

İnce Kömür Zenginleştirme Teknolojisindeki Yenilikler ve Çift Tamburlu Ayrıcı (ÇTA)'nın Endüstriyel Uygulaması

Hasan HACİFAZLIOĞLU*

İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34320 Avcılar/İstanbul

Özet

Bu çalışmada ince kömür zenginleştirme teknolojisindeki yenilikler tartışılmış ve endüstriyel ölçekli ÇTA cihazının kömür temizleme performansı test edilmiştir. Zonguldak havzasında yer alan taş kömürlerinin kırılgen yapıda olması ve toplam tüvenan içerisindeki payının işletmelere göre %30'lara kadar ulaşması nedeniyle havzada ince kömür zenginleştirmenin önemi günden güne artmaktadır. Bu alanda, önceleri sallantılı masalar, feldispatlı jigler ve flotasyon makineleri tercih edilmekteyken, günümüzde özellikle kömür spiralleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan dünyanın çeşitli ülkelerinde kullanım alanı bulunan; MGS, Falcon, Knelson, Icon konsantratörü ve Kelsey jigi gibi alternatif gravite ayırıcıları, TBS ve Reflux gibi hidroseparatorler henüz havzada uygulama alanı bulamamıştır. Bunun muhtemel nedeni, cihazların ilk yatırım maliyetinin yüksek ve işletmede kontrolünün zor olmasıdır. WOC diye bilinen otojen ortam siklonları (su siklonları) ise basit yapısı ve kullanım kolaylığı nedeni ile özellikle son yıllarda spiral öncesinde ön zenginleştirme amacıyla kullanılabilmektedir. Bu çalışmada, bir otojen ortam siklonu olan ÇTA ile ince boyutlu kömürlerin zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnce kömür, zenginleştirme, otojen ortam siklonu, çta

Innovations in Fine Coal Beneficiation Technology and an Industrial Application of Double Drum Separator (DDS)

Abstract

In this study, innovations in fine coal beneficiation technology are discussed and the coal cleaning performance of industrial-scale DDS device is tested. Due to the fact that bituminous coals situated in Zonguldak basin have a friable structure and their share in total raw coal reaches up to some 30% in comparison with enterprises, the significance of fine coal beneficiation in the basin has been increasing day by day. While previously shaking tables, feldspar jigs and flotation machines were preferred in that region, coal spirals are particularly used widespread in the present day. Alternative gravity separators such as MGS, Falcon, Knelson, Icon concentrator and Kelsey jig and hydroseparators like TBS and Reflux have not yet found field of application on the basin. Its possible reason is that the initial investment cost of devices is high and control in their operation is difficult. Autogenous medium cyclones known as WOC can be used for pre-beneficiation purposes before coal spiral in particular in recent years due to their simple structure and ease of use. In this study, beneficiability of fine-sized coals by DDS, which is an autogenous medium cyclone, is investigated.

Keywords: Fine coal, beneficiation, autogenous medium cyclone, dds

*e-mail: hasanh@istanbul.edu.tr

1. GİRİŞ

Zonguldak havzasında üretilen tüvenan kömür, üretim yöntemine ve kömürün kırılmalığına bağlı olarak, farklı boyutlarda olabilmektedir. Genellikle, delme-patla ile yer altı ocaklarından çıkarılan kömürün ortalama tane boyutu 200-400 mm civarında ve belirli bir dağılıma göre sđfira kadar değişen farklı boyut gruplarında olabilmektedir. Tüvenan kömür, yıkama tesisine girmeden önce, 100 mm açıklıklı bir elekten elenmekte ve elek üstü genellikle elle ayıklama (triyaj) yöntemi ile zenginleştirilmektedir. Ya da kırılarak tamamı 100 mm açıklıklı eleğin altına indirilmekte ve -100 mm ile birlikte yıkama tesisine girmektedir. Tüvenan kömürün tamamı 100 mm'nin altına indirildikten sonra, alt ve üst katlardaki elek açıklıkları 1 ve 18 mm olan çift katlı titreşimli ön-yıkama eleğinden geçirilir. Bu elekte -1 mm'lik ince kömür ayrıldıktan sonra, 1-18 mm boyut grubu ağır ortam siklonlarına beslenir. 18-100 mm boyut grubu ise genellikle Wemco tipi ağır ortam tamburlarıyla ya da Drewboy teknesi ile zenginleştirilmektedir. Bazı eski tesislerde ise halen jiglerle 1-100 mm boyutu tüvenan kömürün yıkaması yapılmaktadır.

Zonguldak kömürlerinin kırılmal yapıda olması ve üretim yöntemi nedeniyle aşırı ufalanması ince boyut grubunda tesis kayıplarını önemli ölçüde arttırmaktadır. Havzada üretilen tüvenan kömürün işletmelere göre %15 ile %30'u ince boyutlu kömür diye tabir edebileceğimiz -1 mm boyutlu kömürlerden oluşmaktadır. Bu durum, özellikle ince boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. 2005 yılı öncesinde ince boyutlu tüvenan kömürler genellikle Çatalağzı termik santralinde elektrik üretimi için kullanılmaktaydı. Ancak, günümüzde rödevanslı sahaların ve dolayısıyla üretilen tüvenan kömürlerin miktarının artması ile birlikte oluşan ince boyutlu kömürlerin miktarı da artmış ve mevcut termik santrallerin yakma kapasitesinin çok çok üzerine çıkmıştır. Bu yüzden termik santrallerde yakılamayan arz fazlası kömürün zenginleştirilme ihtiyacı doğmuştur. Son 7 yıldır Zonguldak havzasında üretilen ince boyutlu kömürler zenginleştirilmekte ve ortalama ısıl değerleri 6500 kcal/kg'ın üzerine çıkartılarak demir-çelik sektöründe yüksek fırın yakıtı olarak değerlendirilmektedir. Ülkemizdeki çoğu linyit yıkama tesisleri de dahil olmak üzere, Zonguldak havzasındaki ince boyutlu kömürlerin hemen hemen hepsi, kömür spiralleri ile zenginleştirilmektedir. Bazı tesislerde, flotasyon ve sallantılı masa uygulamaları halen mevcuttur. Yaygın olarak kullanılan spiral ayırıcılarda genellikle verimsiz çalışma koşulları uygulanmakta (yüksek besleme miktarı, yüksek katı oranı vb gibi) ve bu cihazlardan istenen kül ve verim değerleri elde edilememektedir. Spirallerde yaşanan bir diğer önemli problem ise cihazdan çıkan atığın nihai atık niteliğinde olmamasıdır. Bu bakımdan kömür hazırlama sektöründe; kullanımı kolay, kapasitesi ve verimi yüksek ince kömür zenginleştirme cihazlarına olan talep günden güne artmaktadır. Her ne kadar yurtdışında MGS, Falkon, Knelson, Kelsey Jig, TBS ve Reflux gibi ileri teknoloji cihazlar ile ince boyutlu kömürler zenginleştirilebilse bile, ülkemizde henüz bu cihazlara sıcak bakılmamaktadır. Bunun muhtemel nedeni; ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, yan sanayisinin bulunmaması, karmaşık olması ve cihazı işletebilecek kalifiye personelin bulunmamasıdır. Bu bağlamda, kullanım kolaylığı ve ilk yatırım maliyetinin düşüklüğü nedeni ile yerli malı ÇTA cihazı ince kömür zenginleştirmede önemli bir alternatif olarak görülmektedir.

Bu makalede yeni teknoloji ince kömür zenginleştirme cihazları tanıtılacak ve Türkiye’de geliştirilmiş olan ÇTA cihazı ile endüstriyel ölçekte yürütülen bazı çalışmaların sonuçları değerlendirilecektir.

2. ALTERNATİF İNCE KÖMÜR ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Kömür yıkama tesislerinde ince kömürün zenginleştirilmesi için dünya genelinde kabul görmüş çeşitli yöntemler vardır. Bugün itibariyle, ince kömürler sırasıyla kömür spiralleri, flotasyon makinaları, feldispatlı jigler, sallantılı masalar, su siklonları ve az da olsa MGS, TBS ve Reflux gibi bazı yeni teknoloji cihazlarla zenginleştirilmektedir. Bu cihazlar arasında, spiraller ve flotasyon makinaları en yaygın kullanılan ince kömür zenginleştirme yöntemleridir. Ancak son zamanlarda köpürtücü temininin zorluğu ve fuel oil (ya da gazyağı) fiyatının yüksek orandaki artışı özellikle Türkiye’de kömür flotasyonunu olumsuz yönde etkilemiştir. Bu bakımdan Zonguldak havzasındaki birkaç tesis hariç, Türkiye genelinde kömürde flotasyon uygulaması neredeyse terk edilmiş durumdadır. Yapılan projeksiyonlara göre birkaç yıl içerisinde flotasyondan tamamen vazgeçileceği ve kömür spiralleri ile ya da yeni teknoloji gravite cihazları (özellikle MGS, Falcon, TBS ve Reflux gibi) ile zenginleştirme yapılacağı tahmin edilmektedir. Tablo 1’de ince kömürün zenginleştirilmesi için kullanılabilecek alternatif yöntemler kısaca özetlenmiştir.

Tablo 1. İnce kömür zenginleştirme yöntemleri

Zenginleştirme Cihazının Adı	Uygulama Tane Boyutu (mm)	Proses Özelliği ve Uygulanma Durumu	Kaynaklar
Kömür Spirali	-2+0.75	Kömür ve yan taş arasındaki yoğunluk farkından faydalanarak ayırım yapmaktadır. Türkiye’de ince kömürün zenginleştirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir.	[1 ve 2]
Sallantılı Masa	-8+0.75	Kömür ve yan taş arasındaki yoğunluk farkından faydalanarak ayırım yapmaktadır. İnce kömürün zenginleştirilmesinde geçmişte kullanılmıştır. TTK Armutçuk müessesesinde uygulaması mevcuttur.	[1 ve 2]
Feldispatlı Jig	-12+0.50	Klasik jigde feldispat yatağı oluşturularak, yoğunluk farkına göre ayırım yapmaktadır. İnce kömürün zenginleştirilmesinde kullanımı yaygın değildir. Geçmişte TTK’da Acco Jigi şeklinde uygulanmıştır.	[1-2-3]
MGS (Multi-Gravity Separator)	-0.5+0.020	Kömür ve yan taş arasındaki yoğunluk farkından ve santrifuj kuvvetlerinden faydalanarak ayırım yapmaktadır. İnce kömürün zenginleştirilmesinde kullanımı yaygın değildir. Daha çok metalik cevherlerin zenginleştirilmesi için İngiltere’de geliştirilmiştir.	[4-5-6]

Falkon Konstratörü	-0.5+0.020	Kömür ve yan taş arasındaki yoğunluk farkından ve santrifuj kuvvetlerinden faydalanarak ayırım yapmaktadır. İnce kömürün zenginleştirilmesinde kullanımı yaygın değildir.	[1-7-8-9]
Knelson Konstratörü	-0.5+0.020	Kömür ve yan taş arasındaki yoğunluk farkından ve santrifuj kuvvetlerinden faydalanarak ayırım yapmaktadır. İnce kömürün zenginleştirilmesinde kullanımı yaygın değildir.	[9-10-11]
Kelsey Jigi	-0.5+0.020	Kömür ve yan taş arasındaki yoğunluk farkından ve santrifuj kuvvetlerinden faydalanarak ayırım yapmaktadır. İnce kömürün zenginleştirilmesinde kullanımı yaygın değildir.	[3-7]
Icon Konstratörü	-0.5+0.020	Kömür ve yan taş arasındaki yoğunluk farkından ve santrifuj kuvvetlerinden faydalanarak ayırım yapmaktadır. İnce kömürün zenginleştirilmesinde kullanımı yaygın	-
TBS <i>Teeter Bed Separator</i> (<i>CrossFlow</i>)	-3+0.75	Kömür ve yan taş arasındaki yoğunluk farkından ve suyun kaldırma kuvvetinden faydalanarak ayırım yapmaktadır. İnce kömürün zenginleştirilmesinde son dönemde kullanımı giderek artmıştır.	[12 ve 13] [13 ve 14]
Reflux Classifier	-3+0.75	Kömür ve yan taş arasındaki yoğunluk farkından ve suyun kaldırma kuvvetinden faydalanarak ayırım yapmaktadır. İnce kömürün zenginleştirilmesi için Güney Afrika'da pek çok uygulaması mevcuttur.	[14]
WOC (<i>Water-Only Cyclone</i>) <i>Su Siklonu</i>	-3+0.75	Kömür ve yan taş arasındaki yoğunluk farkından ve otojen ağır ortam etkisinden faydalanarak ayırım yapmaktadır. spiral öncesi, ince kömürün ön zenginleştirmesinde kullanılmaktadır.	[2 ve 3]
Köpük Flotasyonu (<i>Klasik, Jet ve Kolon Flotasyonu şeklinde</i>)	-0.5+0.00	Flotasyon fizikokimyasal bir işlemdir. Hidrofob tanelerin yüzdürülmesi, hidrofil tanelerin batması yolu ile ayırım gerçekleştirilir. En bilinen flotasyon makineleri klasik karıştırmalı hücrelerdir. Son dönemde jet ve kolon flotasyonu yöntemleri ile 0.1 mm'den daha küçük tanelerin zenginleştirilmesi mümkün olmuştur. Bitümlü kömürlerin zenginleştirilmesinde dünya üzerinde pek çok uygulaması mevcuttur.	[15]
Yağ Aglomerasyonu	-0.5+0.00	Yağ aglomerasyonu fizikokimyasal bir işlemdir. Kömür gibi hidrofob tanelerin topaklanması, hidrofil tanelerin dağılması esasına dayanır. Bu karışım daha sonra elenerek elek üstünden temiz kömür elde edilebilmektedir. Endüstriyel ölçekte uygulaması bulunmamaktadır.	[16-17-18]
Seçimli Flokülasyon	-0.5+0.00	Flokülasyon, süspansiyon içerisinde dağılmış olan çok ince boyutlu kömür taneciklerinin uygun flokülantla muamele edilip bir araya getirilmesi işlemidir. Endüstriyel ölçekte uygulaması yoktur.	[19 ve 20]
Kimyasal Liç (<i>Kimyasal çözündürme</i>)	-0.5+0.00	HCL, H2SO4, HF ve NaOH gibi kimyasal maddelerle kömürün sulu bir ortamda karıştırılması ve içerisindeki kül ve kükürdün çözeltiye alınarak kömürden uzaklaştırılması işlemidir. Çevresel açıdan sakıncalı ve maliyetli bir proses olması nedeni ile uygulaması mevcut değildir.	[21]
Biyolojik Liç (<i>Biyolojik Flotasyon</i>)	-0.5+0.00	Genellikle Thiobacillus türü bakterilerle kömürdeki kül yapıcı bileşiklerin oksitlendirilmesi ve külün uzaklaştırılması esasına dayanır. Liç veya akabinde flotasyon şeklinde uygulanabilmektedir. Endüstriyel uygulaması mevcut değildir.	[22 ve 23]
		Kömürün içerisinde bulunan inorganik safsızlıkların bir	[4 ve 17]

Manyetik Ayırıcı	-3+0.1	bölümü manyetik özellik gösterebilmektedir. Bu mineraller diamanyetik kömürden kolaylıkla ayrılabilir. Endüstriyel ölçekte uygulamaları mevcut değildir.	
Elektrostatik Ayırıcı	-3+0.1	Kömürün içerisinde bulunan inorganik safsızlıkların bir bölümü iletkenlik özelliği gösterebilmektedir. Bu mineraller yalıtkan kömürden kolaylıkla ayrılabilir. Endüstriyel ölçekte uygulamaları mevcut değildir.	[4 ve 17]

3. ÇTA İLE ENDÜSTRİYEL ÖLÇEKLİ PERFORMANS TESTLERİ

ÇTA cihazının ince kömürü zenginleştirmedeki performans testleri Zonguldak Çatalağzı'nda faaliyet gösteren Karbomet Maden ve Liman Hiz.Tic.Ltd. şirketine ait kömür yıkama tesisinde yapılmıştır. Endüstriyel ölçekli çalışmalarda TTK Karadon rödevanslı sahasından üretilen ortalama %52 kül içerikli tüvenan taşkömürlerinin -1 mm'lik elekaltı boyut fraksiyonu kullanılmıştır. Zonguldak tüvenan kömürünün zenginleştirilmesi için kurulan ÇTA cihazından alınan olumlu sonuçlar neticesinde, bu cihaz daha sonra Kastamonu Tosya ilçesinde yer alan özel sektöre ait bir tesiste başarı ile kurulmuştur. İnce boyutlu taş kömürü ve linyit kömürünün zenginleştirilmesi için Zonguldak ve Kastamonu'da kurulmuş olan endüstriyel ölçekli ÇTA cihazlarının görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir.

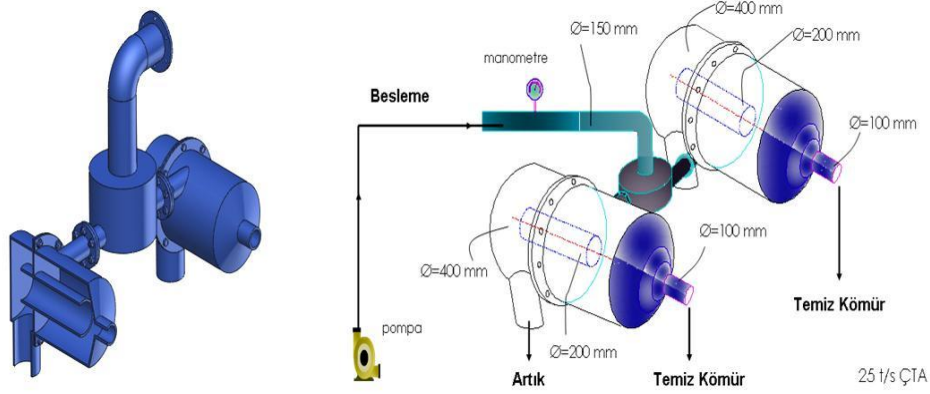


Şekil 1. Türkiye'de kurulmuş olan endüstriyel ölçekli ÇTA cihazlarının görüntüleri.

3.1. ÇTA Cihazının Tanıtılması

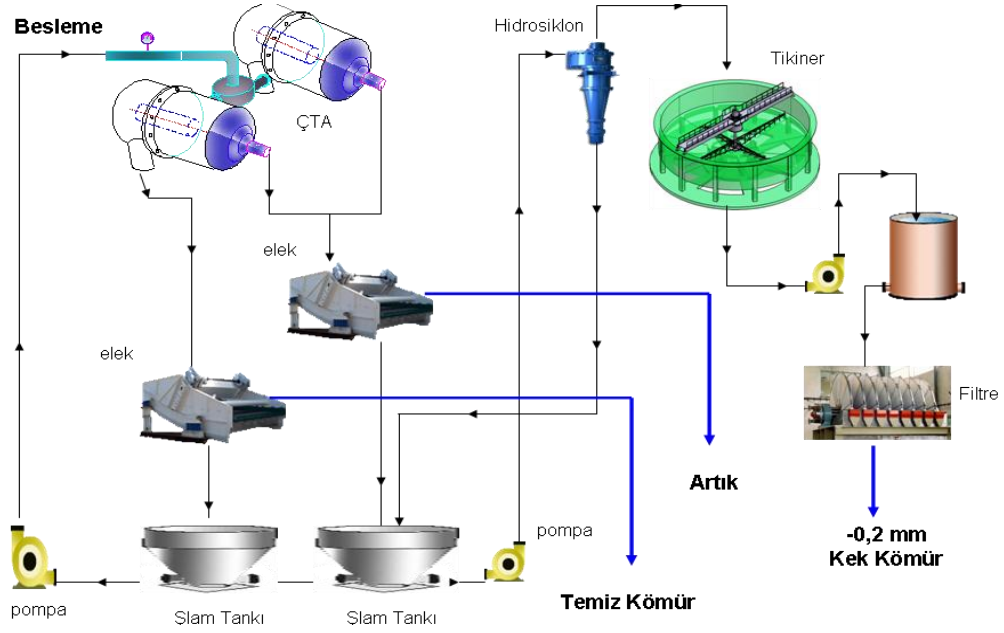
ÇTA (çift tamburlu ayırıcı), ince boyutlu taneleri zenginleştirmek amacıyla geliştirilmiş olan ve yatay konumda çalıştırılan bir çeşit otojen ortam siklonudur. İstanbul Üniversitesi'nden Dr. Hasan Hacıfazlıoğlu tarafından geliştirilmiş ve Türk Patent Enstitüsü tarafından 2013 yılında TR-2010 02775 B tescil numarasıyla patentlenmiştir. Bu sistemde, ayırma işlemi için kimyasal madde veya herhangi bir sarf malzemesi kullanılmamaktadır. Kömür içerisinde bulunan çok ince boyutlu şlam (-0.2mm) ağır ortam etkisi yaratmakta ve ayırma gerçekleştirilmektedir. Ayırmada etkili olan en önemli parametre tambur tasarımı ve iç basınç dengeli merkezi kolektörlü besleme sistemidir. Yapılan ön çalışmalar sonucunda, cihazı dik ve tekli çalıştırmanın verimli olmadığı görülmüş ve bu yüzden ÇTA merkezi beslemeli, yatay ve çift tamburlu olarak tasarlanmıştır. Bu cihazda ayırma, klasik hidrosiklonlardan farklı olarak çok düşük basınçlarda gerçekleştirilmektedir. Bu durum özellikle siklonlarda aşınmaların engellenmesi açısından önemli olmaktadır. ÇTA cihazında ayırma işlemi; santrifuj, hidrodinamik, yerçekimi ve taneler arasındaki

sürtünme kuvvetlerinin toptan etkisi ile gerçekleştirilir. Şekil 2’de gösterilen 25 t/saat kapasiteli ÇTA cihazına besleme, 200 mm giriş ve 150 mm çıkış borularına sahip bir santrifuj pompa ile sağlanmaktadır. 37 kw’lık bir motorla tahrik edilen santrifuj pompa mili, %25-30 katı içeren -1mm boyutlu pülpü 4 m yükseklikte bulunan cihaz içerisine beslemektedir. Cihazdan elde edilen 2 ürün (artık ve temiz kömür), 0.2 mm göz açıklığına sahip iki ayrı corima yüzeyli titreşimli elek ile susuzlandırılmaktadır. Elek üstünden ürünler (temiz kömür ve atık) toplanmaktadır. Elek altına geçen -0.2 mm boyutlu şlam pülpü tekrar santrifuj pompaya girmekte ve ortam yoğunluğunun artırılması için devridaim yaptırılmaktadır. Onuncu devridaimden sonra sistemde şlam oranı aşırı artmakta, ortamın vizkozitesi yükselmekte, akışkanlık azaldığı için elek üstü şlamla sıvanmaktadır. Vizkoziteyi ve ayırma yoğunluğunu sabit tutmak için belirli aralıklarla şlam 250 mm çapındaki bir hidrosiklona beslenmekte ve hidrosiklonun üst akımı tükine gönderilerek şlam oranı azaltılmaktadır. Alt akım ise ÇTA’nın pompa tankına (elekaltı besleme tanklarına) gönderilmektedir. Bu yolla şlamla oluşturulan otojen ağır ortamın yoğunluğu sabit tutulmaktadır. ÇTA ve yardımcı ünitelerinin tesisteki yerleşimi Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 2. ÇTA zenginleştirme cihazı ve 25 t/saat kapasiteli ÇTA'nın optimum ölçüleri.

ÇTA cihazı başlıca 5 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; ayırma işleminin gerçekleştirildiği 2 adet tambur (siklon), besleme borusu, merkezi kollektör, artık çıkış ve temiz kömür çıkış borularıdır. Komple ÇTA tesisi ise; ÇTA cihazı, besleme tankı, besleme pompası ve 2 adet susuzlandırma eleğinden oluşmaktadır. Cihaza besleme basıncı genellikle 0.3 bar'ın altındadır.



Şekil 3. ÇTA ve yardımcı ünitelerinin testteki yerleşim düzeni.

3.2. Testlerde Kullanılan Tüvenan Kömürün Özellikleri

Test çalışmalarında kullanılan tüvenan kömür, TTK Karadon rödevanslı sahasından üretilen taşkömürüdür. Kuru bazda yapılan kimyasal analiz sonucunda, 0-100 mm tüvenan kömürün kül içeriği %51.85, ÇTA cihazına giren -1mm boyut grubunun kül içeriği %47.65 olarak bulunmuştur. Tüvenan kömürün yaş elek analizi sonuçları ve boyut fraksiyonlarına göre kül dağılımları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Tüvenan kömürün (0-100 mm) yaş elek analizi ve kül dağılımları.

Tane Boyutu (mm)	Miktar (%)	Kül (%)	Σ Miktar (%)	Σ Kül (%)	Y. Verim (%)
+50-100	12.00	55.00	12.00	55.00	11.21
+18-50	17.50	54.50	29.50	54.70	16.54
+10-18	14.00	53.00	43.50	54.16	13.66
+5.0-10	17.50	54.00	61.00	54.11	16.72
+1.0-5.0	19.00	49.00	80.00	52.90	20.12
+0-1.0	20.00	47.65	100.00	51.85	21.74
Toplam	100.00	-	-	51.85	-

3.3. ÇTA Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

ÇTA'da optimum çalışma koşullarını belirlemek ve nihai tasarıma ulaşmak amacıyla sırasıyla; tambur çapı, atık çıkış çapı, tambur eğimi ve besleme basıncının etkisi ayrı ayrı araştırılmıştır. Cihazın performansının değerlendirilmesinde aşağıda verilen ayırma verimi formülünden yararlanılmıştır. Burada; W_c temiz kömür ağırlığı (%), W_f beslenen tüvenan kömürün ağırlığı (%), A_c temiz kömür külü (%) ve A_f beslenen tüvenan kömürün kül (%) içeriğidir. Ayırma verimi (%):

$$\left[\frac{W_c \times (100 - A_c)}{W_f \times (100 - A_f)} \times 100 \right] - \left[\frac{A_c}{A_f} \times W_c \right]$$

ÇTA'daki değişken parametrelerin, temiz kömür miktar, kül ve ayırma verimine etkisi Tablo 3'de verilmiştir. Tambur çapının etkisinin araştırıldığı testlerde, artık çıkış çapı 100 mm, tambur eğimi 10^0 ve besleme basıncı 20 kPa seçilmiştir. Tablo 3'deki sonuçlara göre; tambur çapı büyütüldükçe elde edilen temiz kömürün kül içeriği artmaktadır. 400, 500 ve 700 mm çaplı tamburlar ile elde edilen temiz kömürün kül içerikleri sırasıyla %12, %19 ve %29 bulunmuştur. Bunun muhtemel nedeni, büyük çaplı tamburda meydana gelen ivme ve taneler arasındaki etkileşim kuvvetlerinin, küçük çaplı tambura nazaran daha az veya küçük olmasıdır. Diğer taraftan, üst akım borusunun çapının, tasarım olarak diğer küçük çaplı tamburlara göre daha büyük olması, daha fazla malzemenin girdap akımına kapılmasına neden olmakta ve düşük yoğunluklu kömürün yanında ara ürün ve kısmen artığın da bir bölümünün temiz kömür ürününe geçmesine neden olmaktadır. Zira, büyük çaplı tamburda yapılan ayırma işleminde elde edilen temiz kömür miktarı, ara ürünün ve kısmen artığın karışması ile birlikte miktarca artmıştır. Ayırma verimine bakıldığı zaman, -1 mm boyutlu kömür için en yüksek verim değerinin %41.45 ile 400 mm çaplı tamburdan elde edildiği görülmektedir.

Tablo 3. ÇTA çalışma parametrelerinin temiz kömür miktar, kül ve ayırma verimine etkisi.

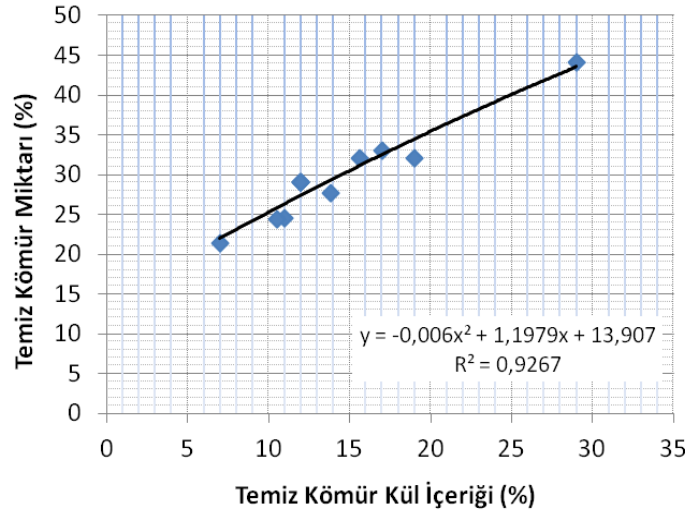
Parametre	Değer	Temiz Kömüre Ait Özellikler		
		Miktar (%)	Kül (%)	Ayırma Verimi (%)
Tambur Çapı (mm)	400	29.00	12.00	41.45
	600	32.00	19.00	36.75
	800	44.00	29.00	32.90
Artık Çıkış Çapı (mm)	80	33.00	17.00	40.55
	100	29.00	12.00	41.45
	120	24.50	11.00	36.00
Tambur Eğimi ($^{\circ}$)	0	32.00	15.60	41.11
	10	29.00	12.00	41.45
	20	21.30	7.00	34.71
Besleme Basıncı (kPa)	10	27.60	13.80	37.45
	20	29.00	12.00	41.45
	30	24.40	10.50	36.34
Toplam	-	100.00	47.65	100.00

Artık çıkış çapının etkisinin araştırıldığı testlerde, tambur çapı 400mm, tambur eğimi 10^0 ve besleme basıncı 20 kPa seçilmiştir. Tablo 3'deki sonuçlara göre, artık çıkış çapının daraltılması ile üst akımdan elde edilen ürünün kül içeriği artmıştır. 80, 100 ve 120 mm çıkış çapları için, temiz kömür kül değerleri sırasıyla %17, %12 ve %11 bulunmuştur. Çok küçük bir çıkış çapı, alt akımdan çıkması gereken artığın ve kısmen ara ürünün çıkışını zorlaştırmakta ve üst akım girdap akımına kapılmasına neden olarak temiz kömür ürününe mecburi geçiş yapmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, artık çıkış çapının küçük olması tambur içerisindeki otojen yoğunluğun artmasına neden olmakta ve yoğunluğu nispeten daha büyük olan tanelerin de yuzmesine neden olarak temiz kömür kül içeriğini artırmaktadır.

ÇTA'nın eğiminin etkisinin araştırıldığı testlerde, tambur çapı 400mm, artık çıkış çapı 100mm ve besleme basıncı 20 kPa seçilmiştir. Tablo 3'deki verilerine göre, ÇTA'nın eğimi arttırıldıkça elde edilen temiz kömürün kül içeriği azalmıştır. Öyle ki, 20⁰'lik bir eğimde çalışılması durumunda %7 küllü bir temiz kömür elde edilmiştir. Ancak, temiz kömür kazanım miktarı diğer eğimlere (0 ve 10⁰) göre düşük olup %21.3'de kalmıştır. ÇTA'da eğimin artması ile birlikte atık çıkışına doğru yönelen tanelere yerçekimi kuvveti de etki etmekte ve tanelerin çıkışı daha kolay olmaktadır. Benzer şekilde, ÇTA'nın dik konumunda temiz kömürlerin tambur içindeki hava koridorundan yukarıya yükselmesi ancak yerçekimi kuvvetini yenmesi ile mümkün olmaktadır. Yerçekimi kuvvetini yenemeyen temiz kömürler ya da ara ürünler alt uca doğru yönelmekte ve kısa devre yaparak artığa geçmektedir.

Çalışma basıncının etkisinin araştırıldığı testlerde, tambur çapı 400 mm, artık çıkış çapı 100 mm, tambur eğimi 10⁰ seçilmiştir Tablo 3'deki verilere göre, ÇTA için en uygun çalışma basıncı 20 kPa'dır. Çalışma basıncının 20 kPa'nın üzerine çıkarılması durumunda elde edilen temiz kömürün külü %12'den %10.50'ye düşmüştür. Basıncın arttırılması, tambur içerisinde oluşan merkezkaç kuvvetlerinin büyüklüğünü arttırmış ve bunun sonucunda orta yoğunluğa sahip ara ürün tanelerine uygulanan kuvvet artmıştır.

ÇTA çalışma parametrelerinin temiz kömür külü ve miktarına etkisi Şekil 4'deki grafikte gösterilmiştir. Bu grafiğe göre cihazdan elde edilen temiz kömürün külü azaldıkça, elde edilen temiz kömür miktarı da azalmaktadır. Elde edilen temiz kömür külü ile miktarı arasında yakın bir ilişki olup ($R^2=0.9267$), bu ilişki $y=-0.006x^2+1.1979x+13.907$ eşitliği ile ifade edilebilir. Burada "x" temiz kömür külünü (%) "y" ise miktarını (%) belirtmektedir.



Şekil 4. Çalışma parametrelerine bağlı olarak temiz kömür kül değerleri ile miktarlarının değişimi.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Günümüzde şlamı uzaklaştırılmış ince boyutlu (genellikle -1+0.1mm) kömürlerin zenginleştirilmesi için en yaygın kullanılan yöntem spiral konsantratör ile ayırma yöntemidir. Kömür spirallerinin en önemli dezavantajı kapasitelerinin düşük olması ve hassas çalışma koşullarının çoğu işletmede sağlanamamasıdır. Zonguldak havzasında yer alan işletmelerde, kömür spirallerinden elde edilen ürünün ortalama kül içeriğinin %12 ile %25 aralığında değiştiği ve artığın kül içeriğinin %65 ile

%75 aralığında olduğu belirtilmektedir. Elde edilen k6m6r6n ağırlıkça kazanımı ise işletmelerdeki t6venan k6m6r6n k6ll6ne bağlı olarak %30 ile %50 arasında değişmektedir. Zonguldak havzasında ince temiz k6m6rlerin başlıca kullanım alanı demir-elik sanayisi olup, metalurjik kalitedeki koklaşabilir k6m6rde istenen k6l değerı %10±2'dir. K6m6r spiralleri ile bu k6l değerine 66 6r6nl6 spiralde bir ara 6r6n olarak ulaşmak m6mk6n olmaktadır. TA cihazı ile yapılan çalışmalar sonucunda, bir ara 6r6n almadan %7 ile %29 k6ll6 temiz k6m6rler %21.30 ile %44 aralığında ağırlıkça kazanım değerı ile elde edilebilmektedir. TA'dan çıkan artığın k6l içeriği ise %50 ile %65 aralığında olmaktadır. Başka bir deyişle, TA'dan metalurjik kalitede temiz k6m6r elde edilebilmesine rağmen, elde edilen artık "nihai atık" niteliğinde değerildir. TA cihazı tek başına metalurjik k6m6r verebilirken, nihai atık verememekte ve artığın sistemden alınarak tekrar başka bir cihazla zenginleştirilmesi gerekmektedir. Ancak, 6zellikle Zonguldak havzasında elde edilen artığın paçal yapılarak d6ř6k kalorili (2000-2500 kcal/kg) k6m6rlerin yakıldığı termik santrallere g6nderilmesi durumunda, TA cihazı tek başına hem ince boyuta kaçan metalurjik k6m6rlerin geri kazanılmasını sağlayacak, hem de termik santral yakıtı 6retebilecektir. TA cihazının en 6nemli avantajı basit yapıda ve y6ksek kapasiteli olmasıdır. Cihaz hassas bir ayar gerektirmemektedir. Bir kere kurulduktan sonra sadece bir manometre kontrol6 ile yıllarca çalıştırılabilir. Yapısının basit olması nedeni ile ilk yatırım maliyeti de d6ř6kt6r. TA metal bir silindirik saçtan imal edilmektedir. Bu sa d6ř6k basınçlara maruz kaldığı için çok uzun yıllar aşınmadan kalabilmektedir. Diğer taraftan, ince t6venan k6m6r TA cihazına şlamı ile birlikte beslenmektedir. Dolayısıyla, diğer cihazlarda olduğu gibi zenginleştirme 6ncesinde k6m6r6n şlamının uzaklaştırılmasına gerek yoktur. Sonuç olarak TA cihazı, atık ince k6m6r barajlarının bulunduğu yerlerde uygulama kolaylığı ve d6ř6k k6ll6 6r6n verebilme yeteneği ile bu barajlardan temiz k6m6r 6retimi için 6mit vaat etmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Kemal M., Arslan V. "K6m6r Teknolojisi", Dokuz Eyl6l 6niversitesi M6hendislik Fak6ltesi Yayını, 394s, 2010.
- [2] Ateşok G., "K6m6r Hazırlama ve Teknolojisi" YMGV, 375s, 2004.
- [3] Hacıfazlıoğlu H., "Industrial Applications of A New Type Autogeneous Medium Cyclone (DDS)", *22nd World Mining Congress and Expo*, 11-16 September, Istanbul., pp.519-522,2011.
- [4] 6nal G. ve G6ney A., "K6m6r hazırlama y6ntemleri ve tesisleri", *K6m6r*, ed. O. Kural, 6zg6n Ofset Matbacılık A.ř., İstanbul, s.269-295,1998.
- [5] Yıldırım İ., Ateşok G. and elik, M., "Laboratuar pilot tip Multi Gravite cihazı ile k6m6r-sukarışımları için s6per d6ř6k k6ll6 k6m6r 6retimi", *T6rkiye 14. Madencilik Kongresi*, pp.444-448,1995.
- [6] Rubiera F., Hall T.S. and Shah C.L., "Sulfur removal by fine coal cleaning processes", **Fuel**, 76, 13,1187,1997.
- [7] Xiao J., "Testing a New Gold Centrifugal Concentrator", Department of Mining and Metallurgical Engineering, *Master Thesis*, McGill University, Montreal, Canada, 1998.
- [8] Honaker R.Q. and Das A., "Ultra-fine coal cleaning using a centrifugal fluidized-bed separator", *Coal Preparation*, Vol.24, pp.1-18,2004.

- [9] Honaker R.Q., Wang, D. and Ho, K., “Application of the falcon concentrator for fine coal cleaning”, *Minerals Engineering*, Vol.9, No.11, pp.1143-1156,1996.
- [10] Knelson B., “The Knelson concentrator metamorphosis beginning to sophisticated world wide acceptance”, *Minerals Engineering*, Vol. 5. No.10, pp.1091-1097, 1992.
- [11] Silva M., “Pacer Gold Recovery Methods”, *Special Publication 87*, Department of Conservation Division of Mines and Geology, California, 95814,1986.
- [12] Galvin K.P., Callen A., Zhou J., Doroodchi E., Performance of the Reflux classifier for gravity separation at full scale, *Minerals Engineering*, 18, 1, 19-24., 2004.
- [13] Galvin K.P., Pratten S.J., Nicol S.K., “Dense Medium Separation Using A Teetered Bed Separator”, *Minerals Engineering*, 12, 9, 1059-1081,1999.
- [14] Luttrell G.H., Honaker R.Q., Bratton R.C., Westerfield T.C., and Kohmuench, J.N., “In-Plant Testing Of High-Efficiency Hydraulic Separators”, *Annual Technical Progress Report (Phase II)*, Virginia Polytechnic Institute & State University ,2005.
- [15] Hacifazlıoğlu H. and Toroğlu İ., “Siklojet Hücresinde Bitümlü Şlam Kömürün Flotasyonu ve Jameson Hücresi ile Flotasyon Performanslarının Karşılaştırılması”, *Madencilik Dergisi*, Vol.47, s.3-12 ,2008.
- [16] Hoşten Ç. ve Uçbaş Y., Zonguldak Toz Kömürleri Üzerinde Yağ aglomerasyonu çalışmaları, Türkiye 11.Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Müh. Odası, Ankara, s.355-365,1989.
- [17] Yaman S., Çelik M.S. ve Küçükbayrak S., “Kömürün kükürdünün giderilmesi”, *Kömür*, ed. O. Kural, Özgün Ofset Matbacılık A.Ş., İstanbul, s.269-295,1998.
- [18] Garcia A.B., Martinez T.M.R. Vega J.M.G and Nava A. “Cleaning of Spanish high-rank coals by agglomeration with vegetable oils”, *Fuel*,75, 7, 885-890.,1996.
- [19] Koca H., Poole C. ve Koca S., “İnce Taneli Kömürlerden Seçimli Pirit Flokülasyonu”, *Türkiye 6. Kömür Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Zonguldak Şubesi,s.171-189, 1988.
- [20] Tefek M., “Selektif flokülasyon ile linyitlerin piritik kükürttten temizlenmesi”, *Türkiye 11.Madencilik Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara. s.367-377,1989.
- [21] Elsamak G., Öztaş, A. N. and Yürüm, Y., “Chemical Desulphurisation of Turkish Cayırhan Lignite with HI using microwave and thermal energy”, *Fuel*, Vol.82, pp.531–537, 2003.
- [22] İbişoğlu M., “Akışkan Yatakta Kömürün Biyodesülfürizasyonu”, *Yüksek Mühendislik Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 1995.
- [23] Doğan Z., “Coal desulfurization by microbial beneficiation, *Proceeding of International Seminar on Biohydrometallurgy*, ed. Karavaiko, G.I., Rossi, G., Avakyan, Z.A., Moskow,1990.