

## **İnce Boyutlu Kömürlerin Karıştırmalı Değirmende Yapılan Seçimli Aşındırma İle Kuru Olarak Temizlenebilirliğinin Belirlenmesi**

*Determination of Dry Cleanability of Fine Coals by Selective Attrition in a Stirred Mill*

Tuncay Uslu<sup>1\*</sup>, Ercan Şahinoğlu<sup>1</sup>, Oktay Celep<sup>1</sup>

*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon*

\* Sorumlu Yazar: [tuncay43@ktu.edu.tr](mailto:tuncay43@ktu.edu.tr)

### **Özet**

Kömür madenciliğinde üretim, nakliye ve temizleme işlemleri sonunda büyük miktarlarda ince boyutlu kömürler oluşmaktadır. Eğer kaliteleri düşükse bu kömürlerin temizlenmesi ve enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi gerekir. Bu çalışmada, oksitli-kırılgan yapıya sahip ince boyutlu kömürün, laboratuvar ölçekli dikey pinli karıştırmalı değirmende öğütücü ortam kullanılmadan yapılan seçimli aşındırma ve sonrasındaki eleme işlemleriyle kuru olarak temizlenebilirliği araştırılmıştır. Değirmenin dönme hızı, aşındırma süresi ve ayırma eleği boyutu değişken olarak incelenmiştir. Bu yöntemle, % 1.70 - 22.45 oranlarında külün, % 24.92 - 98.99 yanabilir madde verimleriyle kömürden uzaklaştırılabileceği belirlenmiştir.

*Anahtar Kelimeler: İnce Boyutlu Kömür, Kömür Temizleme, Seçimli Aşındırma, Karıştırmalı Değirmen*

### **Abstract**

In coal mining, large amounts of fine coals are produced during excavation, transportation and processing. If their qualities are low, these fine coals should be cleaned and evaluated as energy source. In the present study, cleaning possibility of the fine coal with oxidized - brittle structure by selective attrition in a laboratory scale pin-type vertical stirred mill without grinding media and the subsequent screening was investigated. The stirring speed, attrition time and screen size were examined as variables. It was determined that 1.70 - 22.45% of ash could be rejected from the coal with combustible matter recoveries of 24.92 - 98.99%.

*Keywords: Fine Coal, Coal Cleaning, Selective Attrition, Stirred Mill*

## 1. Giriş

Günümüzde yaş yöntemler, kömürün temizlenmesinde, diğ er bir ifadeyle kül ve/veya kükürt içeriğ inin azaltılmasında en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir (Dwari ve Rao, 2007). Buna karş ın, kömürün kuru olarak temizlenmesinin, su kirliliğ inin yaratılmaması, susuzlandırma iş leminin bertaraf edilmesi, suya ihtiyaç duyulmaması, enerji gereksinimin daha az olması, temizleme sonrası iş lemlerin kolaylaş mış olması, kendiliğ inden parçalanma, tozlanma ve donma olumsuzlukların azaltılması gibi avantajları mevcuttur (Haibin ve ark., 2011; Dwari ve Rao, 2008; Arslan, 2006; Chen ve Wei, 2003). Bu avantajlar, kuru temizlemenin yaş yöntemlere göre daha az yatırım ve iş letme giderlerinin olmasını sağlamaktadır. Bu sebepten dolayı son yıllarda kuru kömür temizleme yöntemleri birçok araştırmacı tarafından yoğun olarak çalışılmaktadır. Bunlardan, havalı ağır ortam, havalı masa ve havalı jig ticari boyutta uygulama alanı bulmuştur (Chen ve Wai, 2003).

Kömürün iç erdiğ i kül yapıcı mineral maddelere göre daha gevrek ve sertliğ inin daha az olması özelliğ inden faydalanılarak uygulanan tamburlu kırma yöntemi uzun yıllardır bilinmektedir. Bu yöntem, nihai temizleme iş leminden ziyade bir ön temizleme iş lemi olup iri boyutlu gangı kömürden uzaklaştırmaktadır. Bu yöntemde tamburlu eleğ in iç ine giren iri boyutlu tüvenan kömür tamburun dönmesiyle üst seviyelere çıkmakta ve sonra alt kısma sert bir şekilde düşmektedir. Yan kayaca göre daha kırılğan olan kömür ufalanarak deliklerden geçmekte ve iri boyutta kalan yan kayaç kırıcı ç ıkışından atılmaktadır (Dwari ve Rao, 2007; Arslan, 2006). Aynı esasa dayalı farklı sistemler hala araştırılmaktadır. Yeraltında kömürün dişli merdaneli kırıcıda kırıldıktan sonra hızla dönen bir bant konveyör üzerinden karş ıda duran kırma plakasına çarpıtılarak plaka önündeki elek vasıtasıyla kömürle gangının ayrılması ile yerüstünde yapılacak nihai temizleme öncesi ön temizleme sağlanmıştır (Jianping ve ark., 2010). Bir başka çalışmada çekiçli kırıcıda kırılan kömürün darbeli öğütme ve sonrasındaki eleme iş lemiyle nihai temizleme yapılmıştır (Csoke ve ark., 2003). Yukarıda bahsedilen çalışmalar iri boyutlu kömürler için yapılmış olup, bu çalışma kapsamındaki ince boyutlu kömürler için seçimli aşındırmaya dayalı temizleme çalışmasına literatürde rastlanmamıştır.

Karıştırmalı değ irmenler son yıllarda birçok cevherin olduğ u gibi kömürün de ince öğütülmesinde kullanılmaya başlanmış olup bu konuda birçok çalışma mevcuttur (Celep ve ark., 2008; Samanlı ve ark., 2010; Hacıfazlıoğ lu ve ark., 2007). Fakat bu çalışmada, karıştırmalı değ irmen, öğütme amacından ziyade, iç inde öğütücü ortam olmadan, sadece iç inde bulunan pinli shaftın karıştırma etkisine bağ li olarak çalışan bir aşındırıcı (attritör) olarak kullanılmıştır. Karıştırma iş lemiyle, kömür tanelerinin birbirlerine ve pinlere sürtünerek seçimli ufalanması ve ardından eleme iş lemiyle kuru olarak temizlenmesi hedeflenmiştir. Aynı yöntem ve ekipmana dayalı başka bir ince kömür temizleme çalışması bulunmamaktadır. Kullanılan kömür örneğ i de ince boyutlu kırılğan, çatlaklı ve oksitli yapısıyla seçimli aşındırma ile temizlenebilirlik açısından çok uygundur.

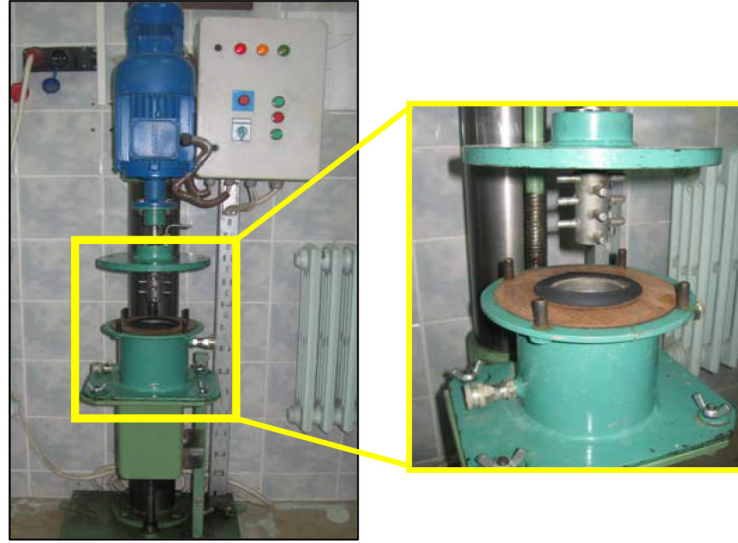
## 2. Malzeme ve Yöntem

Deneylerde kullanılan kömür örneğ i Müzret havzasından (Yusufeli-Artvin) temin edilmiştir. Kömür, yüksek sülfat kükürdü oranı, kırılğan ve çatlaklı yapısı, düşük koklaşma özelliğ i, zayıf yüzdürülebilirlik gibi özellikleriyle tipik bir oksitli kömür özelliğ i göstermektedir. Kömürün kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de gösterilmektedir. Yapılan petrografik ve mineralojik incelemeler, kömürdeki miktar olarak en önemli mineralin pirit olduğ unu göstermiştir. Gözlenen diğ er mineraller ise kil, kalsit, kuvars, jips ve siderit'tir.

Bileşenler	Havada Kuru	Kuru
Nem, (%)	1.85	-
Kül, (%)	18.37	18.71
Uçucu Madde, (%)	23.55	24.00
Sabit Karbon, (%)	56.23	57.29
Sülfat Kükürt, (%)	1.30	1.32
Piritik Kükürt, (%)	2.52	2.57
Organik Kükürt, (%)	2.68	2.73
Toplam Kükürt, (%)	6.50	6.62
Kalorifik Değer, (kcal/kg)	6135	6250

*Çizelge 1. Kömürün kimyasal analiz sonuçları*

Büyük çoğunluğu zaten <1 cm olan kömür örneği %100'ü <1cm olacak şekilde kontrollü olarak kırılmış, örnek bölücü ile azaltılmış ve deneylerde kullanılmak üzere paketlenmiştir. Kömüre uygulanan aşındırma işlemi, içinde öğütücü ortam bulunmayan dikey pinli bir karıştırmalı değirmende yapılmıştır (Şekil 1). Diğer bir ifadeyle karıştırmalı değirmen, değirmenden ziyade bir aşındırıcı (attritör) olarak kullanılmıştır.



*Şekil 1. Aşındırıcı olarak kullanılan dikey pinli karıştırmalı değirmen*

Aşındırma deneyleri 500-1000-1500 dev/dk. karıştırma hızlarında ve 5-10-15 dk. öğütme sürelerinde kuru olarak yapılmıştır. Aşındırılmış kömür, yine kuru olarak elek analizine tabi tutulmuştur. Her bir fraksiyonun kül analizleri yapılmıştır. Kümülatif elek üstü atıldığında veya kümülatif elek altı alındığında elde edilen yanabilir madde verimi (YMV), kül uzaklaştırma oranları (KUO) ve kül ayırma etkinlikleri (KAE) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$YMV (\%) = (A_p/A_F) \times 100 \quad (1)$$

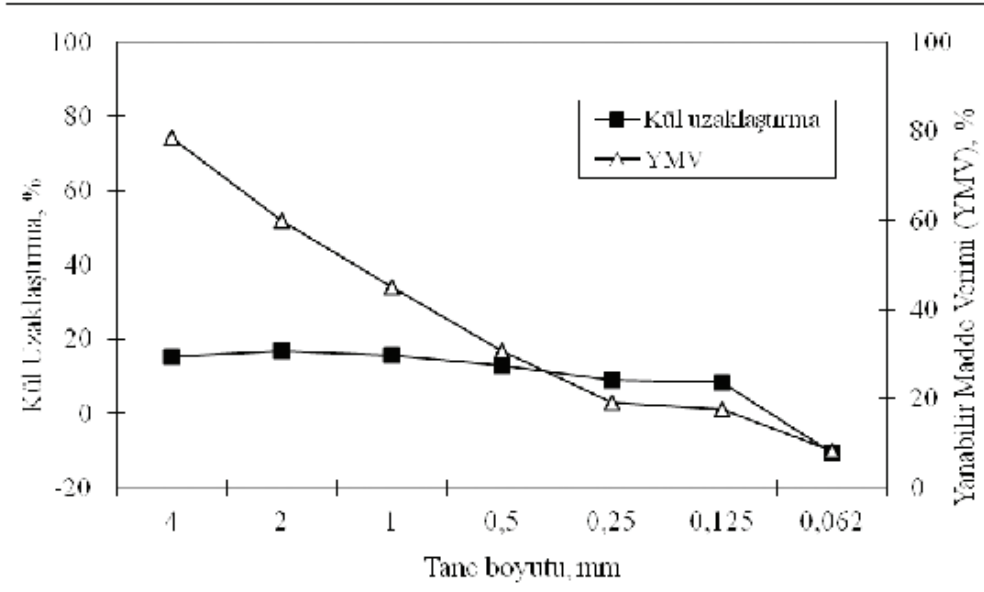
$$KUO (\%) = [(K_F - K_P)/K_F] \times 100 \quad (2)$$

$$KAE (\%) = YMV + KUO - 100. \quad (3)$$

Burada;  $A_p$ ,  $A_F$ , kuru külsüz bazda sırasıyla kümülatif elek altı ürününün ağırlığı (gr), elek beslemesinin ağırlığı (gr),  $K_F$  ve  $K_P$  kuru bazda elek beslemesinin külü (%) ve kümülatif elek altı ürünün külü (%)’dür.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

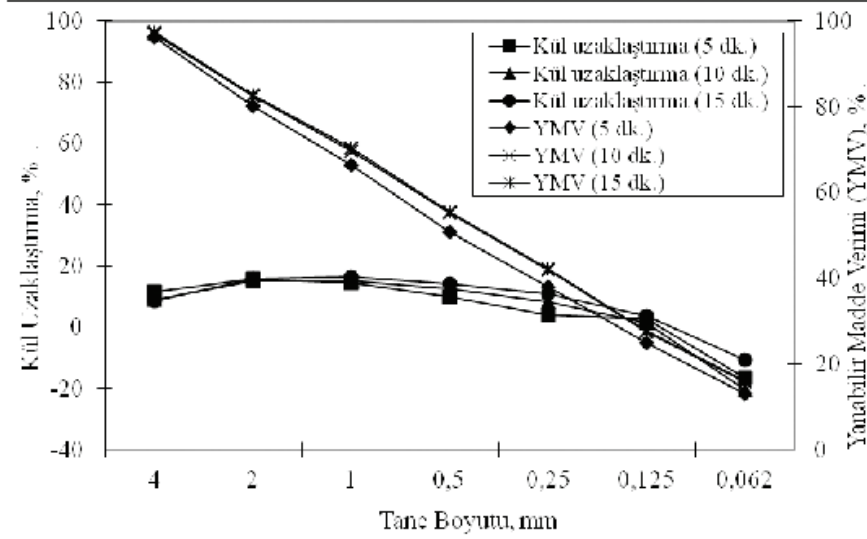
Şekil 2’den görüleceği üzere, kömür örneğinin elek analizinde, aşındırma işlemi yapılmadan sadece eleme işlemi ile bile azda olsa gang ile kömür ayrışmasının sağlanabileceği veya külün uzaklaştırılabileceği görülmektedir. +2mm ve özellikle +4mm’lik boyutlarda kömürün kül içeriğinin fazla olması, kül yapıcı mineral maddenin üst boyutlarda biraz daha fazla toplanması bu sonucu doğurmuştur. Bu durum, kömürün ilk kırma işlemi sonucu ortaya çıkan kırılgeçlilik farkına dayalı ayrışmasından kaynaklandığı kadar, çok kırılgeçlilik, çatlaklı ve oksitli yapısı sonucu gerçekleşen kendiliğinden ufalanmanın da bir sonucudur. Kül oranının <0,062mm’de bir miktar artması, killerin ince boyutları sebebiyle ve bu boyutun altında biraz daha fazla yoğunlaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



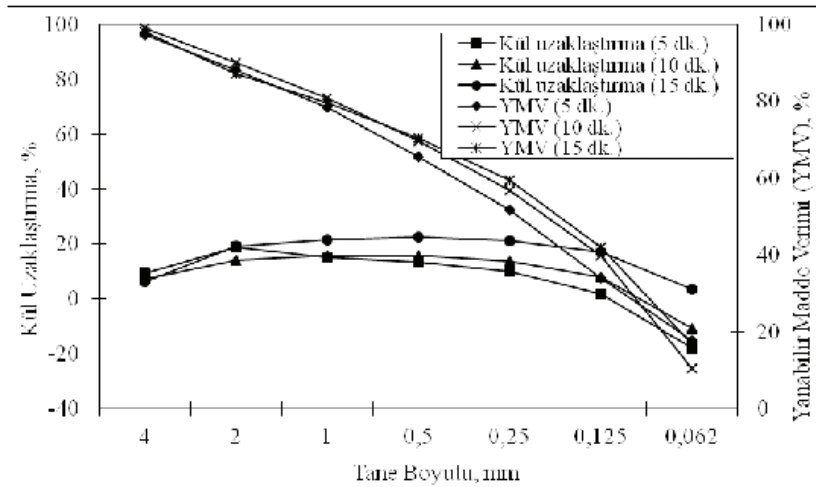
Şekil 2. Aşındırma işlemi yapılmadan sadece eleme ile elek üstü atılarak yapılan kül uzaklaştırma oranları ve yanabilir madde verimleri

Aşındırma işlemi ile +4mm’lik fraksiyonların kül içeriği yaklaşık %51-63’lere yükseltilmiştir. Bu durum kül yapıcı mineral maddelerin aşındırma işleminden daha az etkilendiğini göstermektedir. Aşındırma işlemi sonucu her bir fraksiyonun elek altı miktarları da doğal olarak artmış, bu artış genel olarak gerek artan karıştırma hızı gerekse karıştırma süresiyle doğru orantılı olmuştur. Şekil 3-5’den görüldüğü üzere aşındırma deneyleri sonucu ürünün +4mm’lik kısmı atıldığında, külün %4.9-11.42 arasında uzaklaştırıldığı, elde edilen yanabilir madde verimlerinin %96.99-98.99 arasında değiştiği görülmektedir. Aşındırma işlemi yapılmadan sadece eleme sonucu +4mm’lik kısmın atılmasıyla sağlanan kül uzaklaştırma oranı %15.29, yanabilir madde verimi ise %78.5’dir. Yani, aşındırma ürününün +4mm’lik kısmı atılırsa kül uzaklaştırma oranında bir artış sağlanamamakta, fakat daha fazla yanabilir madde verimi elde edilmektedir. Bu durum, aşındırma sonucunda +4mm’lik kısmın kül oranının yüksek olmasına rağmen miktarının çok az olmasından kaynaklanmaktadır. Aşındırma ürününün +2mm’lik kısımları atılırsa %14-19 arasında kül %82-93 arasında değişen yanabilir madde verimleri elde edilerek uzaklaştırılabilmektedir. Maksimum yanabilir madde veriminin (%93.31) gerçekleştiği durumda kül uzak-

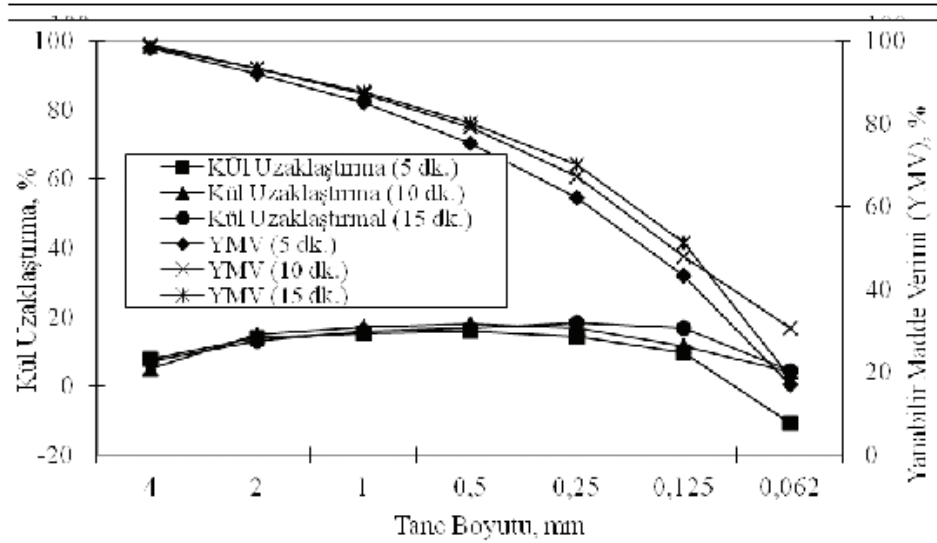
laştırma oranı %14.99 olurken maksimum kül uzaklaştırma (%19.23), %87.19 yanabilir madde verimiyle elde edilmiştir. Aşındırma öncesi yapılan eleme işlemi ile +2mm'lik kısım atıldığında elde edilen kül uzaklaştırma oranının yaklaşık %16.93, yanabilir madde veriminin ise % 59.83 olduğu düşünülürse, aşındırma işlemiyle, aşındırma öncesi sadece eleme ile uzaklaştırılan kül miktarının bir miktar daha fazla, yanabilir madde veriminin ise oldukça fazla artırılması sağlanmıştır. +1mm'lik kısmın atılmasıyla %14.58-21.63 oranlarında kül azaltımı, %66.30-87.52 yanabilir madde verimleriyle sağlanmıştır. En fazla kül uzaklaştırma (%21.63), %79.70 yanabilir madde verimiyle sağlanırken, en fazla yanabilir madde veriminde (%87.52) sağlanan kül uzaklaştırma %15.73 olmuştur. +0.5mm'lik kısım atıldığında ise %12.60-22.45'lik kül-süzleştirme %50.85-80.19'luk yanabilir madde verimleriyle gerçekleştirilmiştir. En yüksek kül uzaklaştırma (%22.45) ve yanabilir madde verimlerine (%80.19) karşılık gelen yanabilir madde verimleri ve kül uzaklaştırmalar sırasıyla %70.41 ve %16.9'dur. <0,5mm'lik elekler için elek üstü kısımlar atıldığında elde edilen yanabilir madde verimlerinin çoğu düşük (%60'ın altında) gerçekleştiğinden bu boyutlardaki kül uzaklaştırmalar çok fazla anlam ifade etmemektedir.



Şekil 3. Aşındırma (500 dev/dk.) sonrası eleme ile elek üstü atılarak yapılan kül uzaklaştırma oranları ve yanabilir madde verimleri



Şekil 4. Aşındırma (1000 dev/dk.) sonrası eleme ile elek üstü atılarak yapılan kül uzaklaştırma oranları ve yanabilir madde verimleri



Şekil 5. Aşındırma (1500 dev/dk.) sonrası eleme ile elek üstü atılarak yapılan kül uzaklaştırma oranları ve yanabilir madde verimleri

Genel olarak, sağlanan yanabilir madde verimlerinin aşındırma süresinin ve karıştırma hızının artmasıyla arttığı görüldüğü de 500 dev./dk.'lık karıştırma hızında 10 ve 15 dak.'lık sürelerdeki değerler birbirine çok yakındır. Kül uzaklaştırma oranlarının da genel olarak süreyle arttığı görüldüğü de farklı karıştırma hızları için bu artışın başladığı elek boyutları farklıdır. 500 dev./dk., 100 dev./dk.ve 1500 dev./dk. karıştırma hızları için bu boyutlar sırasıyla 1mm, 2mm ve 0,5mm'dir. Karıştırma hızları ile kül uzaklaştırma oranları arasındaki ilişki, farklı elek boyutları ve aşındırma sürelerine bağlı olarak değiştiği için net bir şekilde ortaya koyulamamıştır. Fakat en fazla kül uzaklaştırma oranlarının 1000 dev./dk.'lık karıştırma hızında ve 15dk.'da yapılan aşındırma işlemi ile sağlandığı açıkça görülmektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Kömürden %1.70-22.45 oranlarında kül, %24.92-98.99 yanabilir madde verimleriyle uzaklaştırılmıştır. %22.45'lik en yüksek kül uzaklaştırma %70.41 yanabilir madde verimiyle sağlanırken (karıştırma hızı:1000 dev/dak; aşındırma süresi:15 dak.; ayırma elek boyutu:0.5 mm), %98.99'luk en yüksek yanabilir madde veriminde sağlanan kül uzaklaştırma %7.40 olmuştur (karıştırma hızı:1000 rpm; aşındırma süresi:10 dk.; ayırma elek boyutu:4 mm). Kül uzaklaştırma oranı ve yanabilir madde verimleri beraber dikkate alındığında, yani kül ayırma etkinliği dikkate alındığında ise en başarılı sonuç %93.31 yanabilir madde verimiyle külün %14.99'unun uzaklaştırıldığı deneyde (karıştırma hızı:1500 dev/dak; aşındırma süresi:10 dk.; ayırma elek boyutu:2 mm) elde edilmiştir. Yine aynı esasa göre %96.99, %98.99, %98.35 ve %87.19' luk yanabilir madde verimleriyle sırasıyla %8.87, %7.40, %7.31 ve %19.23 oranlarında külün uzaklaştırıldığı deneyler de başarılı sayılabilir.

Bu çalışma temizlenebilirliğin belirlenmesi amaçlı olup sonraki çalışmalarda aşındırma sonrası sınıflandırmanın elek haricinde, hava esaslı sınıflandırıcılar kullanılarak yapılması tavsiye edilebilir. Böyle bir sınıflandırmada, ince tane boyutlarında elek ile sınıflandırmanın dezavantajları aşılmış olacak ve sadece aşındırma sonucu oluşan, kömürün organik kısmıyla çeşitli mineral maddeler arasındaki kırılabilirliğe dayalı boyut farklılığı değil özgül ağırlık farkları da etken olduğundan çok daha başarılı bir kül uzaklaştırma sağlanabilecektir.

## **Kaynaklar**

- Arslan, V., 2006. Kuru kömür hazırlama yöntemleri, Madencilik, 45 (3), 9-18.
- Celep, O., Alp. İ., Türk, T., 2008. İnce öğütme teknolojisinde karıştırmalı ortam değirmenleri ve cevher hazırlamadaki uygulamaları, İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi, 21 (2), 61-73.
- Chen, Q. and Wei, L., 2003. Coal dry beneficiation technology in China: The state-of-the-art China, Particuology, 1 (2), 52-56.
- Csoke, B., Bokanyi, L., Bohm, J. ve Petho, Sz., 2003. Selective grindability of lignites and their application for producing an advanced fuel, Applied Energy, 74, 359–368.
- Dwari, R.K. and Rao, K.H., 2007. Dry beneficiation of coal-a review, Mineral Processing and Extractive Metallurgical Review, 28, 177-234.
- Dwari, R.K. and Rao, K.H., 2008. Non-coking coal preparation by novel tribo-electrostatic method Fuel, 87, 3562–3571.
- Jianping, L.I., Changlong, D.U. and Jianwei, B.A.O. 2010. Direct-impact of sieving coal and gangue, Mining Science and Technology, 20, 0611–0614
- Hacıfazlıoğlu, H., Pilevneli, C.C. and Toroğlu, İ., 2007. Dikey pinli karıştırmalı değirmende Armutçuk kömürünün kuru öğütülmesi ve bilya boyutunun ürün inceliğine etkisi, Madencilik Dergisi, 46 (1), 33-41.
- Haibin, L., Zhenfu, L., Yuemin, Z., Wanchang, W., Cuiyu, Z. ve Ningning, D., 2011. Cleaning of South African coal using a compound dry cleaning apparatus, Mining Science and Technology (China), 21, 117-121
- Samanlı, S., Çuhadaroğlu, D., Uçbaş, Y. and Ipek, H. 2010. Investigation of breakage behavior of coal in a laboratory-scale stirred media mill, International Journal of Coal Preparation and Utilization, 30, 20–31.