

Kükürt ve Kül Giderimi Yapılmış Pirolitik Karbon Siyahı Katkılı MgO-C Refrakterlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

**Tuba BAHTLI^{*1}, Veysel Murat BOSTANCI², Derya Yeşim HOPA³,
Şerife YALÇIN YASTI⁴**

¹*Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme
Mühendisliği Bölümü, Konya*

²*Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Konya*

³*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü,
Afyonkarahisar*

⁴*Selçuk Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Konya*

Geliş tarihi: 13.03.2017

Kabul tarihi: 25.08.2017

Öz

Lastik atıklarının refrakter sektöründe geri kazanımını sağlamak amacı ile yapılan bu çalışmada, piroliz reaktöründe 500 °C sıcaklık, 15 °C/dk ısıtma hızı ve 0,5L/dk N₂ akış hızı parametrelerinde elde edilen katı ürünün kükürt ve kül miktarları azaltılmış ve daha sonrasında MgO-C refrakter malzemelerinin üretiminde karbon kaynağı olarak kullanılmıştır. Üretilen refrakterlerin yoğunluk, % açık gözenek ve soğuk basma mukavemeti (SBM) değerlerinin kükürt ve kül miktarı ile değişimi incelenmiştir. Piroliz sonrası atık lastiğin ve kükürt ve kül giderimi sonrası elde edilen pirolitik karbon siyahı malzemelerinin X-Işını Difraktometresi (XRD) ile faz analizleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapı analizleri ve Enerji Dağılımlı X-Işını Analizi (EDX) ile kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Kükürt ve kül miktarları azaldıkça, bu ürünlerin kullanıldığı refrakter malzemelerin % açık gözenek miktarının ve yoğunluk değerlerinin yaklaşık aynı olmasına rağmen soğuk basma mukavemeti değerlerinin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Piroliz, MgO-C, Refrakter, Soğuk basma mukavemeti

Investigation of Mechanical Properties of MgO-C Refractories Produced by Pyrolytic Carbon Black with Removal of Sulfur and Ash

Abstract

In this study, which aims recycling/regaining tire waste in the refractory sector, the amounts of sulfur and ash of the solid products obtained from the pyrolysis reactor at 500 °C, 15 °C/min heating rate and 0.5 L/min N₂ flow rate were reduced and then used in MgO-C refractory materials as a carbon source. The exchange of density, % open porosity and cold compressive strength (CCS) values with the amount

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tuba BAHTLI, taksoy@konya.edu.tr

of sulfur and ash of the produced refractories were investigated. Phase analysis by X-ray diffractometry (XRD), microstructure analysis by scanning electron microscopy (SEM), and chemical analysis by energy diffraction X-Ray analysis (EDX) of pyrolytic carbon black materials obtained after waste tire pyrolysis and sulfur and ash removal were obtained. As the amounts of sulfur and ash decreased, the cold compressive strength values increased, although the open porosity and density values of the refractory materials used for these products were approximately the same.

Keywords: Pyrolysis, MgO-C, Refractory, Cold compressive strength

1. GİRİŞ

Magnezit karbon refrakterler, magnezya, pul grafit ve bağlayıcı içeren karbon bağlı malzemelerdir ve kolay üretilirler. Üretim prosesi, karıştırma, presleme ve yaklaşık 200 C'de gerçekleştirilen temperlemeden ibarettir [1].

Bu iki ana bileşen (MgO ve grafit) oldukça değişik yapılara sahiptirler. Presleme işlemi sırasında grafit pulları deforme olup magnezya tanelerinin etrafını sararlar. Bu tip bir davranış, presleme kabiliyetinin artmasına ve dolayısıyla preslenen malzemedeki porozite miktarının azalmasına neden olur. Porozite miktarının azalması cüruf ve korozyon direncinin artması için önemli bir parametredir [1].

Ayrıca, MgO-C refrakterlerde kullanılan grafit ve MgO gibi refrakter oksitler, iyi termal şok direnci (grafitin düşük termal genleşme ve yüksek termal iletkenliği) ve mükemmel cüruf direnci (grafitin düşük ıslatılabilirliği) gibi değerli özellikler sağlar [2,3].

Cürufa ve korozyona karşı direnci artırmak için kullanılan karbonun 3 türü bulunmaktadır. Bunlar:

- Bağlayıcı karbon: Bir katran veya reçinenin karbonlaştırılması sonucu ortaya çıkan karbon fazıdır [4].
- Karbon siyahı
- Doğal grafitir [5].

Bu çalışmada, karbon kaynağı olarak kullanılan karbon siyahı atık lastiklerden piroliz işlemi sonucu elde edilmiştir. Her yıl Türkiye'de yaklaşık olarak 300.000 ton ömrünü tamamlamış lastik

(ÖTL) oluşmaktadır [6]. Çevreye de pek çok zararları olan atık lastiklerin geri kazanımları ile çevresel problemlerin önlenmesi ve aynı zamanda ekonomiye kazandırılması önem arz etmektedir. Atık lastiklerin sıvı, gaz ve katı ürünlere dönüşümünü mümkün kılan piroliz yöntemiyle, atık lastiğin ağırlıkça yaklaşık %40'lık bölümü katı ürüne dönüştürülmektedir. Geriye kalan %60'lık bölümü sıvı ve gaz ürünlere dönüşmektedir [7].

Piroliz sırasında oluşan kükürt içerikli bileşiklerin yüksek termal dayanımı nedeniyle, kükürdün büyük bölümü katı ürün içerisinde yer almıştır [8].

Katı üründeki bir diğer problem olan yüksek kül içeriğinin büyük bölümünü, lastik üretim aşamasında vulkanizasyon işlemini hızlandırıcı olarak ilave edilen çinko oksit oluşturmaktadır [9].

Lastik pirolizi ile elde edilen pirolitik karbon siyahındaki kükürt ve kül miktarının azaltılması ile MgO-C refrakterlerin mekanik özelliklerinin iyileşip iyileşmediği bu çalışma ile incelenmiş, kükürt ve kül miktarlarının azalması ile yoğunluk ve SBM değerlerinin arttığı, % açık gözenek değerlerinin ise azaldığı gözlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Pirolitik Katı Ürün Kükürt ve Kül Giderimi

Kullanılan atık lastik ince ve kalın olmak üzere iki tür tane boyutuna sahiptir. Kalın atık lastiğin elek analizi sonuçlarına göre; $0,850 \text{ mm} < D_p < 1,6 \text{ mm}$ aralığında tane boyutuna sahip olduğu

görülmüştür. İnce atık lastik ise $70 \mu\text{m} < D_p < 850 \mu\text{m}$ aralığında tane boyutuna sahiptir.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümündeki reaktör ile lastik atığının pirolizinden 500°C sıcaklık, $15^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızı ve $0,5 \text{ L}/\text{dk}$ N_2 akış hızında pirolitik katı elde edilmiştir.

Piroliz sonrası elde edilen bu katı ürüne öncelikle kükürt daha sonra kül giderimi işlemleri uygulanmıştır. Kükürt ve kül giderimleri için farklı tür ve konsantrasyonlardaki asitler kullanılarak ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır.

Kükürt giderimini sağlayabilmek için 1 gr karbon siyahı başına 20 ml'lik %37'lik HCl ve %65'lik HNO_3 asitlerinin 1:1 hacim oranında bir araya getirilmesiyle oluşturulan asit karışımı kullanılmıştır. 15 dakika boyunca 175°C 'ye ayarlanmış etüvde ısıtılma işlemi tabi tutulmuştur. Isıl işlem sırasında kükürt gaz halinde karbon siyahından uzaklaştırılmıştır. Daha sonra, 1000 ml kadar saf suyla, adi süzgeç kâğıdı kullanılarak süzme işlemi tamamlanmıştır. Süzme işleminin ardından karbon siyahı 100°C 'ye ayarlanmış etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur.

Kükürt giderme işleminden sonra pirolitik karbon siyahının kül giderimi için iki aşamalı asitle ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır:

Öncelikle 1 gr karbon siyahına 20 ml asit karışımı ilave edilecek şekilde, kükürtü giderilmiş olan karbon siyahı %37'lik HCl ve %65'lik HNO_3 asitlerinin 1:1 hacim oranında karıştırılmasıyla oluşturulan asit karışımında 175°C 'de etüvde 30 dakika boyunca ısıtılma işlemi tabi tutulmuş, adi süzgeç kâğıdından süzülerek saf su ile yıkama işlemi gerçekleştirilmiş, son olarak 100°C 'ye ayarlanmış etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur.

Sonrasında 1N H_2SO_4 ve 10N NaOH çözeltileri hacimce 1:1 oranında karıştırılarak bir karışım elde edilmiştir. 1 gram pirolitik karbon siyahı ile 10 ml karışım bir beherde bir araya getirilerek 30 dakika boyunca 60°C 'de etüvde ısıtılma işlemi tabi tutulmuştur. Adi süzgeç kâğıdından süzme işleminden sonra süzgeç kâğıdı üzerindeki karbon

siyahı 1500 ml saf su ile yıkanmış, 100°C 'ye ayarlanmış etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur.

2.2. Kül ve Kükürt Giderim Sonrası Katı Ürün Analizleri

- Kül analizi ağırlıkça yüzde olarak ASTM D 3174 test metoduna uygun olarak Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.
- Kükürt miktarı ise Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM) karbon-kükürt analiz cihazı (Met, Multilab) ile gerçekleştirilmiştir.
- Kül ve kükürt giderim işlemlerinden sonra karbon siyahı için: i) faz analizi Bruker/D8 Advance XRD (X-ışınları difraksiyonu) cihazında $\text{Cu K}\alpha$ ışınımı kullanılarak ve 10° - 100° kırınım açısı aralığında gerçekleştirilmiştir, ii) mikroyapı incelemesi ile Enerji Dağılımlı X-ışını (EDX) analizleri LEO 1430 VP model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM) karakterize edilmiştir.

2.3. Şekillendirme

%10 karbon içeren MgO-karbon refrakter tuğla malzemesi olacak şekilde, ağırlıkça %50 (1-4) mm MgO, %30 (0-1) mm MgO ile %10 (0-1) mm pirolitik katı, %10 toz (63 μm altı) MgO hammaddeleri tartılmış, %2 toz novalak ve %2 sıvı fenolik reçine ile karıştırılmış, Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında özel yapım pres ile $\sim 100 \text{ MPa}$ (35 bar) basınç uygulanarak $\sim 50 \text{ mm}$ çapında ve $\sim 50 \text{ mm}$ boyunda silindirik şekilde şekillendirilmiştir.

2.4. Temperleme

Şekillendirilen numuneler Selçuk Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik bölümündeki Nüve marka MF 120 model kül fırını içerisinde 1.kademede 250°C 'de 3 saat bekletilerek temperlenmiştir. Temperlemede $5^\circ\text{C}/\text{dk}$ 'lık ısıtma hızı kullanılmıştır.

2.5. Açık Gözenek ve Yoğunluk Ölçümü

Bu çalışmada, farklı kompozisyonda hazırlanan parçalar 2'şer saat kaynatılmıştır. Böylece porlarda yer alan havanın çıkarılması ve porların su ile dolması sağlanmıştır. Daha sonra Archimedes düzeneği hazırlanmıştır ve numuneler düzeneğe yerleştirilerek hassas terazide tartılmıştır ve kaynatılan numunelerin su içerisindeki ağırlıkları belirlenmiştir (W_b). Daha sonra sudan çıkarılan numunelerin yüzeyi kâğıt mendil ile silinerek yüzeylerindeki suyu alınıp, yaş ağırlıkları hassas terazi yardımıyla tespit edilmiştir (W_c). Son aşama olarak parçalar etüvde kurutulduktan sonra, kuru ağırlıkları hassas terazide tartılarak belirlenmiştir (W_a). % görünen porozite ve bulk yoğunluk aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\% \text{ Görünen Porozite} = [(W_c - W_a) / (W_c - W_b)] * 100 \quad (1)$$
$$\text{Yığınsal (Bulk) Yoğunluk} = [W_a / (W_c - W_b)] \quad (2)$$

2.6. Mekanik Özelliklerin (Soğuk Basma Mukavemeti) Belirlenmesi

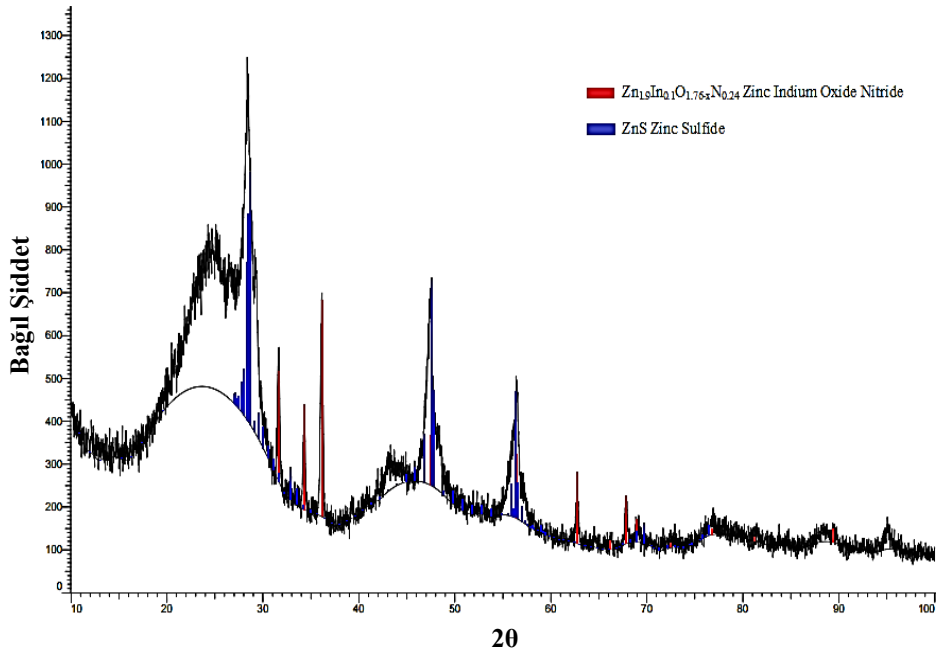
Şekillendirilen numunelere Necmettin Erbakan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm

Laboratuvarında Liya marka basma test cihazı kullanılarak 4 kN/sn hızda 200 ton yük uygulanmıştır. Okunan basınç değerleri (N); kesit alanına (mm^2) bölünerek mukavemet değeri (MPa) hesaplanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Piroliz sonrası katı ürünün elek analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarında ince ürünün $70 \mu\text{m} < D_p < 180 \mu\text{m}$ aralığında tane boyutuna sahip olduğu, kalın ürünün ise $0,090 \text{ mm} < D_p < 1,6 \text{ mm}$ aralığında tane boyutuna sahip olduğu görülmüştür.

Piroliz sonrası katı ürüne uygulanan XRD analizi sonucu Şekil 1'de verilmiştir. Katı ürün içerisinde amorf yapıda karbon, $\text{Zn}_{1.9}\text{In}_{0.1}\text{O}_{1.76-x}\text{N}_{0.24}$ ile ZnS fazlarına ait pikler gözlenmiştir. Lastik üretiminde vulkanizasyon işlemini kontrol etmek için ilave edilen ZnO, yine lastik üretiminde eklenen kükürt ile reaksiyona girerek ZnS oluşturmaktadır [8]. XRD sonuçlarına göre; piroliz işlemi sırasında ZnS kararlılığını koruyarak katı ürün içerisinde yer almaktadır.



Şekil 1. Piroliz sonrası atık lastik XRD analiz sonucu

Piroliz sonrası en düşük oranda kükürt içeren katı numunelere, kükürt oranını ve kül oranını daha da düşürmeye yönelik iyileştirme çalışmaları uygulanmıştır.

Piroliz reaktöründe 500 °C piroliz sıcaklığında, 15 °C/dk ısıtma hızında; 0,5 lt/dk N₂ akış hızında elde edilen D1: piroliz sonrası iri karbon siyahı, D2: piroliz sonrası ince karbon siyahı, D3: kükürt ve kül giderimi yapılarak iyileştirme yapılan iri karbon siyahı, D4: kükürt ve kül giderimi yapılarak iyileştirme yapılan ince karbon siyahı kullanılarak üretilen MgO-C refrakterler için % açık gözenek, yoğunluk, Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

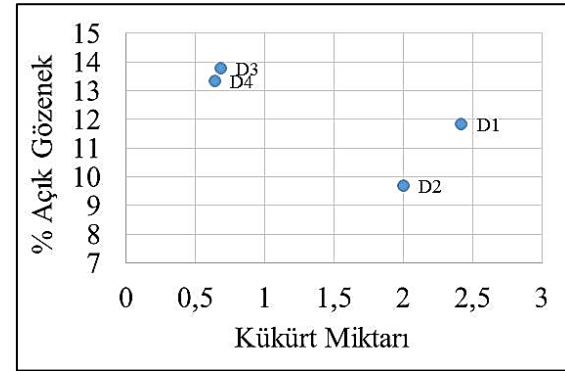
Çizelge 1. Piroliz sonrası ve iyileştirme sonucu elde edilen karbon siyahı denemelerinin gözenek, yoğunluk ve Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) sonuçları

Numune Numarası	Piroliz Sonrası		İyileştirme Sonrası	
	D1 (iri)	D2 (ince)	D3 (iri)	D4 (ince)
Açık Gözenek %	11,85	9,69	13,79	13,34
Arşimet Yoğunluğu (g/cm ³)	2,47	2,50	2,50	2,47
Soğuk Basma Mukavemeti (MPa)	45,18	42,34	56,33	59,57
Kükürt Miktarı %	2,42	2,00	0,68	0,64
Kül Miktarı (%)	23	22	9,02	8,16

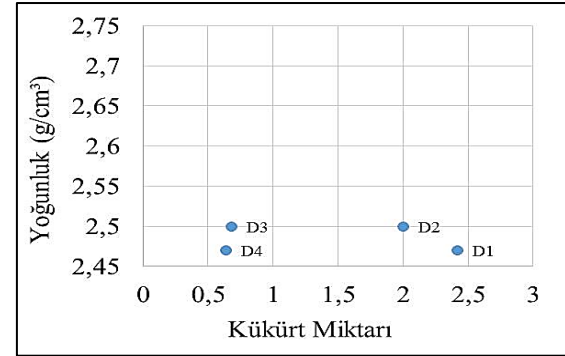
Piroliz sonrası elde edilen karbon siyahının kullanıldığı MgO-C refrakterler ile iyileştirme sonucu başka bir ifade ile kükürt ve kül giderimleri yapıldıktan sonra elde edilen karbon siyahının kullanıldığı MgO-C refrakterlerin yoğunluk ve % açık gözenek değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, kül ve kükürt uzaklaştığı için daha yüksek soğuk basma mukavemeti değerlerine ulaşılmıştır.

İyileştirme sonrası (kükürt giderimi ve ardından iki aşamalı kül giderimi) katı ürünün kükürt miktarına bağlı açık gözenek, yoğunluk ve soğuk basma mukavemeti grafikleri ile kül giderim sonrası kül miktarına bağlı % açık gözenek, yoğunluk ve soğuk basma mukavemeti grafikleri sırası ile Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.

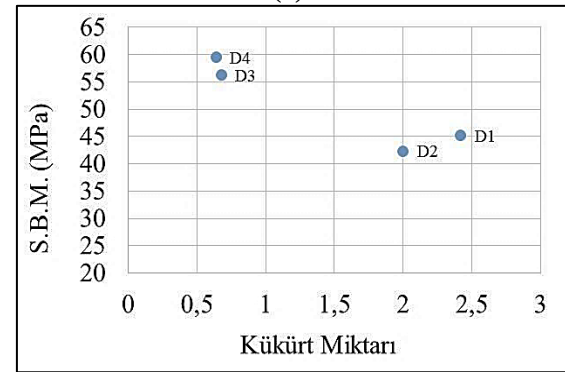
Kükürt ve kül miktarları azaldıkça, bu ürünlerin kullanıldığı refrakter malzemelerin % açık gözenek miktarının ve yoğunluk değerlerinin yaklaşık aynı olmasına rağmen Soğuk Basma Mukavemeti değerlerinin arttığı görülmüştür.



(a)

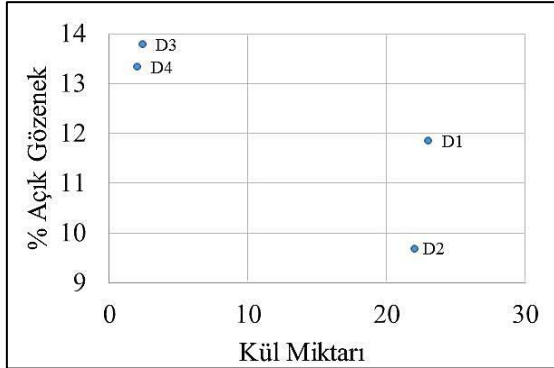


(b)

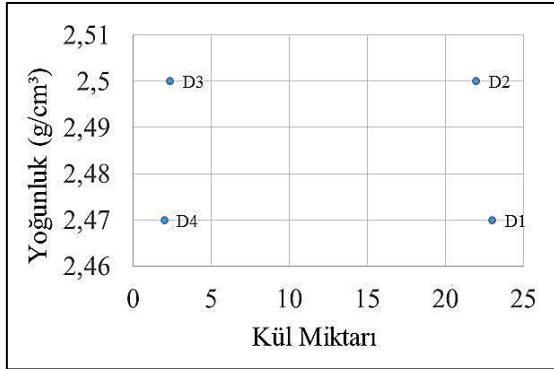


(c)

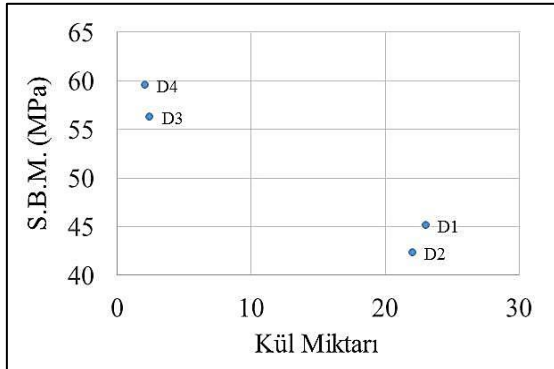
Şekil 2. Kükürt miktarı en düşük olan katı ürün için iyileştirme öncesi ve sonrası, a) % Açık gözenek b) Yoğunluk ve c) Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) grafikleri



(a)



(b)

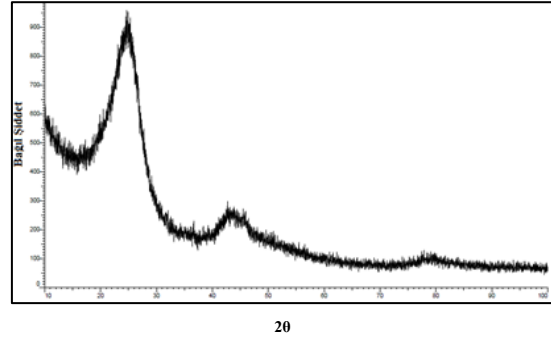


(c)

Şekil 3. Kükürt miktarı en düşük olan katı ürün için iyileştirme öncesi ve sonrası, kül miktarına bağlı a) % Açık gözenek, b) Yoğunluk ve c) Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) grafikleri

Pirolitik Karbon Siyahına uygulanan kükürt ve kül giderim işlemlerinin ardından elde edilen son ürünün içerdiği inorganik madde miktarının

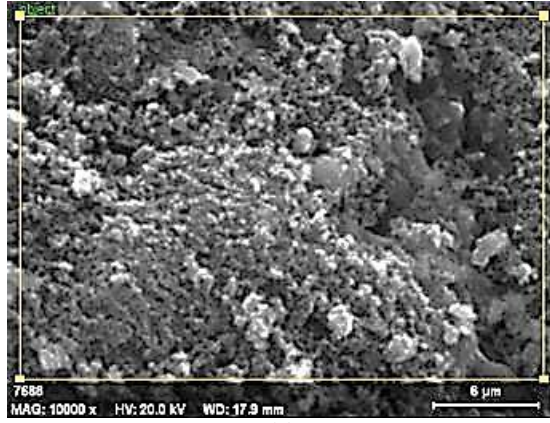
yüksek oranda düşürülmüş olduğu XRD sonucunda görülmektedir. Pirolitik Karbon Siyahına ait kırınım paterni Şekil 4’de sunulmuştur. Pirolitik Karbon Siyahı büyük ölçüde amorf yapı sergilemektedir.



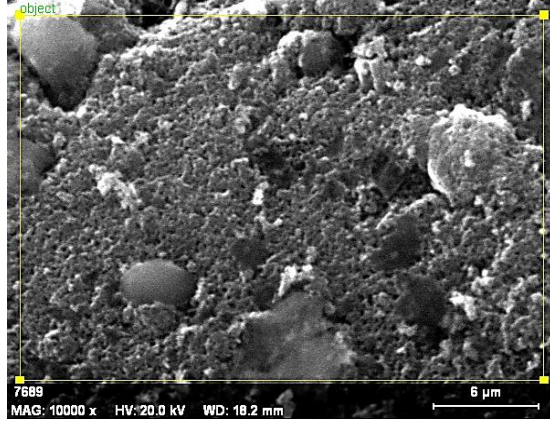
Şekil 4. İyileştirme sonrası (Kükürt ve kül giderimi sonrası) pirolitik karbon siyahı XRD paterni

Piroliz ile üretilen pirolitik karbon siyahının ve yıkanarak kükürt ve kül oranı azaltılan pirolitik karbon siyahlarının morfolojik özelliklerini kıyaslamak amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır. Ayrıca, her karbon siyahının içermekte olduğu elementlerin türlerini tespit etmek amacıyla EDX (Enerji Yayımlı X-ışınları) analizi uygulanmıştır. SEM-EDX sonuçları Şekil 5’de ve Çizelge 2’de sunulmuştur.

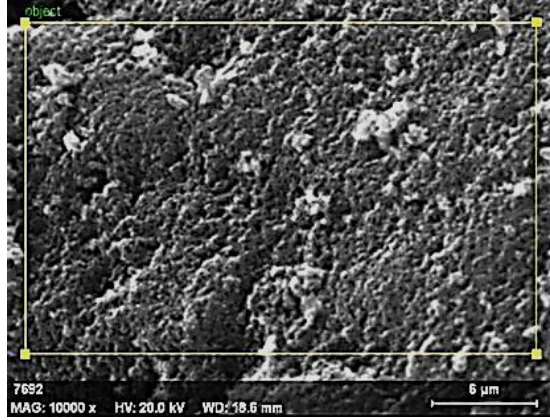
Şekil 5’de yer alan taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, Pirolitik karbon siyahının sahip olduğu pürüzlü yüzey özellikleri ile geniş bir yüzey alanına sahip olarak görünmektedir. Geniş yüzey alanı karbon siyahında istenilen bir özelliktir. Geniş yüzey alanı sayesinde yapı ile etkin bir şekilde bütünleşerek mukavemeti artırabilmektedir. Çizelge 2’de yer alan EDX sonuçlarına bakıldığında, kükürt ve kül giderim işlemleri ile yapıdaki kükürt ve inorganik maddelerin uzaklaştırılması sonucunda karbon miktarının yüzde içerisinde arttığı görülmüştür. Yıkama işlemleriyle, kükürt miktarında belirgin şekilde azalma görülmüştür. Asidik ortamda çözünür olan ZnS katı üründen uzaklaştırılmıştır. Böylelikle, kül miktarının önemli bir bölümünü oluşturan çinko yapıdan uzaklaştırılmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri: a) Piroliz sonrası karbon siyahı, b) Kükürt giderimi sonrası karbon siyahı, c) Kül giderimi sonrası karbon siyahı

Çizelge 2. Piroliz sonrası karbon siyahı, kükürt giderimi sonrası karbon siyahı ve kül giderimi sonrası karbon siyahı EDX analiz sonuçları

Element	Piroliz sonrası karbon siyahı	Kükürt giderimi sonrası karbon siyahı	Kül giderimi sonrası karbon siyahı
	Ağ. %	Ağ. %	Ağ. %
Karbon	42,82	49,76	69,97
Oksijen	14,75	35,13	21,16
Alüminyum	0,73	0,87	-
Silisyum	1,69	10,48	1,01
Kükürt	13,06	0,71	1,37
Demir	1,05	-	-
Çinko	25,91	-	-
Klor	-	3,04	3,27
Sodyum	-	-	3,23

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılan çalışma ile pirolitik karbon siyahı içerisindeki kükürt ve kül miktarlarının MgO-C refrakterlerin % açık gözenek miktarı, yoğunluk ve Soğuk Basma Mukavemeti değerleri için önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Kükürt ve kül miktarlarının azalması ile yoğunluk ve SBM değerlerinin arttığı, % açık gözenek değerlerinin ise azaldığı gözlenmiştir. En iyi sonuçlar iki kez yıkanarak kükürt ve kül miktarları azaltılan pirolitik karbon siyahı kullanımında elde edilmiştir. Piroliz sonrası elde edilen karbon siyahının kullanıldığı MgO-C refrakterlere göre yoğunluk ve açık gözenek değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, iri taneli iyileştirilmiş pirolitik karbon siyahı ile üretilen MgO-C refrakterlerin Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) değerlerinde iyileştirilmemiş iri taneli karbon siyahı içeren MgO-C refraktere göre yaklaşık 1,25; ince taneli iyileştirilmiş pirolitik karbon siyahı ile üretilen MgO-C refrakterlerin Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) değerlerinde iyileştirilmemiş ince taneli

karbon siyahı içeren MgO-C refraktere göre yaklaşık 1,45 kat iyileşme gözlenmiştir.

Tire Rubber and Forestry Biomass Wastes, Procedia Engineering, 42, 1739-1746.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 115M371 numaralı Tübitak projesi tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Gökçe, A.S., 2003. Antioksidan Katkıların Magnezya-karbon Refrakterin Oksidasyon Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
2. Faghihi, M.A., Sani, A.Y., 2002. Oxidation Kinetics of MgO-C Refractory Bricks, Ceramics International, 28, 835-839.
3. Zhang, S., Lee, W.E., 2001. Influence of Additives on Corrosion Resistance and Corroded Microstructures of MgO-C Refractories, Journal of the European Ceramic Society, 21, 2393-2405.
4. Sodyum Hegza Metafosfat Reçine ve Zift Gibi Bağlayıcıların Refraktere Kazandırdığı Özellikler, muhendislik.istanbul.edu.tr/metalurji/wp-content/.../Sodyum-hegza-metafosfat.pptx sitesinden alınmıştır.
5. DPT, 2001. Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu (DPT: 2551 - ÖİK: 567). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2551, 19, <http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/tastopra/oik567.pdf> sitesinden alınmıştır.
6. <http://www.lasder.org.tr/otl-2/otl/> (Son erişim tarihi: 02/06/2017).
7. Martinez, J.D., Puy, N., Murillo, R., Garcia T., Navarro, M., N., Mastral A.M., 2013. Waste Tyre Pyrolysis-a Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 23,179-213.
8. Hu, H., Fang, Y., Liu, H., Yu, R., Luo, G., Liu, W., Li, A., Yao, H., 2014. The Fate of Sulfur During Rapid Pyrolysis of Scrap Tires, Chemosphere, 97:102-7.
9. Bernardo, M., Lapa, N., Gonçalves, M., Mendes, B., Pinto, F., 2012. Study of the Organic Extraction and Acidic Leaching of Chars Obtained in the Pyrolysis of Plastics,