



Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi :02/12/2017
Kabul Tarihi :19/12/2018

Received Date :02/12/2017
Accepted Date :19/12/2018

Elbistan Linyitlerinin Ağır-Ortam Yöntemi ile Yıkanabilirlik İndekslerinin Belirlenmesi

Determination of Washability Indexes of Elbistan Lignites by Dense Medium Methods

Aydan AKSOĞAN KORKMAZ¹, İsmail BENTLİ^{2*}

¹ İnönü Üniversitesi, Malatya Meslek Yüksekokulu, Maden Teknolojisi Bölümü, Malatya, Türkiye

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Merkez Kampüs, Malatya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İsmail BENTLİ, ismail.bentli@inonu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, Kahramanmaraş Elbistan linyitinin yıkanabilirlik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla sahadan alınan linyit örneğinden 31,5+19 mm, 19+4,75 mm ve 4,75+0,5 mm olmak üzere 3 ayrı boyutta yüzdürme batırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yıkanabilirlik sayısı (W), yıkanabilirlik indeksi/Govindarajan indeksi (WI/GWI) ve yakın yoğunlukta malzeme indeksi (NGMI) gibi farklı yıkanabilirlik indeksleri kullanılarak, Elbistan linyitinin karşılaştırmalı olarak yüzebilirlik özelliği ve gravite yöntemleri ile zenginleştirilmesinin kolay veya zor olacağı ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Tüm bu hesaplamalardan Elbistan linyitinin yıkanabilirliğinin ve zenginleştirilmesinin çok zor olduğu, sadece belirli bir yoğunluk aralığında (1,55-1,65 g/cm³) kontrollü olarak yıkanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Linyit, Yüzdürme-Batırma, Yıkanabilirlik Sayısı, Yıkanabilirlik İndeksi, Yakın Yoğunlukta Malzeme İndeksi.

ABSTRACT

In this study, the washability features Kahramanmaraş Elbistan lignite was investigated. Experimental studies were carried out with the lignite samples taken from Kahramanmaraş Elbistan in Turkey. Firstly, float sink test were made on 31.5+19 mm, 19+4.75 mm and 4.75+0.5 mm particle size fractions. Then, assessment of the washability features was made by using washability number (W), index of washability (WI) and near gravity material index (NGMI). It has also been attempted to find out whether it is easy or difficult to enrichment Elbistan lignite with gravity methods by using washability index methods. From all these calculations, it is concluded that Elbistan lignite is very difficult to wash and gravity enrichment, only it to be washed under control at a certain density (1,55-1,65 g/cm³).

Keywords: Lignite, Sink-Float, Washability Number, Index Of Washability, Near Gravity Material Index.

1. GİRİŞ

Kahramanmaraş-Elbistan linyitleri bilindiği gibi Türkiye'nin en büyük linyit rezervine sahiptir. Bu rezervi değerlendirmek amacıyla son yıllarda yeni termik santral kurma çalışmaları hız kazanmıştır. Termik santrallerin verimli çalışması açısından linyitlerin lavvarlarda yıkanma durumu güncelliğini korumaktadır. Dolayısıyla Elbistan linyitinin yıkanabilirliği ile ilgili her bilginin önemi bulunmaktadır.

Yüzdürme-batırma testleriyle, kömürün hangi yoğunlukta külünden ayrılacağı, ayırma işlemi sonucunda elde edilecek yüzen (temiz kömür) kısmın miktarı ve kül oranının tespit edilmesi mümkündür. Ayrıca yüzdürme-batırma testleri sonuçlarının irdelenmesiyle kömürün kolay veya zor yıkanabileceği hakkında bilgiler edinilmektedir [1]. Yüzdürme-batırma testleri için seçilen yoğunluklar genellikle 1,3 g/cm³'den başlayarak 0,1 g/cm³ artışlarla 2,0 g/cm³'e kadar ayarlanabilmektedir. Saf kömürün yoğunluğu 1,17-1,35 g/cm³, kül oluşturan minerallerin yoğunluğu ise 1,8 (şeyl) g/cm³ ile 7,5 (galen) g/cm³ aralığında olduğundan, kömür yıkamada kullanılacak ZnCl₂ çözeltileri 1,3 g/cm³ ile 1,8 g/cm³ aralığında hazırlanmaktadır [2]. Yüzdürme-batırma testlerinden elde edilen veriler yardımıyla da yıkanabilirlik eğrileri çizilmektedir. Bu eğriler kullanılarak, ham kömürün gravite ayırımının zorluk derecesi belirlenmekte, belirli bir ayırım yoğunluğunda elde edilen ürünün kalitatif ve kantitatif analizi yapılabilmektedir [3-5].

Son yıllarda yüzdürme-batırma verilerinden yararlanılarak yıkanabilirliğin daha iyi anlaşılması amacıyla, yıkanabilirlik derecesi (N) ve yıkanabilirlik sayısı (W), yıkanabilirlik indeksi/Govindarajan indeksi (WI/GWI) ve yakın yoğunlukta malzeme indeksi (NGMI) gibi indeksler geliştirilmiştir. Yıkanabilirliğin; tane boyutu, kül, yüzen ve batan ürünlerin miktarları, birbirine yakın yoğunlukta malzeme miktarı gibi birçok parametreye bağlı olduğu bilinmektedir. Bunlara ek olarak literatürde, optimum

yıkanabilirlik derecesi (degree of washing, N) ve yıkanabilirlik sayısı (washability number, W) gibi parametrelerin yıkanabilirliğin yorumlanması açısından kullanımının faydalı olduğu bildirilmektedir. Yıkanabilirlik derecesi ve yıkanabilirlik sayısı (1) ve (2) deki eşitliklerden hesaplanmaktadır [6].

Yıkanabilirlik Derecesi (N);

$$N = \frac{w(a-b)}{a} \quad (1)$$

Burada;

- a : Ham (beslenen) kömürün külü (%),
- b : Verilen herhangi bir yoğunlukta temiz kömürün (lavenin) külü (%),
- w : Verilen herhangi bir yoğunlukta temiz kömürün (lavenin) yüzen miktarı (%),

Yıkanabilirlik derecesi (N) arttıkça kömürün yıkanabilirliği de artmaktadır. Yıkanabilirlik derecesi, aynı zamanda kömür ile beraber bulunan mineral maddelerin jeolojik depolanma şartlarını da belirlemektedir. Sakin ortamlarda oluşan kömür damarları daha az mineral madde içerdikleri için bu kömürlerin yıkanabilirlik derecesi, hareketli ortamlarda oluşmuş olan kömür damarlarına göre daha yüksektir [7].

Yıkanabilirlik sayısı (W);

$$W = \frac{10(N_{opt})}{b_{opt}} \quad (2)$$

Burada;

- N_{opt} : Optimum yıkanabilme derecesi (Yıkanabilirlik derecesine karşı, ayırma yoğunluğuna göre çizilen eğrinin maksimum değeri),
- b_{opt} : Optimum yıkanabilme derecesindeki kül içeriği (%),

Yıkanabilirlik sayısı (W), optimum seviyede yıkanabilirlik derecesinin temiz kömür külüne oranı olarak tanımlanmaktadır. Yıkanabilirlik sayısı (W) 0 ile 100 arasında bir değer olup, sayı arttıkça kömürün yıkanabilirliği daha kolay gerçekleşmektedir [7].

Govindarajan yıkanabilirlik indeksi (GWI) olarak da ifade edilen kömürün yıkanabilirlik indeksi (WI), 0 ile 100 arasında değişen bir değere sahiptir [8]. Bu değerler 0'dan 100'e doğru zor yıkanabilen (yıkamayan) kömürden kolay yıkanabilen kömüre doğru artmaktadır [9, 10]. Bu indekse göre verilen bir kömürün yüzdürme-batırma verilerinden, beslenen kömürün yüzen kısmının kümülatif fraksiyon ağırlığının bir fonksiyonu olarak külsüz (R_N) ve küllü (R_A) yapıdaki malzemenin verim eğrileri eşitlik (3) ve (4) kullanılarak çizilebilmektedir.

$$R_N = \frac{100(100 - C_A)}{100 - H_A} \quad (3)$$

$$R_A = \frac{100 C_A}{H_A} \quad (4)$$

Burada;

- R_N : Külsüz malzemenin verimi (%),
- R_A : Küllü malzemenin verimi (%),
- X : Beslenen kömürde yüzen kısmın kümülatif miktarı (%),
- C_A : Yüzen kısmın kül yüzdesi (%),
- H_A : Beslemedeki kül yüzdesi (%),

R_A ve R_N (5) ve (6)'daki kübik eşitliklerden hesaplanmaktadır.

$$R_N = aX + bX^2 + cX^3 \quad (5)$$

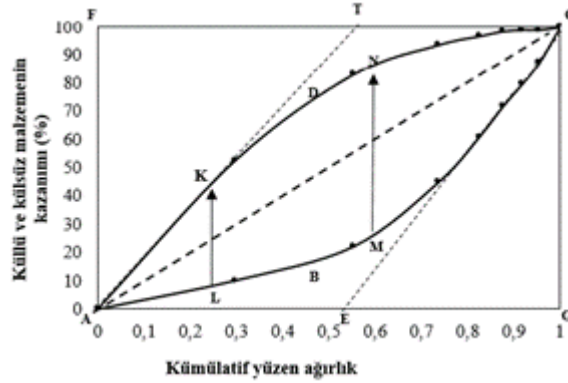
$$R_A = pX + qX^2 + rX^3 \quad (6)$$

Burada a, b, c, p, q ve r sabit değerler olup, kazanım eğrilerinden en küçük kareler metodu kullanılarak belirlenebilmektedir. Buna bağlı olarak, Yıkanabilirlik indeksi (WI/GWI) eşitlik (7)'den hesaplanabilmektedir:

$$WI = \frac{[6a+4b+3c-600][6(a-p)+4(b-q)+3(c-r)]}{3600H_A} \times 100 \quad (7)$$

Belirli bir yoğunlukta tipik bir kömürde yıkamanın zorluk derecesi, $\pm 0,1$ yoğunlukta yüzen malzeme miktarına bağlıdır. Bu, belirli bir ayırma yoğunluğunda yakın yoğunlukta malzeme (NGM) olarak bilinmektedir. Yakın yoğunlukta malzeme miktarına bağlı olarak geliştirilen NGMI indeksi, 0 ile 1 arasında değişen bir değere sahiptir. Bu değer, 0'dan 1'e doğru kolay yıkanabilen kömürden zor yıkanabilen (yıkamayan) kömüre doğru artmaktadır [11, 12]. Şekil 1'e göre NGMI değeri eşitlik (8)'deki gibi ifade edilmektedir. MN ve KL doğruları, belirli bir kömür için optimum yıkama yoğunluğundaki $\pm 0,1$ yoğunlukta küllü (R_A) ve külsüz (R_N) malzemenin kazanımlarından çizilmiş olan iki dikey çizgidir.

$$NGMI = \frac{\text{KLMN alanı}}{\text{ABC ve ADC eğrileri arasındaki alan}} \quad (8)$$

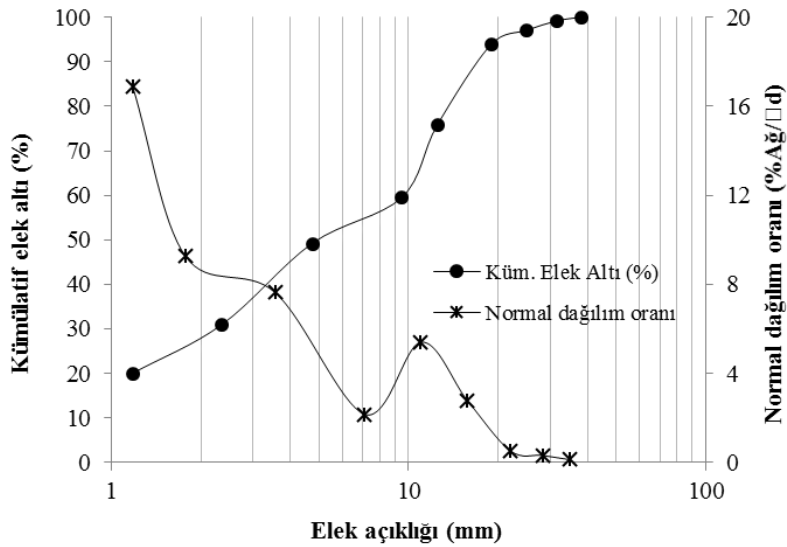


Şekil 1. Herhangi bir Kömür için Küllü ve Külsüz Malzeme Kazanım Eğrileri

Bu çalışmanın amacı, literatürde bulunan yıkanabilirlik indekslerinin Türkiye'nin en büyük rezervine sahip Elbistan linyitine uygulanmasıdır. Elbistan linyitinin yıkanabilirlik indeksleri ile yorumlanmasına çalışılan böyle bir araştırmaya literatürde rastlanılmamıştır. Termik santrallerde kullanılan linyitlerin bile yıkanmaya başlandığı günümüzde, bu çalışmanın ilerideki uygulamalara ışık tutması hedeflenmektedir.

2. MALZEME

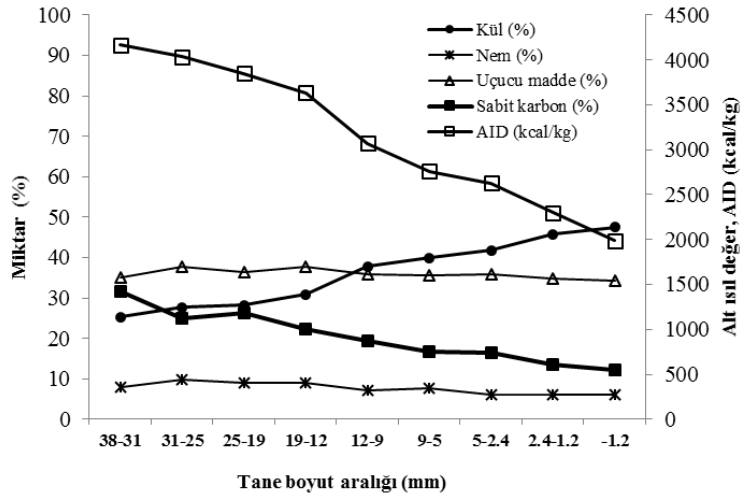
Bu çalışmada kullanılan Elbistan linyiti, sahadan hareketli bant konveyörün döküldüğü yerden belirli periyotlarla 750 kg kadar alınmış ve sonra numune azaltma yöntemleriyle laboratuvar çalışmaları kapsamında kullanılacak temsili örnekler hazırlanmıştır. Laboratuvar çalışmaları kapsamında Elbistan linyitinin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla, elek analizleri ve kısa analizleri gerçekleştirilmiştir. Orijinal baza göre, linyit numunesinden yaklaşık 2,5 kg örnek üzerinde gerçekleştirilen elek analiz sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Orijinal Bazda Elbistan Linyitinin Elek Analiz Sonuçları [25]

Orijinal baza göre Elbistan linyitinin yaklaşık %94'ünün 19 mm boyutunun altında, normal dağılım oranı grafiğine göre, yine linyit örneğinin büyük oranda 20 mm'nin altında olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Ortalama tane boyutu ise 7,94 mm olarak hesaplanmıştır.

Havada kuru baza göre gerçekleştirilmiş olan Elbistan linyitinin tane boyutuna göre kül, nem, uçucu madde ve sabit karbon değişimleri Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde, beklendiği gibi Elbistan linyitinin tane boyutu arttıkça kül içeriğinin azaldığı, buna karşılık alt ısı değer ve sabit C oranının arttığı belirlenmiştir. Nem ve uçucu madde içeriğinin ise tane boyutuna göre değişiklik göstermediği tespit edilmiştir. ASTM sınıflamasına göre Elbistan linyiti, kuru külsüz bazda üst ısı değeri 5280 kcal/kg olduğundan Alt bitümlü-B sınıfına dahildir [13].



Şekil 3. Havada Kuru Baza Göre Elbistan Linyitinin Tane Boyutuna Bağlı Olarak Kısa Analiz Değerlerinin Değişimi [25]

Kısa analizler İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kaba nem ASTM D1412, bünye nemi ASTM D3173, kül analizi ASTM D3174 ve uçucu madde analizi ASTM D3175’e göre yapılmıştır. 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. Kısa analizlerin tümü 3 ölçümün ortalamasıdır. Elbistan linyitinin kısa analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

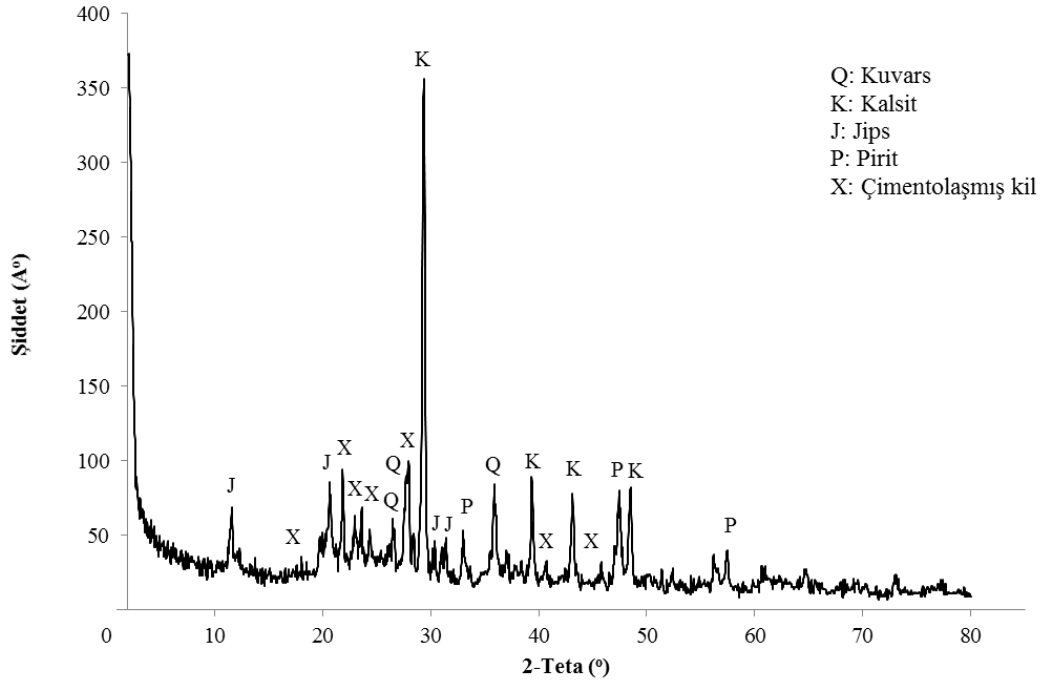
Tablo 1. Elbistan Linyitinin Kısa Analiz Sonuçları [25]

İçerik (%)	Orijinal Baz	Havada Kuru	Kuru Baz	Kuru-Külsüz Baz
Kaba nem	46,72	-	-	-
Nem	50,49	7,07	-	-
Kül	21,13	39,65	42,67	-
Uçucu madde	19,07	35,80	38,52	67,19
Sabit C*	9,31	17,49	18,81	32,81
Toplam S	1,45	2,72	2,93	-
AID (kcal/kg)	1218	2813	3073	5280

* Fark ile

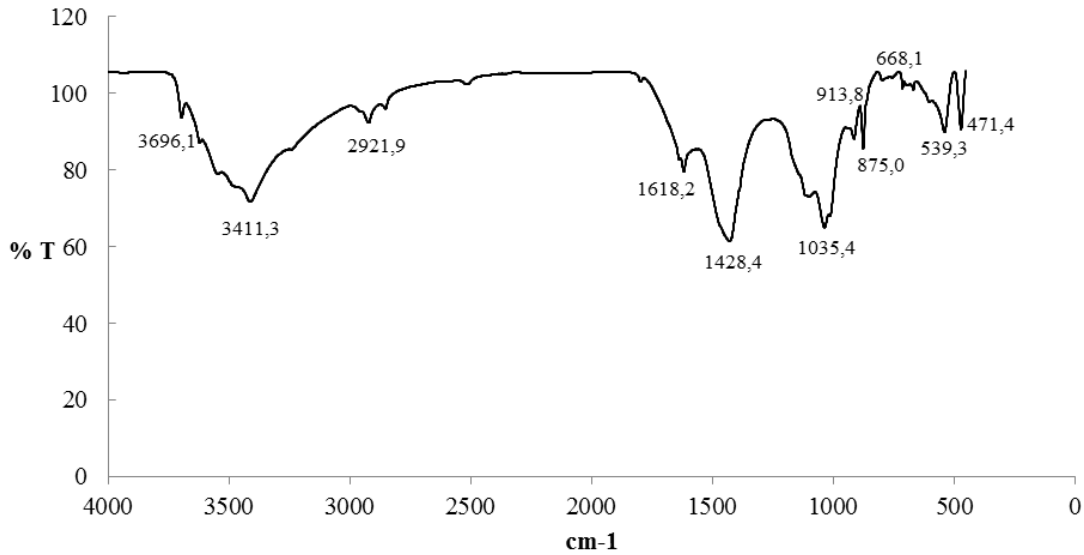
Tablo 1’den Elbistan linyitinin havada kuru bazda %39,65 kül, %35,80 uçucu madde, %7,07 nem ve fark ile %17,49 sabit karbon içerdiği görülmektedir. Alt ısı değeri ise kuru-külsüz bazda 5280 kcal/kg’dır. LECO marka CHNS-932 cihazıyla kuru-külsüz bazda yapılan elementel analiz sonuçlarına göre Elbistan linyitinin %34,74 C, %4,64 H, %0,56 N, %5,14 S ve %54,92 O içerdiği belirlenmiştir.

Orijinal nem oranı göz önünde tutularak yapılan dış görünüş linyit sınıflamasına göre, %50,49 nem içeren Elbistan linyiti yumuşak linyit (nem içeriği %35-60) sınıfına girmektedir. Uçucu madde miktarı kuru-külsüz bazda %67,19 olan Elbistan linyiti Riediger sınıflamasına göre de yumuşak linyit sınıfına girmektedir [13]. Yumuşak linyitlerin, parça sağlamlıkları azdır. Bunlar üretilerek depolandıklarında, kuruma ve oksitlenme sonucu parça sağlamlıklarını tamamen kaybetmekte ve toz haline gelmektedir. Dolayısıyla yumuşak linyitlerin kül ve kükürt içeriklerinin uzaklaştırılmadan ve/veya briketleme işlemine tabi tutulmadan ev yakıtı olarak kullanılmaları uygun değildir. En büyük yumuşak linyit yataklarımızdan biri olan Elbistan linyitinin kül oranı oldukça yüksektir (kuru bazda %40’ın üzerinde). Tablo 1’e göre Elbistan kömürünün havada kuru bazdaki %39,65 gibi yüksek olan kül içeriği ile uyumlu araştırmalar olmakla birlikte [14-17], farklı kül içerikleri bulunan çalışmalar da mevcuttur [18-21]. Sonuç olarak damar kalınlığına ve bulunduğu bölgeye göre, Elbistan linyitleri kül içeriklerinin çok fazla değiştiği anlaşılmaktadır. Rigaku D Max 2B cihazı ile yapılan XRD analizi sonucu incelendiğinde ise linyit yapısında Kuvars (SiO₂), Kalsit (CaCO₃), Jips (CaSO₄.2H₂O), Pirit (FeS₂) ve çimentolaşmış kil minerallerine ait pikler belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Elbistan Linyitinin XRD Pikleri [25]

Yapısal analizi desteklemek ve fonksiyonel grupları belirlemek amacıyla Varian 1000 FT-IR cihazı ile yapılan FTIR spektrumu Şekil 5'de verilmiştir. FTIR spektrumunda yaklaşık 3696 ve 3411 cm^{-1} dalga boylarında görülen pikler, sudaki hidroksil gruplarına ya da fenolik bileşiklere bağlı olarak ortaya çıkan $-\text{OH}$ gerilme pikleridir. Hidrokarbon türlerine bağlı olarak ortaya çıkan ve alifatik yapıyı gösteren $-\text{CH}$ titreşim bandı ise 2922 cm^{-1} değerinde görülmektedir. 1618 cm^{-1} ve 1428 cm^{-1} piklerinin aromatik yapıdaki $\text{C}=\text{C}$ ve $\text{C}=\text{O}$ karbonil gerilmelerini gösterdiği bilinmektedir. 1035 cm^{-1} civarı piki Si-O-Al/Fe/Mg vb. gerilmeleri, 914 cm^{-1} , 875 cm^{-1} ve 668 cm^{-1} pikleri C-H aromatik bileşenlerine ait yapıları göstermektedir [22-24].



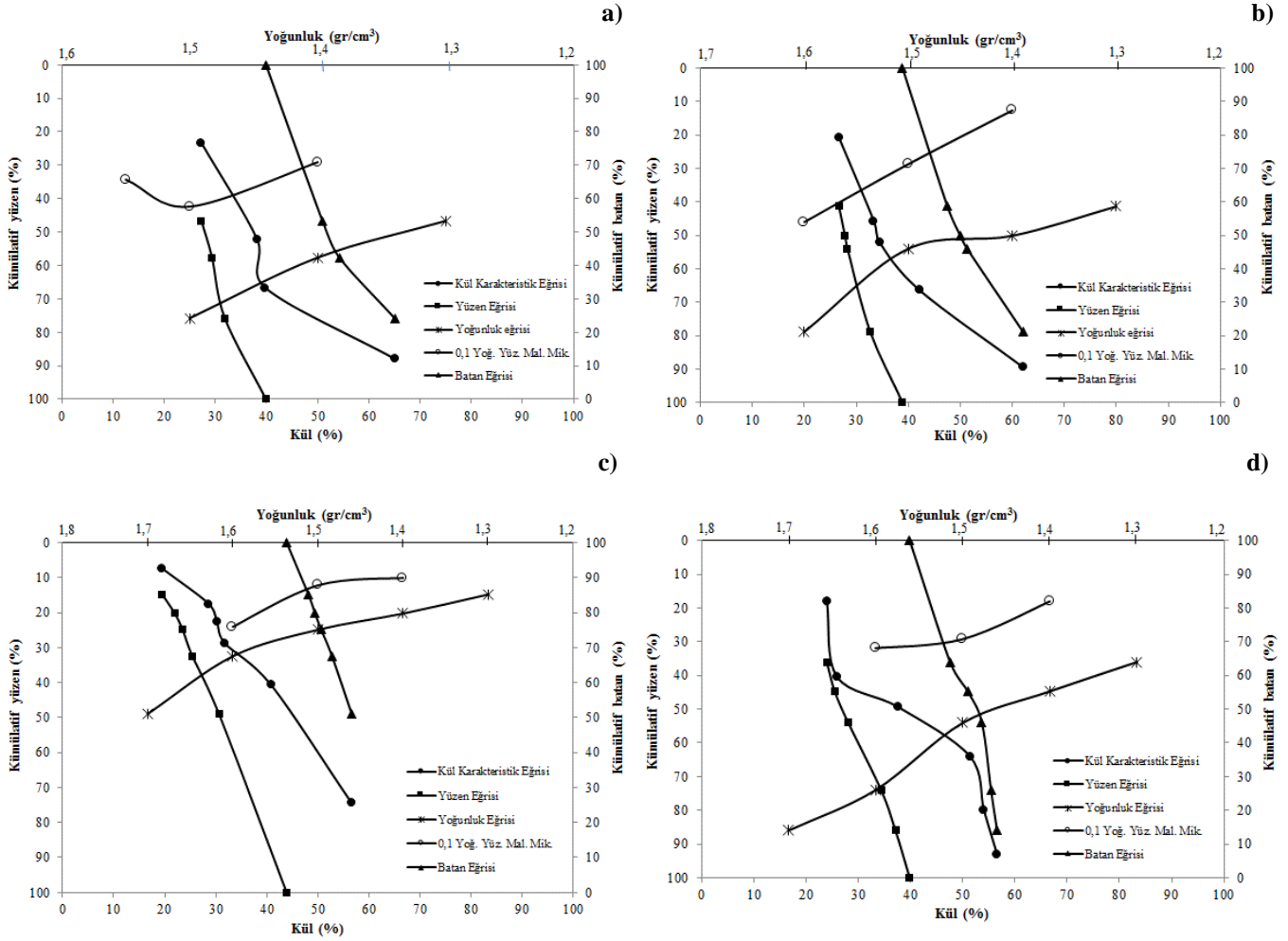
Şekil 5. Elbistan Linyitinin FTIR Spektrumu [25]

3. YÖNTEM

3.1. Yüzdürme-Batırma Deneyleri

Yüzdürme-batırma testleri için havada kuru kömür örneği $-31,5 \pm 19$ mm, $-19 \pm 4,75$ mm, $-4,75 \pm 0,5$ mm ve $-0,5$ mm olmak üzere 4 farklı boyut grubuna ayrılmıştır. Ancak $0,5$ mm altı miktarının %9,8, külünün %54,5 ve boyutunun çok küçük olması nedeniyle yüzdürme-batırma testlerinde kullanılmasına gerek duyulmamıştır. Üç boyut ZnCl_2 ile yoğunlukları $1,3$ - $1,4$ - $1,5$ - $1,6$ - $1,7$ ve $1,8$ g/cm^3 olan ağır ortamlar hazırlanmış ve bu boyut gruplarına yüzdürme-batırma testleri uygulanmıştır. Daha sonra, her bir ürün yıkanmış ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutulan örnekler tartılmış ve kısa analizler için 106 μm altına

öğütülmüştür. Elbistan linyitinin iri (-31,5+19 mm), orta (-19+4,75 mm), ince (-4,75+0,5 mm) tane boyutlarına ait yıkanabilirlik eğrileri sırasıyla Şekil 6a, Şekil 6b ve Şekil 6c'de, tüm tane boyutlarının hesapla birleştirilmesiyle elde edilen beslemenin yıkanabilirlik eğrileri ise Şekil 6d'de verilmiştir [25].

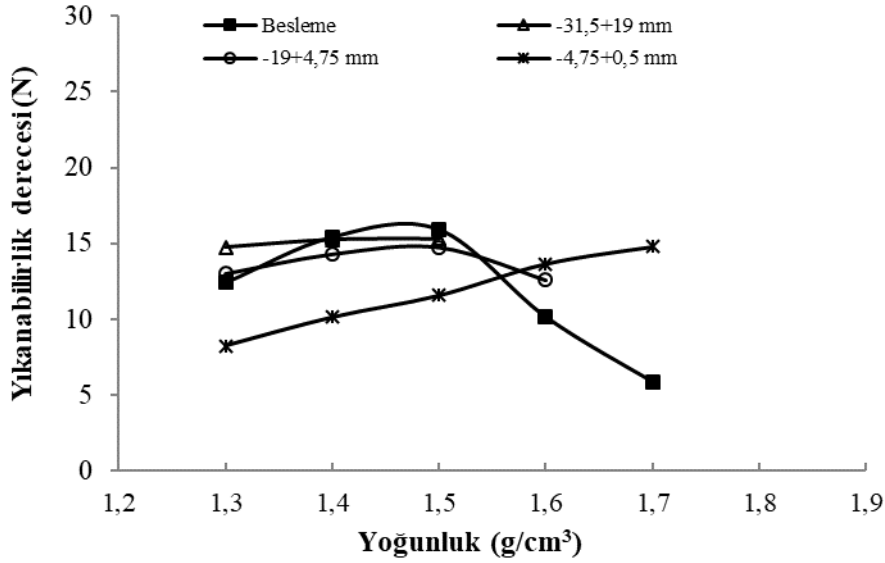


Şekil 6. Elbistan Linyitinin Yıkanabilirlik Eğrileri: a) -31,5+19 mm, b) -19+4,75 mm, c) -4,75+0,5 mm ve d) Birleşik Grafik

1,5 g/cm³ yoğunlukta $\pm 0,1$ yoğunlukta yüzen malzeme miktarı iri, orta, ince ve birleştirilmiş boyutlar için sırasıyla 42,4-28,7- 12,2 ve 29,3'dür. Klasik yöntemle göre elde edilen bu değerler, Elbistan linyitinin yıkanabilirliğinin oldukça zor olduğunu göstermiştir. Kül karakteristik eğrileri ve yüzen eğrilerinden, Elbistan linyitinin belirli bir yoğunlukta dar tane boyutunda çok kontrollü olarak yıkanması gerektiği sonucuna varılmıştır [25].

3.2. Yıkanabilirlik İndeksleri

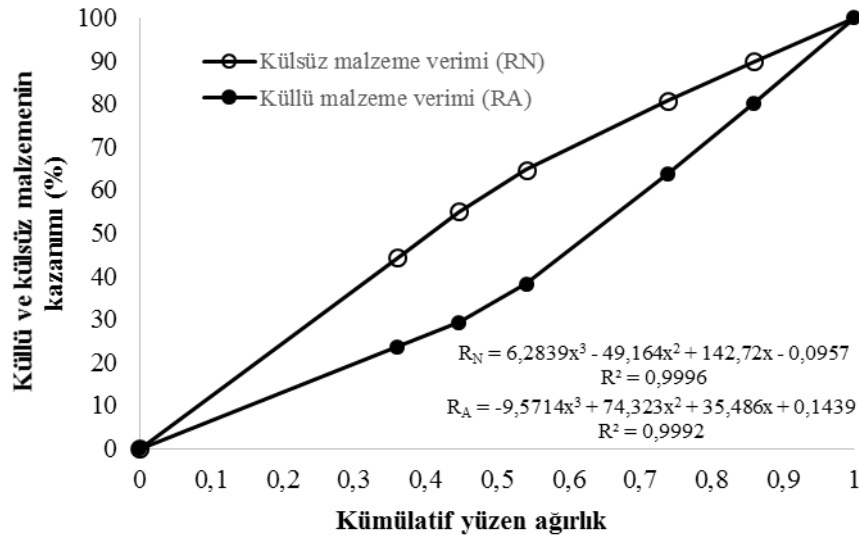
Hesaplanan yıkanabilirlik derecesi (N) değerlerine karşı her bir yüzen yoğunluğun fonksiyon grafiği Şekil 7'de verilmiştir. İri boyut için N değeri 15,23 ve optimum ayırma yoğunluğu 1,4 g/cm³, orta boyut için N değeri 14,90 ve optimum ayırma yoğunluğu 1,48 g/cm³, ince boyut için N değeri 14,80 ve optimum ayırma yoğunluğu 1,7 g/cm³ ve birleştirilmiş boyut için ise N değeri 16,40 ve optimum ayırma yoğunluğu 1,47 g/cm³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Elbistan Linyitinin Tane Boyutlarına Göre Yıkanabilirlik Derecesi [25]

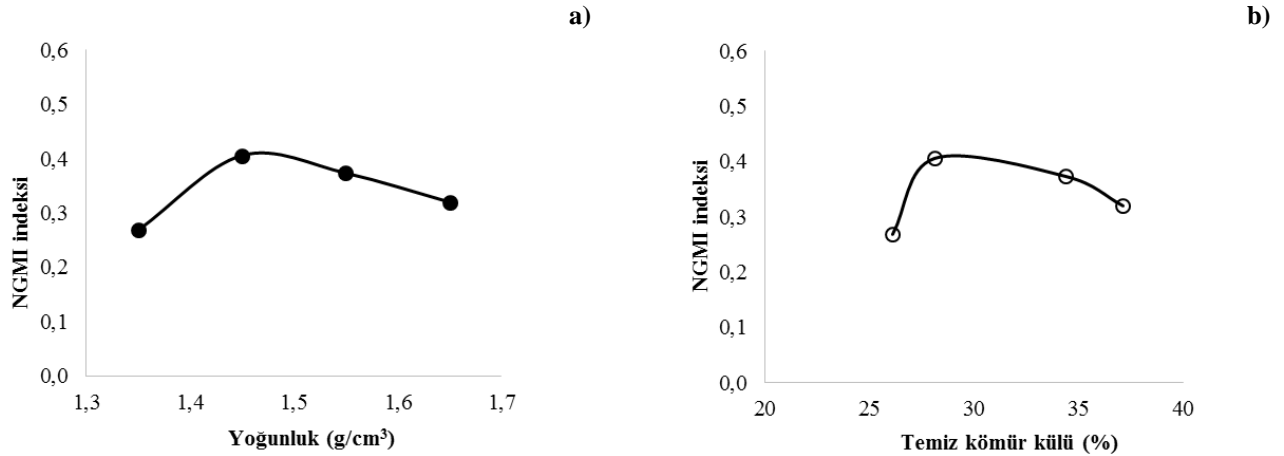
Hesaplanan bu N değerlerinin literatürde hesaplanan N değerleriyle karşılaştırıldığında (Soma Işıklar için 34, Seyitömer için 43, Çan için 28,3, Göynük için 24, Saray için 26,6 ve Keles için 23,3) oldukça düşük olduğu belirlenmiştir [26]. Optimum ayırma yoğunluklarında yıkanabilirlik sayıları (W) iri, orta, ince ve birleştirilmiş boyutlar için sırasıyla 5,19- 5,32- 4,84 ve 5,96 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan W değerleri literatürle karşılaştırıldığında, Elbistan linyitinin nispeten çok daha zor yıkanabilir özellikte olduğu ortaya çıkarılmıştır [2, 7, 27]. Elbistan linyitinin yıkanabilirlik sayısı 9'un altında olduğu için, linyitin uygulamada ufalanabileceği üst tane boyutu 10 mm veya 10 mm'nin altındadır. Yıkama yöntemi olarak +0,5 mm kömür için ağır-ortam siklonu veya eşdeğer cihaz (spiral) kullanılmalıdır [28].

Yıkamanın kolay veya zor olduğunu belirlemek amacıyla, yıkanabilirlik sayısının dışında ayrıca yıkanabilirlik indeksi (WI) ve yakın yoğunlukta malzeme indeksi (NGMI) değerleri de hesaplanmıştır. Elbistan linyiti için kümülatif yüzen kısmın ağırlığına karşılık küllü (R_A) ve külsüz (R_N) malzeme verimleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'deki R_A ve R_N denklemleri kullanılarak WI değeri 10,78 ve NGMI değerleri ise 1,35- 1,45-1,55 ve 1,65 g/cm³ yoğunluklar için sırasıyla 0,47- 0,41- 0,37 ve 0,32 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. Elbistan Linyitinin Küllü ve Külsüz Malzeme Verim Eğrileri [25]

Yoğunluk ve temiz kömür külüne karşılık çizilen NGMI değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9'dan görüldüğü gibi yıkanabilirliğin 1,50 g/cm³ yoğunluğa kadar zor olduğu daha yüksek yoğunluklarda ise gittikçe kolaylaştığı ve temiz kömür külünün de buna bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Hesaplanan NGMI değerlerine göre Elbistan linyitinin optimum 1,55 ve 1,65 g/cm³ yoğunluk aralığında yıkanması gerektiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, yıkanabilirlik eğrileriyle uyum içerisindedir [25].



Şekil 9. Elbistan Linyitinin a) Yoğunluk ve b) Temiz Kömür Külüne Karşılık Çizilen NGMI Değerleri

Klasik bilinen şekliyle kömür yıkanabilirliği denildiğinde, yakın yoğunluktaki malzeme miktarına bağlı olarak ($\pm 0,1$ yoğunlukta yüzen malzeme miktarına göre) kömürün yıkama yapılacağı yoğunlukta ayırma işleminin kolay ya da zor olacağı tespit edilmektedir. Bu değerden yola çıkılarak, su bazlı gravite ayırma sistemleri, ağır ortam ayırma sistemleri, ağır ortam siklon uygulamasında siklona beslenen kömür+ağır ortam malzemesi içerisindeki hacimsel kömür/ortam oranı belirlenebilmektedir. Ancak, yıkanabilirlik indeksi (WI) ve yakın yoğunlukta malzeme indeksi (NGMI) yukarıda belirtilen $\pm 0,1$ yoğunluğunda yüzen malzeme miktarı değerlendirmesinden farklı sonuçlar doğurabilir. Bu değerlendirmede; kömür-şist ayırmasının kolay/zor olmasının belirlenmesinden ziyade, ayırma sonrasında yüksek verimle düşük kül içerikli temiz kömür alma işleminin mümkün olup olmadığı ortaya konulmaktadır. Örneğin kömür söz konusu ayırma yoğunluğunda kolay yıkanabilir bir kömür olmasına rağmen, ayırma yoğunluğunda elde edilecek temiz kömürün kül içeriği %15-30 aralığında ise $\pm 0,1$ yoğunluğunda yüzen malzeme miktarına bağlı değerlendirme ile WI değerlendirmesi birbirinden farklı çıkabilmektedir.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Elbistan linyitinin yıkanabilirliği araştırılmıştır. Elbette ki yüzdürme-batırma sonucunda yüzen külde ve piritik kükürtte de azalma gerçekleşmiştir. Ancak bu çalışmada amaç literatürde verilen yıkanabilirlik indekslerinin Elbistan kömürlerine uygulanmasıdır. Bu amaca yönelik olarak yüzdürme-batırma deneyleri -3,35+19 mm, -19+4,75 mm ve -4,75+0,5 mm olmak üzere 3 farklı boyut grubuna uygulanmıştır.

1,5 g/cm³ yoğunlukta $\pm 0,1$ yoğunlukta yüzen malzeme miktarı iri, orta, ince ve birleştirilmiş boyutlar için sırasıyla 42,4, 28,7, 12,2 ve 29,3 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre, Elbistan linyitinin oldukça zor yıkanabilir özellikte olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Optimum ayırma yoğunluklarında yıkanabilirlik sayıları (W) iri, orta, ince ve birleştirilmiş boyutlar için sırasıyla 5,19 - 5,32 - 4,84 ve 5,96 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler destekleyici nitelikte Elbistan linyitinin oldukça zor yıkanabilir olduğunu göstermektedir. Elbistan linyitinin yıkanabilirlik sayıları (W) 9'un altında olduğu için, linyitin uygulamada ufulanabileceği üst tane boyutu 10 mm veya 10 mm'nin altında olması ve yıkama yöntemi olarak +0,5 mm kömür için ağır-ortam siklonu veya spiral cihazı kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

Yıkanabilirlik indeksi (WI) değeri 10,78 ve yakın yoğunlukta malzeme indeksi (NGMI) değerleri ise 1,35-1,45-1,55 ve 1,65 g/cm³ yoğunluklar için sırasıyla 0,47- 0,41- 0,37 ve 0,32 olarak hesaplanmıştır. Yıkanabilirliğin 1,50 g/cm³ yoğunluğa kadar zor olduğu daha yüksek yoğunluklarda ise gittikçe kolaylaştığı ve temiz kömür külünün de buna bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Elbistan linyiti için en uygun yıkama yoğunluğunun istenen lave özelliğine bağlı olarak 1,55-1,65 g/cm³ aralığında olması gerektiğine karar verilmiştir.

Yüzdürme-batırma deneyleri ve yıkanabilirlik indekslerinin ışığında, Elbistan linyitinin yıkanabilirliğinin çok zor olduğu ve belirli bir yoğunluk aralığında (1,55-1,65 g/cm³) yıkanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bunun en büyük nedenlerinden birinin XRD'den tespit edilen çimentolaşmış kil minerallerinden kaynakladığı deneysel çalışmalarda görülmüştür. Çimentolaşmış kil mineralleri hem ağır-ortamın viskozitesine bozmakta hem de kömür yüzeylerini kaplayarak tanelerin yoğunluğunu etkilemektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı 2015/34 nolu proje ile destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

- [1] Drzymala, J., (2007). Mineral Processing, Foundations of Theory and Practice of Minerallurgy, *Wroclaw University of Technology*, Poland, 507 p.
- [2] Ayhan, F.D., Abakay Temel, H., (2008). Eskişehir-Mihalıççık Linyitinin Yıkanabilme Özelliklerinin Araştırılması, *Madencilik*, 47, 35-42.
- [3] Korkmaz, A.A., Bentli, İ., (2017). Determination of Washability Characteristics of Arguvan (Malatya) Lignite by Different Washability Index Method, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39 (14), 1572-1580.
- [4] Salama, A.I., (1998). Coal Washability Characteristics Index Utilizing the M-Curve and the CM-Curve, *International Journal of Mineral Processing*, 55, 139-152.
- [5] Cebeci, Y., Aslan, N., (2002). Using Float-Sink Data in Simple Equations to Predict Sulfur Contents, *Fuel Processing Technology*, 76, 231-239.
- [6] Holuszko, M.E., Grieve, D.A., (1990). Washability Characteristics of British Columbia Coals, *British Columbia Geological Survey*, 1, 371-379.
- [7] Nasir, S., Kucerik, J., Mahmood, Z., (2012). A Study on the Washability of the Azad Kashmir (Pakistan) Coalfield. *Fuel Processing Technology*, 99, 75-81.
- [8] Govindarajan, B., Rao, T.C., (1994). Indexing the Washability Characteristics of Coal, *International Journal of Mineral Processing*, 42, 285-293.
- [9] Majumder, A.K., Barnwal, J.P., (2004). Development of A New Coal Washability Index, *Minerals Engineering*, 17, 93-96.
- [10] Mir, F., (2014). Washability Characteristic of Low Volatile Pakistani Coking Coal by Crushing, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2, 502-506.
- [11] Sekhar, S.C., Sarkar, B., Das, A., Chatteraj, U.S., Kumar, V., Rao, K.V., Bhattacharyya, K.K., (2007). Analysis of the Washability Characteristics of Low-Volatile Indian Coking Coal with Crushing at Different Top Sizes - A Case Study, *Advanced Gravity Separation*, 83, 188-194.
- [12] Mohanta, S., Sahoo, B., Behera, I.D., Pradhan, S., (2016). Effect of Crushing on Near-Gravity Material Distribution in Different Size Fractions of An Indian Non-Coking Coal, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 95, 209-213.
- [13] Kemal, M., Arslan, V., (2010). Kömür Teknolojisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No.33*, İzmir, Türkiye, 394 s.
- [14] Cicioğlu Sütçü, E., Karayığit, A.İ., (2015). Mineral Matter, Major and Trace Element Content of the Afşin-Elbistan Coals Kahramanmaraş-Turkey, *International Journal of Coal Geology*, 144-145, 111-129.
- [15] Uzun, D., Özdoğan, S., (2011). Combustion Characteristics of the Original and Demineralized Afşin-Elbistan Lignite and Its Char, *Energy Sources, Part A* 33, 283-297.
- [16] Kurumuş, İ., Yıldırım, M., (2004). Afşin/Elbistan linyitlerindeki külün azaltılması, *Türkiye 14. Kömür Kongresi*, Zonguldak, 2-4 Haziran, 141-148.
- [17] Kemal, M., Semerkant, O., (1988). Türkiye Linyit Potansiyeli ve Kullanım Olanağı, *Madencilik*, 27, 17-31.
- [18] Karayığit, A.İ., Gayer, R.A., Querol, X., Onacak, T., (2000). Contents of Major and Trace Elements in Feed Coals from Turkish Coal-Fired Power Plants, *International Journal of Coal Geology*, 44, 169-184.
- [19] Karayığit, A.İ., Gayer, R.A., (2000). Trace Elements in a Pliocene-Pleistocene Lignite Profile from Afşin-Elbistan Field, Eastern Turkey. *Energy Sources*, 22, 13-21.
- [20] Çakal, G.Ö., Yücel, H., Güniz Gürüz, A., (2007). Physical and Chemical Properties of Selected Turkish Lignites and Their Pyrolysis and Gasification Rates Determined by Thermogravimetric Analysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 80, 262-268.
- [21] Sakintuna, B., Yürüm, Y., (2004). Evolution of Carbon Microstructures During the Pyrolysis of Turkish Elbistan Lignite in the Temperature Range 700-1000°C, *Energy and Fuels*, 18, 883-888.

- [22] Elbeyli, İ.Y., Pişkin, S. (2006). Combustion and Pyrolysis Characteristics of Tunçbilek Lignite, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 83, 721-726.
- [23] Kizgut, S., Baran, Y., Çuhadaroğlu, D. (2003). Reactivity and Characterisation of Various Rank Turkish Bituminous Coal Chars, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 71, 857-865.
- [24] Zhang, W., Jiang, S., Wang, K., Wang, L., Xu, Y., Wu, Z., Shao, H., Wang, Y., Miao, M. (2015). Thermogravimetric Dynamics and FTIR Analysis on Oxidation Properties of Low-Rank Coal at Low and Moderate Temperatures, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 35, 39-50.
- [25] Korkmaz, A.A., (2017). Zenginleştirme Yöntemlerinin Değişik Linyitlerin Piroliz Ürün Verimleri Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, FBE Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İnönü Üniversitesi, Malatya, 210 s.
- [26] Ateşok, G., Önal, G., Yıldırım, İ., Altaş, A., (1993). Reichert spiralinin kullanımı ve Türk kömürlerine uygulanabilirliği, *Türkiye XIII. Madencilik Kongresi*, İstanbul, 10-14 Mayıs, 619-628.
- [27] Zhang, Q., Tian, Y., Qui, Y., Cao, J., Xiao, T., (2011). Study on the Washability of the Kaitai Coal, Guizhou Province China, *Fuel Processing Technology*, 92, 692-698.
- [28] Ünlü, M., 1990. The washability characteristics and washing possibilities of Turkish lignites, *Proc. 3rd. International Mineral Processing Symposium*, İstanbul Technical Universty, September 11-13, 274-286.