cokes.

Keywords: Microwave energy, bituminous coal, coke, strength test¹

1. GİRİŞ

Çeşitli jeolojik ve kimyasal süreçler sonucu oluşan kömür heterojen bir malzemedir. Turba ile başlayan ve belirli bir sıcaklık ve derinliğe bağlı olarak basınç altında gerçekleşen bu oluşum kömürleşme olarak tanımlanır. Kömürün kömürleşme derecesi (rankı) artarken nem, uçucu madde, oksijen ve hidrojen içeriği azalmakta ve karbon içeriği ile birlikte kalorifik değeri ve yansımaları (reflektansı) artmaktadır. Moleküler yapı bakımından ise daha aromatik ve böylece daha sıralı bir yapıya dönüşmektedir [1].

Öte yandan, mikrodalga enerjisi, 300 MHz ile 300 GHz aralığında frekansa sahip iyonize olmamış elektromanyetik ışınım (radyasyon) olup, 2.450 MHz için yaklaşık %50-72'lik bir dönüşüm verimiyle elektrik enerjisinden elde edilmektedir. Mikrodalgalar; görünür, ultraviyole ya da infrared ışık gibi diğer elektromanyetik enerji şekillerinden daha yüksek dalga boylarına ve daha düşük enerji miktarına sahiptirler [2]. Mikrodalganın başlangıçta gıda, kimya ve kağıt sanayine yönelik araştırma ve uygulamaları söz konusuken günümüzde artık cevher/kömür hazırlama ve metalürji sanayinde de kullanılması önerilmeye başlanmıştır [3,4]. Mikrodalga ile ısıtma, numunenin derinliklerine nüfuz edebilen elektromanyetik enerji formunda olduğu için klasik ısıtmadan farklıdır [5]. Klasik ısıtma sistemleri taşınım (konveksiyon), iletim (kondüksiyon) ve yayılma gibi standart ısı

*Tel.:+90 (388) 2252290; fax: +90 (388) 2250112. e-mail: otoraman@nigde.edu.tr

transfer mekanizmasından geçerek numuneyi dışarıdan ısıtırken, mikrodalga ile ısıtma seçimli ve matristeki bazı fazların diğerlerinden çok daha hızlı ısınabilmesi avantajına sahiptir. Kömür de heterojen yapısı nedeniyle farklı dielektrik özellikte birden fazla faz içermesi ile, mikrodalga enerjinin geçirimi fazdan geçerken soğurucu fazı seçimli olarak ısıtabildiği karma bir yapı sergilemekte ve klasik ısıtma sisteminde mümkün olmayan “seçimli ısıtma” mikrodalga sayesinde gerçekleştirilmektedir.

Kömürün kayıp faktörü (mikrodalga enerjinin malzeme içinde ısı olarak tükenmesiyle kayıp miktarı) bulk malzeme olarak oldukça düşük ($=0.25$) olmakla birlikte bünyesindeki nem organik maddeden çok daha hızlı ısınmaktadır (suyun kayıp faktörü=13). Kömürde gaz fazına geçiş esnasında gerilme çatlaklarına sebep olan bünye neminin selektif ısınması sebebiyle de kömürün öğütülebilirliği kolaylaşmaktadır [6,7,8]. Arsh ve arkadaşları [9] kömürlerin dielektrik özelliklerini ilk ölçtüğünde en önemli faktörün nem içeriği olduğunu belirtmiştir. Marland ve arkadaşları [10] ise nem ve mineral madde içeriğinin dielektrik özellikler üzerinde belirgin etkisi olduğunu ve aynı zamanda artan kömürleşmeyle birlikte dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün arttığını belirtmiştir.

Öte yandan, kömürdeki mikrodalgayı absorbe eden uçucu ve nem içeriği ile -OH gruplarının varlığı kömürün ilk ısınması için yeterli olurken [11] daha yüksek sıcaklıklara ulaşılması ancak karbon yapının aromatikliğinin artması ile mümkün olabilmektedir [12,13]. Bu ise gerek piroliz boyunca yüksek uçucu bileşenin alifatik (alifatik hidrokarbonlar) kaybı gerekse daha grafitleşmiş aromatik tabakalardan oluşan karbon yapının yüksek sıcaklıkla yeniden dizilişi sonucu gerçekleşmektedir [14,15]. Artan aromatiklikle birlikte radikalleri içeren hidroksilin (OH^-) kaybı ve aromatik tabakalar boyunca pi bağ elektronlarının transferiyle elektron mobilitesinin artmasından dolayı iletkenlik artışı gerçekleşmektedir [16]. Koklaşmada sıcaklık 400°C 'den 1000°C 'ye doğru artarken, dielektrik kayıp faktöründe artışa sebep olan karbonun grafit dönüşmesiyle elektron hareketliliği ve birim hacim başına serbest yük seviyesi artmaya devam etmektedir. Böylece mikrodalga ısıtma ile birlikte kömürün koklaşması için gerekli olan yüksek sıcaklıklara ($>1000^\circ\text{C}$) ulaşılabilir [17].

Bugüne kadarki literatür çalışmalarında kömürün hızlı pirolizi esnasında mikrodalga ısınmayı arttırmak için bir reseptör olarak kullanılabileceğinin belirtilmesi [18] kokun mikrodalgaya iyi tepki verdiğini göstermesi bakımından önemlidir. Ayrıca, bu sonuçlar kömürden koka dönüşümünün dielektrik özelliklerin artması ile sonuçlandığını da göstermektedir. Kömürün rankı artarken, artan aromatikliği dolayısıyla elektrik iletkenliği de artmaktadır [16]. Aynı etki koktaki artan diziliş ve grafitleşmeyle de oluşmaktadır [12]. Elektrik iletkenliğindeki bu artış artan dielektrik özelliklerin bir sonucudur [16,19].

Kok üretiminde mikrodalga kullanılması üzerine 1980'lerden itibaren araştırmalar başlamış ancak çeşitli patentler dışında bunların çok az bir kısmı yayımlanmış olup endüstriyel uygulaması bulunmamaktadır [13]. Mikrodalga enerjinin karbonizasyonu ve böylelikle turba-esaslı karbonların elektrik özelliklerini artırdığı - ısınma süresini yarı yarıya azaltarak- ispatlanmıştır. Ancak, bu çalışmalar belirli (düşük) güç seviyeleri ile sınırlı kalmıştır [20]. Öte yandan, Lester ve ark. [21] tarafından yapılan çok daha yüksek güç seviyelerinde (8 kW) 70 dk.'lık mikrodalga muamelesinde reaktivite, reflektans ve dielektrik özellikler bakımından konvansiyonel yöntemle üretilen koka benzer özellikler taşıyan kok üretilmiştir. Bu sürede oldukça grafitleşmiş bir malzeme elde edilmiş olup bu da numunelerin 1000°C 'ye ulaştığını göstermektedir.

Bu çalışmada konvansiyonel yöntemle elde edilen koka alternatif olarak kok üretiminde mikrodalga enerji kullanım potansiyeli ortaya konulmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

BCURA (*British Coal Utilisation Research Association Limited*) ait Kömür Örnek Bankası'ndan temin edilen CWM-Kömür numunesi çeneli kırıcıda %90'ı -3 mm altına geçecek şekilde kırılmış ve [3.35 mm-1 mm] boyut aralığında kok üretimi için numuneler hazırlanmıştır.

Deneysel çalışmalarda mikrodalga ile elde edilen kok örnekleri ile mukayese etmek üzere iki ticari kok örneği kullanılmıştır. Tablo 1'de kömür ve konvansiyonel yöntemlerle üretilen iki referans kok (Avustralya ve KAREN koku) örneğinin kısa analizleri gösterilmektedir.

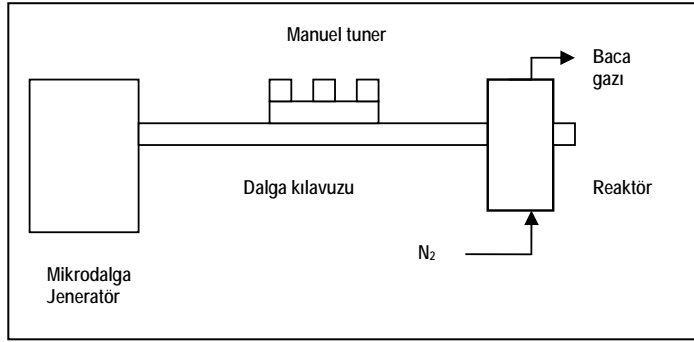
Tablo 1. Kömür ve klasik yöntemle üretilen iki referans kok örneğinin kısa analizi

	Kömür	Kok 1	Kok 2
Nem, %	0.7	0.3	0.0
Uçucu madde, %	20.9	0.0	0.0
Sabit karbon, %	72.5	89.6	91.9
Kül, %	5.9	10.1	8.0

2.2. Yöntem

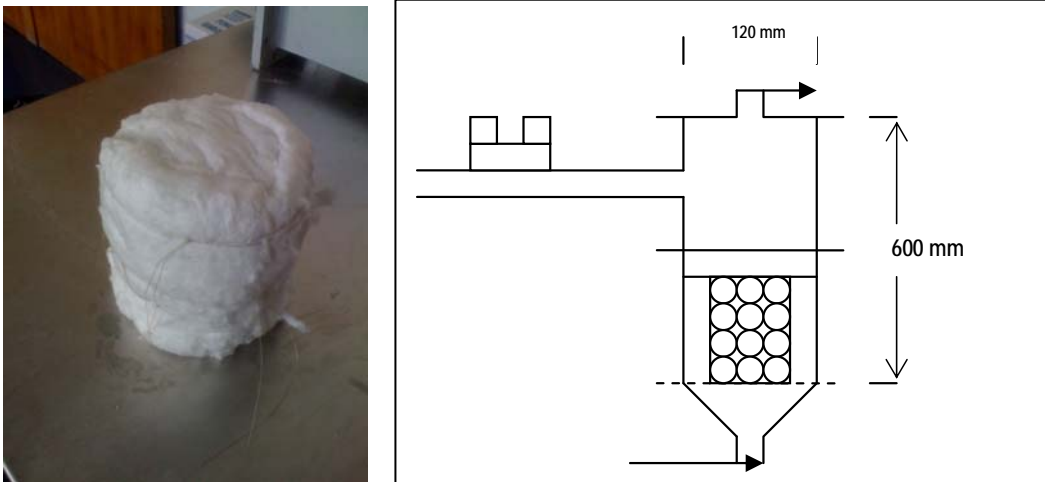
Deneyel çalışmalarda kullanılan düzenek Şekil 1’de şematik olarak görülmektedir. Nottingham Üniversitesi Endüstriyel Mikrodalga Araştırma Merkezinde (NCIMP) Mikrodalga Araştırma Grubu tarafından oluşturulan söz konusu düzenek dört ana kısımdan oluşmaktadır:

- 1-Jeneratör
- 2-Dalga kılavuzu
- 3- Manuel tuner
- 4- Akışkan yatak reaktör



Şekil 1. Deney düzeneği

Şekil 2’de ise reaktörün boyutlandırması ve kömür numunesinin yerleştirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 2. Akışkan yatak reaktörünün boyutlandırması

DeneySEL çalışmalarında -3.35+1 mm boyut aralığındaki kömür örneklerinden 220'şer gram tartılarak cam beher içerisine konulmuş ve cam yüzüne sarılarak akışkan yatak reaktöre yerleştirilmiştir. Değişik güç ve kalma sürelerinde akışkan yatak kavitede (6 kW'lık jeneratör ve 2.45 GHz'lik frekansta) mikrodalgaya maruz bırakılmıştır. Kömür tanelerinin jeneratöre kaçmasını önlemek üzere iki yerden ve aynı zamanda akışkan yatak reaktörün alt kısmından oksijensiz ortamda koklaşmayı sağlamak ve piroliz aşamasında alev oluşmasını önlemek üzere azot gazı (N₂) verilmiştir. Daha sonra malzeme 2.45 GHz frekansta 0.75, 1.5 ve 3 kW güç ve 60 ve 120 dakika'lık sürelerde mikrodalgaya maruz bırakılmıştır.

2.3. Kok Dayanım (Tambur) Testi

Kok kalitesinin en önemli göstergelerinden birisi aşınmaya karşı dayanım özellikleridir. Bunu belirlemek için laboratuvar ölçekli bir tambur kullanılmıştır. Her bir kok örneğinden %65'i >5 mm, %35'i <5 mm olmak üzere [3.35-9.5 mm] boyut aralığında 20'şer gram hazırlanmış ve daha sonra 30 devir/dak. hız ve 200 devirde çalışan tamburda deneyler yapılmıştır. Kok daha sonra 2.36 mm'lik elekten geçirilerek elek üstü % oranı *Kok Dayanım İndeksi, S* olarak belirlenmiştir. Her bir testten iki adet gerçekleştirilmiş ve ortalama değeri alınmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kok Dayanım (Tambur) Testi

Mikrodalga uygulama şartları ticari kok ile elde edilen kok ve dayanım indeksi sonuçları Tablo 2'de görülmektedir. 0.75, 1.5 ve 3 kW'lık güç seviyelerinde 60 ve 120 dakikalık sürelerde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin dayanım testi sonuçlarına göre 3 kW'lık güç ve 120 dakikalık uygulama süresinde Ticari Kokun (Kok 1) sahip olduğu dayanıklılıkta kok elde edilebilmiştir.

Tablo 2. Mikrodalga uygulama şartları ticari kok ile elde edilen kok ve dayanım indeksi sonuçları

Örnek	Uygulanan Güç, kW	Uygulama Süresi, dak.	Dayanım İndeksi, S %, +2.36 mm
Kömür	0.75	60	46.51
		120	53.19
	1.5	60	54.30
		120	61.89
	3	60	56.83
		120	68.01
Kok 1	-	-	66.51
Kok 2	-	-	73.99

Koklaşma esnasında kömürdeki karbonun grafitte dönüşmesi ile birlikte elektron hareketliliği artmaya devam etmekte ve bu şekilde kömürün dielektrik özelliklerin artması ile sonuçlanmaktadır. Bu sayede 2 saatlik kısa bir sürede konvansiyonel yöntemle üretilen koka oldukça benzer özellikler taşıyan kok üretilmiştir. Klasik sistemde kok elde etmenin çok uzun sürdüğü (16-48 saat) dikkate alındığında mikrodalga enerji ile oldukça hızlı bir kok eldesi mümkün olabilmektedir.

4. SONUÇLAR

0.75, 1.5 ve 3 kW'lık güç seviyelerinde 60 ve 120 dakikalık sürelerde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin dayanım testi sonuçlarına göre 3 kW'lık güç ve 120 dakikalık uygulama süresinde Ticari Kokun (Kok 1) sahip olduğu dayanıklılıkta kok elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazar çalışmaların yürütülmesinde laboratuvar ve teknik desteği için Nottingham Üniversitesinden Prof. Samuel Kingman'a ve kısmi finansal desteği dolayısıyla da TÜBİTAK'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] Van Krevelen, D.W., "Coal: Typology-Physics-Chemistry"-3rd completely revised edition", Amsterdam, The Netherlands, Elsevier Science Publishers. 1993.
- [2] Haque, K.E., "Microwave Energy for Mineral Treatment Processes-a Brief Review", International Journal of Mineral Processing, 57, 1-24, 1999.
- [3] Standish, N., Worner, H., "Microwave Reduction of Iron Ores", Iron and Steelmaking, 18 (5), 59-61, 1991.
- [4] Kingman, S.W., Rowson, N.A., "The Effect of Microwave Radiation on the Magnetic Properties of Minerals", Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 35, 3, 144-150, 2000.
- [5] Jones, D.A., Lelyveld, T.P., Mavrofidis, S.D., Kingman, S.W., Miles, N.M., "Microwave Heating Applications in Environmental Engineering- A review", Resources, Conservation and Recycling, 34, 75-90, 2002.
- [6] Marland, S., Han, B., Merchant, A., Rowson, N., "The effect of microwave radiation of coal grindability", Fuel, 79, 1283-1288, 2000.
- [7] Lester, E., Kingman, S.W., "Effect of microwave heating on the physical and petrographic characteristics of a UK coal", Energy and Fuel, 1-8. 2003.
- [8] Lester, E., Kingman, S.W., Dodds, C., "Increased coal grindability as a result of microwave pretreatment at economic energy inputs", Fuel, 84(4), 423-427, 2005.
- [9] Arsh, E.I., Krasin, L.A., Nosov, G.R., "Frequency characteristics of the electrical properties of coals and country rocks in the western donbass", Soviet Mining Journal, 1 65-8, 1969.
- [10] Marland, S., Merchant, A., Rowson, N., "Dielectric properties of coal", Fuel, 80, 1839-1849, 2001.
- [11] Sen, D.K., Sen-Gupta, S.K., Kini, K.A., Lahiri, A., "Studies on the dielectric properties of Indian coals: Part I-Effect of acetylation and hydrogenation of coal on its dielectric behaviour", Journal of Scientific and Industrial Research, 19B 184-6, 1960.
- [12] Honda, H., "The change in magnetic properties in carbonization and graphitization of coal", Third Conference on Carbon, 159-164, Buffalo, Pergamon Press. 1959.
- [13] Wagener, D., Fach, H., Ergun, H., "Process and apparatus for coking coal using microwave radiation", US, Didier Engineering US4282066. 1981.
- [14] Takanohashi, T., Kawashima, H., "Construction of a model structure for upper freeport coal using", 13 C NMR chemical shift calculations, Energy and Fuels, 16 (3), 379-387, 2002.
- [15] Takagi, H., Maruyama, K., Yoshizawa, N., Yamada, Y., Sato, Y., "XRD analysis of carbon stacking structure in coal during heat treatment", Fuel, 83(17-18), 2427-2433, 2004.
- [16] Elliot, M.A., "Chemistry of coal utilization", Second supplementary volume, New York, Wiley and Sons. 1981.
- [17] Gray, R.J., "Coal to coke conversion. Introduction to carbon science", H.Marsh, London, Butterworths, Chapter 9: 285-321, 1989.
- [18] Ludlow-Palafox, C., Chae, H.A., "Microwave-induced pyrolysis of plastic wastes", Industrial and Engineering Chemistry Research, 40, 4749-4756, 2001.
- [19] Lowry "Chemistry of coal utilization"-Supplementary volume, New York, Wiley and Sons. 1963.
- [20] Yang, K.S., Yoon, Y.J., Lee, M.S., Lee, W.J, Kim, J.H., "Further carbonization of anisotropic and isotropic pitch-based carbons by microwave irradiation", Carbon, 40(6), 897-903, 2002.
- [21] Lester, E., Kingman, S., Dodds, C., Partrick, J., "The potential for rapid coke making using microwave energy", Fuel, 85, 2057-2063, 2006.