

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 045801 (927-933)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 045801 (927-933)

DOI: 10.35414/akufemubid.871475

Araştırma Makalesi / Research Article

Falcon Konsantratör ile Ermenek Linyitinden Kül ve Kükürdün Uzaklaştırılması

Aydan AKSOĞAN KORKMAZ*

*Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Hekimhan MYO, Maden Teknolojisi Bölümü, Malatya.

e-posta: aydan.aksogan@ozal.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3309-9719>

Geliş Tarihi: 30.01.2021

Kabul Tarihi: 14.08.2021

Öz

Anahtar kelimeler

Linyit; Falcon konsantratör; Kül; Kükürt.

Bir kömürün kalitesini belirleyen en önemli içeriği kül ve kükürttür. Bu bileşenler genellikle kömür içerisinde, ince taneler halinde dissemine şekilde bulunmaktadır. Dolayısıyla kömürlerden kül ve kükürdün uzaklaştırılması oldukça zordur. Falcon konsantratör, özellikle ultra ince kömürlerin yüksek merkezkaç kuvvetleri ile zenginleştirildiği yeni teknolojilerden biridir. Bu çalışmada, Konya Ermenek linyitinin Falcon Konsantratörü ile zenginleştirilme olanakları incelenmiştir. 1,5 l/dk besleme hızı sabit tutularak, -75+38 µm tane boyutlu linyite, farklı katı oranları (%20, %30, %40 ve %50) ve farklı merkezkaç kuvvetlerinde (20G, 100G, 176G ve 300G) testler uygulanmıştır. En iyi sonuçlar, %40-50 katı oranı ve 100G'den büyük merkezkaç kuvvetlerde elde edilmiştir.

Removal of Ash and Sulfur from Ermenek Lignite with the Falcon Concentrator

Abstract

Keywords

Lignite; Falcon concentrator; Ash; Sulfur.

Ash and sulfur are the most important ingredients that determine the quality of coal. These components are generally found in coal in a disseminated form as fine grains. Therefore, it is very difficult to remove ash and sulfur from coals. The Falcon concentrator is one of the new technologies in which ultra-fine coals are enriched with high centrifugal forces. In this study, enrichment possibilities of Konya Ermenek lignite with Falcon Concentrator were investigated. By keeping the velocity of 1.5 L/min constant, -75+38 µm particle size lignite have at different solid ratios (20%, 30%, 40%, and 50%) and at different centrifugal forces (20G, 100G, 176G, and 300G) tests have been applied. The best results were obtained with 40-50% solid rates and centrifugal forces greater than 100G.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile beraber, enerji kullanımına yönelik talepteki artış sebebiyle fosil yakıtların kullanımının arttığı fakat bunun bazı çevresel sorunlara sebep olduğu bilinmektedir. En yaygın kullanılan fosil yakıt petroldür. Ancak petrolün rezervlerinin az olması alternatif kaynakların bulunmasını gerekli kılmaktadır. Kömür, petrole kıyasla daha ucuz ve daha boldur. Yeni teknolojiler ile petrol ve doğal gaz kaynaklarının genişletilmesine rağmen, uzmanlar önümüzdeki yüzyılda ucuz petrol kaynaklarının beklenenden daha erken

bitebileceğini belirtmektedirler. Bu da kömürün ileride daha da önemli olacağını göstermektedir. 2030 yılında, dünya enerji ihtiyacının %45'inin kömürden karşılanacağı düşünülmektedir (Balat 2007). BP Statistical Review of World Energy 2015 verilerine göre; dünya kömür rezervlerinin 115 yıl daha yeterli olacağı tahmin edilmektedir (Int Kyn.1). Bunun yanında diğer fosil yakıtlardan, petrolün 39 yıl ve doğal gazın ise 63 yıl sonra dünyadaki rezervlerinin tükeneceği tahmin edilmektedir (Schobert and Song 2002, Demirbaş 2007). Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinde linyit oluşumlarına rastlanmaktadır. Linyit rezervi

açısından zengin bir ülke olmamıza karşılık yüksek değerli linyitlerimizin miktarı azdır. Nem, kül ve kükürt içeriği yüksek olan, düşük ısı değerli linyitlerin miktarı ise toplam rezervlerin büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Türkiye, giderek artan enerji ihtiyacında dışa bağımlılığı azaltacak ve güvenilir bir şekilde tüketilmesine olanak sağlayacak enerji kaynaklarından linyit kömürü dışında önemli bir fosil yakıt rezervine sahip değildir. Dolayısıyla enerji ihtiyacının karşılanmasında, linyit kömüründen faydalanmak zorunlu bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Uzun yıllar çevresel etkilerinden dolayı yeterince kullanılmayan linyit kömürleri arama, üretim ve tüketim aşamalarında daha verimli, daha temiz ve daha ekonomik bir şekilde faydalanılmasına olanak sağlayacak uygun teknolojilerin kullanılmasıyla, enerji tüketiminde uzun bir süre daha kullanılacak önemli bir yerli kaynaktır (Balat 2008).

Bu yüzden, linyitlerimizden optimum verim alabilmek için kül ve kükürt içeriklerinin azaltılması gerekmektedir. İnce boyuttaki kömürden kül ve kükürdün uzaklaştırılmasında, köpük flotasyonunun yerine son zamanlarda Falcon konsantratör, Multi-Gravite separatör, Altar jig, Kelsey jig, ve Knelson konsantratör gibi gravite ayırıcıların kullanıldığı görülmektedir (Tao vd. 2006, Can vd. 2010, Oruç vd. 2010, Zhang vd. 2011, Boylu 2013, Boylu 2014; Xia vd. 2015).

Falcon konsantratör özellikle çok ince boyutlu kömürler için uygun olan bir gravite zenginleştirme yöntemidir. Çeşitli gelişmiş gravite ayırıcılardan elde edilen mevcut veriler nicel olarak karşılaştırıldığında, Falcon konsantratörün 300G maksimum santrifüj gücünde düşük ayırma yoğunluğunu (D50) sağladığı görülmüştür (Luterell vd. 1995). Dönme hızı, su basıncı ve pülp te katı oranı Falcon konsantratörün ayırma etkinliğinde önemli rol oynayan faktörlerdir (Xia vd. 2015).

Literatürde Falcon konsantratörle yapılmış kömür çalışmalarının istenen şekilde külü azaltmadığı sonucuna varılan çalışmalar olduğu gibi (Can vd. 2010; Oruç vd. 2010; Boylu 2013), linyitlerden kül ve piritik kükürt uzaklaştırmanın başarılı sonuçlar verdiği çalışmalar da bulunmaktadır. (Tao vd. 2006;

Kroll-Rabotin vd. 2013; İbrahim vd. 2014; Zhang vd. 2017; Zhu vd. 2017; Tozsın vd. 2018; Xian vd. 2021).

Bu çalışmada kullanılan Konya Ermenek linyiti literatürde az çalışılmış linyitlerden biridir. Acar Bozkurt vd. (2016) Ermenek linyitinin gazlaşma özelliklerini; Altınar vd. (2016) petrografik özelliklerini; Tongur ve Aydın (2013) ile Tongur vd. (2014) adsorpsiyon özelliklerini; Canel vd. (2016) piroliz özelliklerini; Şensöğüt vd. (2002) termogravimetrik özelliklerini; Kiraz vd. (2004) ise şişme özelliklerini incelemişlerdir. Dolayısıyla Ermenek linyitinin zenginleştirme olanakları daha önce araştırılmamış olup, bu çalışma alanında bir ilk olacaktır. Deneylerden elde edilecek olan sonuçlar özellikle linyit zenginleştirme açısından, diğer araştırmacılar için bir fikir verebilecektir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan Ermenek linyiti, yeraltından çıkarılan kömürün boşaltıldığı silo çıkışından belirli aralıklarla alınmıştır. Daha sonra numune azaltma yöntemleriyle temsili örnekler hazırlanmıştır. Linyitin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla, kısa analiz (nem, kül, uçucu madde, sabit C), elementel analiz (C, H, N, S), ısı değer, XRD ve FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yüzey nemi ASTM D1412'ye, bünye nemi ASTM D3173'e, kül analizi ASTM D3174'e, uçucu madde içeriği ise ASTM D3175'e göre hesaplanmıştır. Kömür örneklerinin sabit karbon içerikleri ise; nem, kül ve uçucu madde içerikleri toplamının 100'den çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Toplam kükürt miktarı elementel analiz yönteminde kullanılan LECO marka CHNS-932 cihazıyla, kalorifik değeri ise IKA C1 marka kalorimetre bombasıyla belirlenmiştir. XRD analizi için Rigaku D Max 2B cihazı ve FTIR analizi için Varian 1000 FT-IR cihazı kullanılmıştır.

Falcon konsantratör, temel olarak bir ayırma oluğu ile devamlı çalışan bir santrifüjün kombinasyonudur. Çok yüksek dönme hızı ve buna bağlı olarak yüksek merkezkaç kuvveti nedeni ile farklı yoğunlukta olan çok küçük tanelerin ayırımında kullanılmaktadır (Falconer 2003). Üstten beslenen malzeme, dönüş hareketinin yarattığı yüksek merkezkaç kuvvetinin etkisi ile yoğunluk farkına göre konik gövdede

tabakalaşmaktadır. Malzeme üst bölgeye ulaştığında yoğunlukça yüksek olan mineraller, yatay dairesel akordeon şeklindeki toplayıcıda birikmekte, birikmiş malzeme belirli aralıklarla yıkanarak buradan alınmaktadır (Kemal ve Arslan 2010, Yıldız 2014).

Deneysel çalışmalar, Şekil 1’de verilen Sepro L40 model Falcon konsantratör cihazında gerçekleştirilmiştir.

Ayırma etkinliği, hem yanabilir verim hem de kül/kükürt uzaklaştırma için hesaba katılması gereken bir parametredir. Ayırma etkinliği, konsantrerede minimum kül içeriği ile tüm yanıcı maddelerin geri kazanımı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bu çalışmadaki ayırma sonuçlarının değerlendirmesinde ayırma etkinliği göz önüne alınmıştır.



Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan Falcon L40 cihazı.

Falcon deneylerinde yanabilir verim, kül/kükürt uzaklaştırma verimi ve ayırma etkinliği aşağıdaki denklemlere göre hesaplanmıştır (Boylu 2013, Boylu 2014).

$$R_{comb.}(\%) = \frac{C \times (100 - c)}{F \times (100 - f)} \quad (1)$$

$$R_{ash/S}(\%) = \frac{T \times t}{F \times f} \quad (2)$$

$$Eff_{sep.}(\%) = \left[\frac{C \times (100 - c)}{F \times (100 - f)} \times 100 \right] - \left[\frac{T \times t}{F \times f} \times 100 \right] \quad (3)$$

$R_{comb.}$: Yanabilir verim

$R_{ash/S}$: Kül/Kükürt uzaklaştırma verimi

$Eff_{sep.}$: Ayırma etkinliği

F: Besleme miktarı

f: Beslemedeki kül/kükürt içeriği

C : Konsantrerede miktarı

c: Konsantrerede kül/kükürt içeriği

T: Atık miktarı

t: Atıktaki kül/kükürt içeriği

Deneysel çalışmada 1,5 l/dk besleme hızı sabit tutularak, -75+38 µm tane boyutlu linyitlere, %20, %30, %40 ve %50 katı oranlarında, 20G, 100G, 176G ve 300G merkezkaç kuvvetlerinde testler uygulanmıştır.

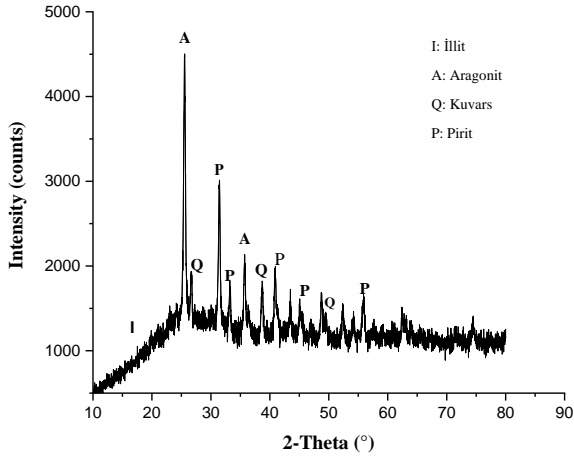
3. Bulgular ve Tartışma

Ermenek linyitinin havada kuru bazda gerçekleştirilen elementel analiz sonuçlarına göre %39,49 C, %5,32 H, %0,90 N ve %3,94 S içerdiği belirlenmiştir. ASTM standartları ile belirlenen kısa analiz (havada kuru bazda) sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Acar Bozkurt vd. (2016) yaptıkları çalışmada, Ermenek linyitinin kül içeriğini %21, S içeriğini ise %3,80 olarak belirlemişlerdir.

Çizelge 1. Ermenek linyitinin kısa analiz sonuçları

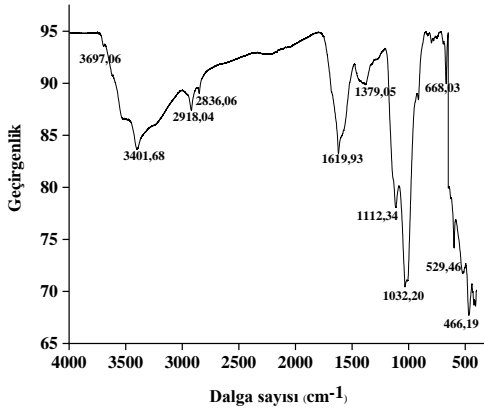
Nem (%)	6,20
Kül (%)	18,15
Uçucu madde (%)	39,75
Sabit C (%) (fark ile)	35,90
Kalorifik değer (kcal/kg)	3199

Linyit örneğinin XRD analizi sonucu Şekil 2’de verilmiştir. Linyitin XRD spektrumunda aragonit, kuvars, pirit ve illit pikleri belirlenmiştir. Bu pikler Altiner vd.’nin (2016) Ermenek linyiti ile yaptıkları çalışmasıyla uyumludur. Piklerin keskin ve simetrik olması nedeniyle inorganik minerallerin kristal yapıda olduğu düşünülmüştür.



Şekil 2. Ermenek linyitinin XRD analiz sonucu.

Yapısal analizi desteklemek ve fonksiyonel grupları belirlemek amacıyla yapılan FTIR spektrumu Şekil 3'de verilmiştir.



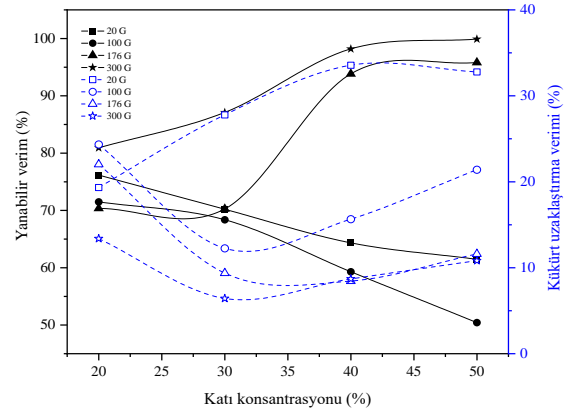
Şekil 3. Ermenek linyitinin FTIR spektrumu.

Şekil 3'de yaklaşık 3697 cm^{-1} piki, linyit içindeki kilden kaynaklanan O-H gerilme pikidir (Dingcheng et al. 2018). Yaklaşık 3402 cm^{-1} dalga boyunda görülen pik, sudaki hidroksil gruplarına ya da fenolik bileşiklere bağlı olarak ortaya çıkan tipik O-H gerilme pikidir (Meng et al. 2014). Alifatik yapının göstergesi olan ve hidrokarbon türlerine bağlı olarak ortaya çıkan C-H titreşim bandı ise 2918 cm^{-1} değerinde görülmektedir. 2836 cm^{-1} bandı bazı araştırmalarda bildirilmiş ancak tespit edilmemiştir (Wang and Griffiths 1985, Michaelian and Friesen 1990). 1620 cm^{-1} pikinin aromatik C=C ve C=O karbonil gerilmelerini, 1379 cm^{-1} pikinin ise yapıdaki metal (Ca, Mg, Na, K) iyonlarının karboksilat gruplarını göstermektedir. 1112 cm^{-1} piki fenol C-O gerilmesine aittir (Qi et al. 2011). Yaklaşık 1032 cm^{-1}

piki M-O-M gerilimini (Si-O-Al / Fe / Mg), 668 cm^{-1} piki ise C-H aromatik bileşenleri göstermektedir (Lievens et al. 2013, Özbayoğlu et al. 2009, Feng et al. 2006). 529 cm^{-1} ve 466 cm^{-1} piklerinin ise yapıdaki piritte bağlı olabileceği belirtilmiştir (Li vd. 2013).

-75+38 μm tane boyutlu linyitin pülpte katı oranına bağlı olarak farklı merkezkaç kuvvetlerinde yanabilir/kükürt uzaklaştırma verim, kül/kükürt içeriği ve ayırma etkinliği hesaplanmıştır. Sonuçlar sırasıyla Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

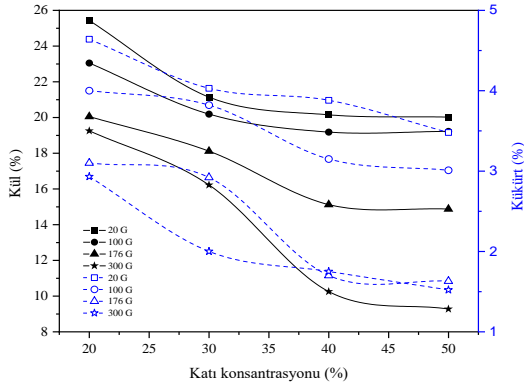
Falcon konsantratör gibi gelişmiş yerçekimi kuvvetli ayırıcılarda, düşük özgül yoğunluklarına rağmen, parçacıklar çökme eğilimi göstermektedir. Yani yüksek özgül ağırlıklı parçacıklar gibi hareket ederler. Genellikle serbest çökme koşulları % 15-20'den düşük katı konsantrasyonlarında, engelli çökme koşulları ise % 20'nin üzerindeki katı konsantrasyonlarında gerçekleştirilir (Boylu 2013).



Şekil 4. Katı oranına bağlı olarak farklı merkezkaç kuvvetlerde yanabilir/ kükürt uzaklaştırma verimi.

Şekil 4 incelendiğinde, tüm G kuvvetlerinde katı konsantrasyonu arttıkça kükürt uzaklaştırma veriminin arttığı görülmüştür. 100 G'ye kadar olan kuvvetlerde artan katı oranıyla birlikte yanabilir verim azalırken, daha yüksek G kuvvetlerinde ise artmıştır. Şekil 5'e göre artan katı oranıyla birlikte tüm G kuvvetlerinde konsantredeki kül ve kükürt içeriklerinin azaldığı belirlenmiştir. Konsantredeki en düşük kül (%9,27) ve kükürt (%1,52) içeriği, %50 katı oranında ve 300 G kuvvette elde edilmiştir. %50 katı oranında merkezkaç kuvvet 176'dan 300 G'ye çıkarıldığında, kül içeriği %15,25'den %9,27'ye düşmüştür. Bu durum, yüksek katı

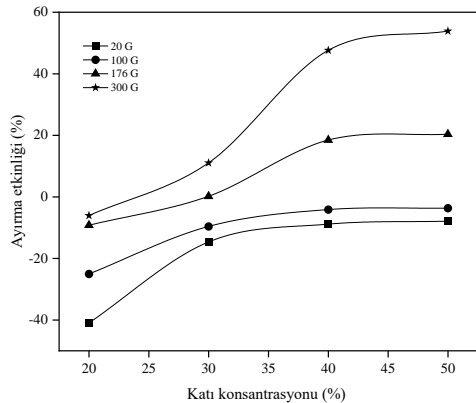
konsantrasyonunda yüksek G kuvveti ile çalışılması gerektiğini göstermiştir.



Şekil 5. Katı oranına bağlı olarak farklı merkezkaç kuvvetlerde konsantredeki kül ve kükürt miktarı.

Zhang vd. (2017) Falcon konsantratörle ham linyitte %26,51 olan kül içeriğini %9,51'e düşürmeyi başarmışlardır. Tozsın vd. (2018) -0,15 mm boyutta %25 katı oranında yaptıkları Falcon zenginleştirme sonucunda ham linyitte %41,78 olan kül içeriğini %26,56'ya düşürmüşlerdir. Yine Zhu vd. (2017) Falcon ile kül içeriğini %31,47'den %14,60'a indirmişlerdir.

Linyit zenginleştirmede, özellikle gravite ayırımının kullanıldığı yöntemlerde, lavedeki piritik kükürt serbestleşmeye bağlı olarak azaltılabilirken, yapısal kükürt külün uzaklaştırılmasına bağlı olarak yükselmektedir. Bu durum kükürdün göreceli olarak azaltılmamasına engel teşkil etmektedir (Honaker vd. 2000).



Şekil 6. Katı oranına bağlı olarak farklı merkezkaç kuvvetlerdeki ayırma etkinliği.

Şekil 6'dan %30'un altındaki katı oranlarında çalışıldığında, ayırma etkinliğinin sıfırın altında olduğu görülmüştür. Bu durum, zenginleştirme

sırasında killi minerallerin konsantreye karıştığını göstermektedir (Boylu 2014). Sadece %30 katı oranında 300 G kuvvette ayırma etkinliği çok düşük olsa da sıfırın üzerinde bir değerdedir. Optimum ayırma etkinliği 300 G kuvvette, %50 katı oranında sağlanmıştır.

4. Sonuçlar

Besleme hızı (1,5 l/dk) ve tane boyutu (-75+38 µm) sabit tutularak yapılan bu çalışmada, yüksek katı oranının (%50) uygulanması ile daha yüksek ayırma etkinliği gerçekleştirilmiştir. Ayırma işleminde uygulanan merkezkaç kuvvetinin de katı oranı kadar önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir. G kuvveti arttıkça, ayırma etkinliğinin de arttığı görülmüştür. Engelli çökelme koşulları 100 G'den daha yüksek kuvvetlerde elde edilmiştir. En yüksek ayırma etkinliği (%53,12), 300 G'de ve %50 katı oranında sağlanmıştır. Bu şartlarda elde edilen lavede beslemeye göre %18,15 olan kül içeriği %9,27'ye ve %3,94 olan kükürt içeriği %1,52'ye düşürülmüştür. Falcon ayırıcısında serbestleşmeye bağlı olarak piritik kükürdün %2,42'sinin uzaklaştırılabildiği belirlenmiştir. Dolayısıyla ince taneli Ermenek linyitinden kül ve kükürt uzaklaştırılmasında kullanılan Falcon konsantratörünün başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Acar Bozkurt, P., Koç, S., Mısırlıoğlu, Z., and Canel, M., 2016. Effect of Demineralization Process on the CO₂ Gasification of Lignite. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, **21(1)**, 201-207.
- Altın, M., Ürünveren, A., ve Ural, S., 2016. *Kömürlerin petrografik özellikleri ile dayanımları arasındaki ilişkinin araştırılması*. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (s: 3249-3254). Adana.
- Balat, M., 2007. Status of fossil energy resources: a global perspective. *Energy Sources, Part B*, **2**, 31-47.
- Balat, M., 2008. Energy consumption and economic growth in Turkey during the past two decades. *Energy Policy*, **36**, 118-127.
- Boylu, F., 2013. Modeling of free and hindered settling conditions for fine coal beneficiation through a Falcon

- concentrator. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, **33**, 277-289.
- Boylu, F., 2014. Autogenous medium fine coal washing through Falcon concentrator. *Separation Science and Technology*, **49**, 627-633.
- Can, M.F., Özgen, S. and Sabah, E., 2010. A study to recover coal from Turkish lignite fine coal tailings: comparison of Falcon concentrator and multi gravity separator. International Pittsburgh Coal Conference (pp:1897-1912). İstanbul.
- Canel, M., Mısırlıoğlu, Z., Canel, E., and Acar Bozkurt, P., 2016. Distribution and comparing of volatile products during slow pyrolysis and hydrolysis of Turkish lignites. *Fuel*, **186**, 504-517.
- Demirbaş, M.F., 2007. Progress of fossil fuel science. *Energy Sources, Part B*, **2**, 243-257.
- Dingcheng, L., Qiang, X., Guangsheng, L., Junya, C. and Jun, Z., 2018. Influence of heating rate on reactivity and surface chemistry of chars derived from pyrolysis of two Chinese low rank coals. *International Journal of Mining Science and Technology*, **28**, 613-619.
- Falconer, A., 2003. Gravity separation: Old technique/New methods. *Physical Separation in Science and Engineering*, **12**, 31-48.
- Feng, J., Li, W-Y. and Xie, K-C., 2006. Thermal decomposition behaviors of lignite by pyrolysis-FTIR. *Energy Sources, Part A*, **28**, 167-175.
- Honaker, R.Q., Singh, N., and Govindarajan, B., 2000. Application of dense-medium in an enhanced gravity separator for fine coal cleaning. *Minerals Engineering*, **13**, 415-427.
- İbrahim, S.S., Anadoly, B.E., Farahat, M.M., Selim, A.Q., and Menshaw, A.H., 2014. Separation of pyritic sulfur from Egyptian coal using Falcon concentrator. *Particulate Science and Technology* **32**, 588-594.
- Kemal, M. ve Arslan, V., 2010. *Kömür Teknolojisi*. İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No.33, 45-65.
- Kiraz, A., Sinağ, A., Tekeş, T., Mısırlıoğlu, Z., and Canel, M., 2004. Effect of pre-swelling on extractability and solvent swelling of Ermenek lignite (Turkey). *Energy Sources*, **26**, 431-439.
- Kroll-Rabotin, J-S., Bourgeois, F. and Climent, E., 2013. Physical analysis and modeling of the Falcon concentrator for beneficiation of ultrafine particles. *International Journal of Mineral Processing*, **121**, 39-50.
- Li, X., Li, C., Qi, T., Zhou, Q., Liu, G., and Peng, Z., 2013. Reaction behavior of pyrite during Bayer digestion at high temperature. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, **23(3)**, 829-835.
- Lievens, C., Ci, D., Bai, Y., Ma, L., Zhang, R., Chen, Y.J., Gai, Q., Long, Y. and Guo, X., 2013. A study of slow pyrolysis of one low rank coal via pyrolysis-GC/MS. *Fuel Processing Technology*, **116**, 85-93.
- Luterell, G.H., Honaker, R.Q. and Phillips, D.L., 1995. *Enhanced gravity separators: new alternatives for fine coal cleaning*. Proceedings, 12th International Coal Preparation Conference (pp.281-287). Kentucky.
- Meng, F., Yu, J., Tahmasebi, A., Han, Y., Zhao, H., Lucas, J. and Wall, T., 2014. Characteristics of chars from low-temperature pyrolysis of lignite. *Energy and Fuels*, **28**, 275-284.
- Michaelian, K.H. and Friesen, W.I., 1990. Photoacoustic FT-i.r. spectra of separated Western Canadian coal macerals: Analysis of the CH stretching region by curve-fitting and deconvolution. *Fuel*, **69**, 1271-1275.
- Oruç, F., Özgen, S. and Sabah, E., 2010. An enhanced-gravity method to recover ultra-fine coal from tailings: Falcon concentrator. *Fuel*, **89**, 2433-2437.
- Özbayoğlu, G., Depci, T. and Ataman, N., 2009. Effect of microwave radiation on coal flotation. *Energy Sources, Part A*, **31**, 492-499.
- Qi, Y., Hoadley, A.F.A., Chaffee, A.L. and Garnier, G., 2011. Characterisation of Lignite as an Industrial Adsorbent. *Fuel*, **90**, 1567-1574.
- Schobert, H.H. and Song, C., 2002. Chemicals and materials from coal in the 21st century. *Fuel*, **81**, 15-32.
- Şensöğüt, C., Yıldırım, Ö.S., Çınar, İ., ve Özdeniz, A.H., 2002. *Bazı yerli kömürlerin termogravimetrik*

karakteristiklerine istatistiksel yaklaşım. Türkiye 13. Kömür Kongresi (s: 145-150). Zonguldak.

Utilization, and Environmental Effects, **39(22)**, 2098-2104.

Tao, Y., Luo, Z., Zhao, Y. and Tao, D., 2006. Experimental research on desulfurization of fine coal using an enhanced centrifugal gravity separator. *Journal of China University of Mining and Technology*, **16**, 399-403.

Zhu, X., Tao, Y. and Sun, Q., 2017. Separation of flocculated ultrafine coal by enhanced gravity separator. *Particulate Science and Technology*, **35(4)**, 393-399.

Tongur, S., and Aydın, M.E., 2013. Adsorption kinetics of chloroform from aqueous solutions onto activated lignite. *Clean Soil Air Water*, **41(1)**, 32-36.

İnternet Kaynakları

IntKyn.1:www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf (11.12.2019)

Tongur, S., Yorulmaz, F., Sevimli, M.F., and Kucukcongar, S., 2014. *Investigation of adsorption capacity of acid yellow dye onto activated Ermenek (Karaman-Turkey) region lignite*. Digital Proceeding Of The ICOEST'2014 (pp: 859-865). Antalya.

Tozsın, G., Acar, C. and Sivrikaya, O., 2018. Evaluation of a Turkish lignite coal cleaning by conventional and enhanced gravity separation techniques. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, **38(3)**, 135-148.

Wang, S.H. and Griffiths, P.R., 1985. Resolution enhancement of diffuse reflectance i.r. spectra of coals by Fourier self-deconvolution: 1. C-H stretching and bending modes. *Fuel*, **64**, 229-236.

Xia, W., Xie, G. and Peng, Y., 2015. Recent advances in beneficiation for low rank coals. *Powder Technology*, **277**, 206-221.

Xian, Y., Tao, Y., and Ma, F., 2021. Study on separation of low-rank coal macerals in enhanced gravity field. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 1-15.

Yıldız, N., 2014. *Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme 1.Cilt*. Ankara, Türkiye: Ertem Basım, 612-635.

Zhang, B., Yang, F., Akbari, H., Mohanty M.K., Brodzik, P., Latta, P., and Hirschi, J.C., 2011. Evaluation of a new fine coal cleaning circuit consisting of a stack sizer and a Falcon enhanced gravity concentrator. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, **31**, 78-95.

Zhang, L., Tao, Y., Yang, L. and Man, Z., 2017. Spatial distribution of fine high-sulfur lean coal in enhanced gravity field. *Energy Sources, Part A: Recovery*,