

# Kolon Flotasyonu İle Bitümlü Kömür Atıklarından Temiz Kömür Kazanımı

Hasan HACIFAZLIOĞLU

*METEK Madencilik ve Enerji Teknolojileri San.Tic.Ltd.Şti., İSTANBUL*

## Özet

Konvansiyonel mekanik hücreler, toz kömürlerin (-1mm) zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen, tane boyutu çok inceldiği (<0,1 mm) zaman veya kömür önemli ölçüde kil içerdiği zaman verimsiz olmaktadır. Bu yüzen toz kömürler konvansiyonel hücreye beslenmeden önce şlamsızlandırma için önce bir tasnif siklonuna beslenir. İnce boyutlu ve yüksek küllü siklon üst akımı (-0,1 mm) artık olarak atılırken, nispeten daha iri boyutlu olan siklon alt akımı (-1+0,1 mm) konvansiyonel mekanik hücreye beslenerek flotasyon işlemine tabi tutulur. Ancak, bu işlemle flotasyon beslemesinin yaklaşık %15-20'si ince artık olarak atılmakta ve tonlarca kömür kaybına neden olmaktadır. Bu çalışmada, atık kömürlerden kolon flotasyonu ile temiz kömür kazanımı araştırılmış, %48,80 küllü bitümlü kömür atıklarından kolon flotasyonu ile %10-15 küllü temiz kömür elde edilmiştir.

*Anahtar Sözcükler:* Kolon Flotasyonu, Atık Kömür, Katı Yakıt

## *Recovery Of Clean Coal From Waste Bituminous Coals By Using Column Flotation*

### Abstract

Although conventional mechanical cells are widely used for fine coal (-1 mm) cleaning, they become ineffective when the particle size is very small (<0.1 mm) or when the coal contains a large amount of clays. For this reason, fine coals are fed into classifying cyclone for desliming before being fed into conventional cell. While fine-sized and high-ash cyclone overflow material (-0.1 mm) is discarded as waste, the coarser cyclone underflow material (-1+0.1 mm) is fed into conventional mechanical cell. However, approximately 15-20% of flotation feed is discarded as ultrafine waste in this process which causes tons of coal loss. In this study, recovery of solid fuel was investigated from waste coals mentioned above by column flotation. In conclusion, clean coal with 10-15% ash were obtained from waste bituminous coals having 48.80 % ash by using column flotation.

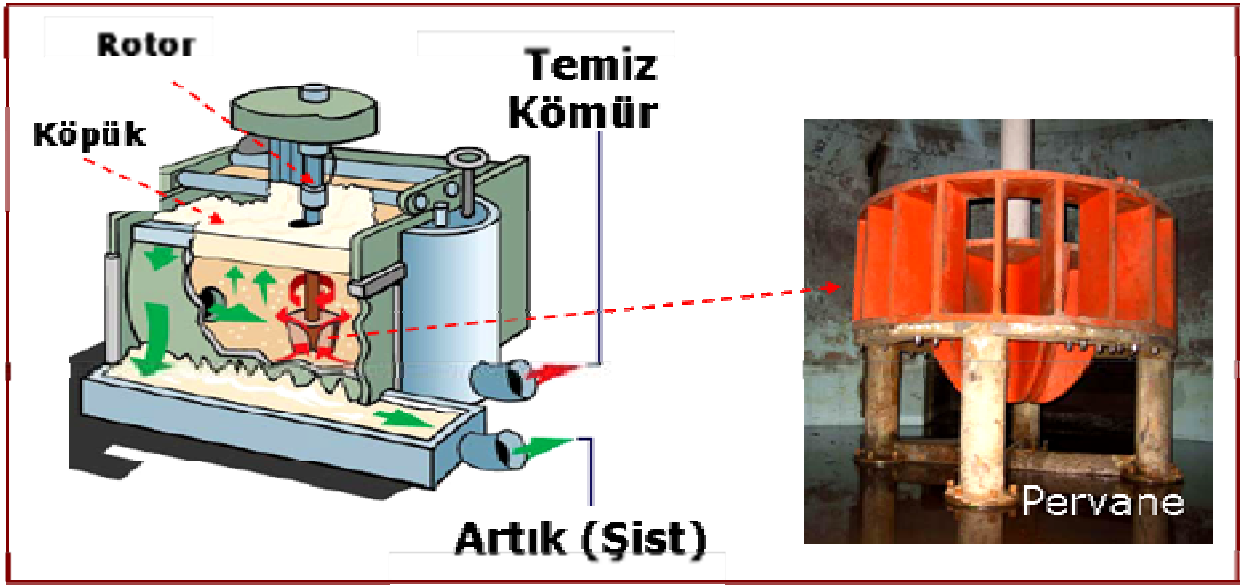
*Key Words:* Column Flotation, Waste Coal, Solid Fuel

## 1. Giriş

Günümüzde, çok ince boyutlu hidrofob (su ile ıslanmayan) taneciklerin sulu bir ortamda hava kabarcıkları ile yüzdürülmesi ve hidrofil (su ile ıslanan) taneciklerden ayrılması işlemine köpük flotasyonu denilmektedir. Köpük flotasyonu, ince boyutlu bitümlü kömürlere 80 yıldan beri başarı ile uygulanmaktadır. Günümüzde, başta sülfürlü cevherler (bakır, çinko, kurşun) olmak üzere gümüş, manganez, kromit, kobalt, tungsten, silvin, fluorit, bor, kükürt gibi yüzden fazla mineralin flotasyon yöntemi ile zenginleştirildiği bilinmektedir [1,2]. Ayrıca, atık suların

arıtılmasında da flotasyon teknolojisinden faydalanılmaktadır.

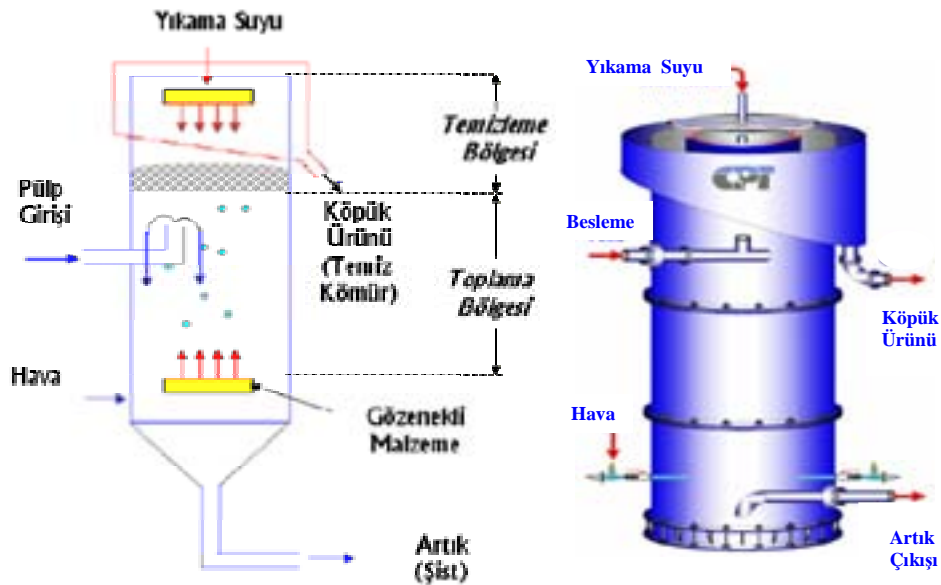
Flotasyon işleminin gerçekleştirildiği ilk makineler olan mekanik flotasyon hücreleri (Şekil 1), geliştirilen yeni teknoloji flotasyon hücrelerine rağmen halen yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, mekanik hücrelerdeki yoğun türbülans ve sığ köpük derinliği özellikle çok ince boyutlu kömürlerin flotasyonunda yeterli verim ve yüksek kül giderimi sağlayamamaktadır. Bu yüzden, 1960'lı yıllarda daha temiz kömürlerin eldesi için türbülansın oluşmadığı, daha yüksek köpük kalınlıklarının elde edilebildiği ve köpüğün su ile yıkandığı flotasyon kolonları geliştirilmiştir [3,4].



Şekil 1. Konvansiyonel mekanik flotasyon hücresi ve pervane sistemi.

Mekanik flotasyon hücrelerinde karıştırma sonucunda oluşan türbülans, çok ince gang tanelerinin konsantreye kaçmasına ve kabarcık-tanecik bağlarının kopmasına neden olmaktadır. Bu sakıncaların ortadan kaldırılmak amacıyla Bautin ve Tremblay tarafından 1960 yılında, mekanik hücreye göre daha ince ve uzun olan bir hücre geliştirilmiştir. Kanada kolonu olarak bilinen bu ilk konvansiyonel kolonda, herhangi bir karıştırma sistemine ihtiyaç duyulmadan küçük çaplı kabarcıklar elde edilebilmektedir. Bu

sistemde, kompresörden üretilen hava, gözenekli bir malzemeden geçirilmek suretiyle hücrenin tabanına verilmektedir. Besleme ise köpük tabakasının hemen altından yapılmaktadır. Şekil 2'den görüldüğü gibi kolon hücresinde başlıca iki bölge oluşmaktadır. Yukarıdan aşağıya doğru inen tanelerin, aşağıdan yukarıya doğru yükselen hava kabarcıklarıyla çarpıştığı ya da temas kurduğu bölgeye "toplama bölgesi", köpük ürününün yıkandığı bölgeye ise "temizleme bölgesi" denilmektedir [3, 4, 5].



Şekil 2. Kolon flotasyonu yöntemi ve endüstriyel ölçekli CPT kolonu

Endüstriyel uygulamalarda kolonların çapları 3 m'ye boyları ise 15 m'ye kadar çıkabilmektedir. Kolon flotasyonundaki sakin akış koşulları, kalın köpük tabakası (1 – 1,5 m), yıkama suyunun varlığı ve küçük çaplı kabarcıkların elde edilebilmesi çok ince boyutlu kömürlerin bile yüksek verim ve yüksek tenörle zenginleştirilebilmesine olanak sağlamıştır [4,5,6].

Kolon flotasyonun en büyük dezavantajı kabarcık üretici sistemlerinin (gözenekli malzemenin ya da sparger'ın) sık sık tıkanması ve tanelerin hücre içerisinde kalma süresinin oldukça yüksek (düşük kapasiteli) olmasıdır. Bu yüzden, bu dezavantajların ortadan kaldırılması için son 30 yıl içerisinde pek çok kolon tasarlanmıştır. Ticarileştirilmiş olanlarından en önemlileri CPT, Mikrocell, Jameson, Turbo ve Temas kolonudur. Bilinen diğer kolon tipleri ise Leeds, Packed (Dolgulu), Flotaire, Hydrochem, Deister, CFC (Siklonik Flotasyon Kolonu), Siklo-mikro kabarcık kolonu, VersafloTM, Monarch IGF, SelectaFlotTM, VOSCell ve HSBFC'dir [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

Bu çalışma kapsamında, klasik bir kolon flotasyonu hücresi ile çok ince boyutlu bitümlü artık kömürlerden yüksek kalitede katı yakıtların eldesi hedeflenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Bitümlü Kömür Atıklarının Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan bitümlü kömür atıkları, Zonguldak ilinde bulunan özel bir işletmeye ait Kömür Yıkama Tesisinden alınmıştır. Söz konusu tesiste, 100-18 mm boyutlu iri kömürler Ağır Ortam (Drewboy Teknesi) ile, 18-0,5 mm boyutlu ince kömürler Ağır Mayi Siklonu ile, -0.5 mm'lik kömürün -0.5+0.1 mm'lik

fraksiyonu ise klasik flotasyon hücreleri ile zenginleştirilmektedir. -0,5 mm kömür, flotasyon bataryasına beslenmeden önce şlamının atılması için 25 cm'lik bir hidrosiklondan geçirilmektedir. Hidrosiklondan alınan siklon üst akımı malzeme (-0,1 mm) çok ince boyutlu olup, artık olarak havuz veya derelere verilmektedir. Alt akım ise temizlenmek üzere flotasyon tesisine girmektedir. -0,5 mm'lik toz kömürün yaklaşık %15-20'si artık olarak şlama geçmektedir.

Yukarıda sözü edilen siklon üst akımı atık kömür (-0,1 mm), atık havuzundan kapalı fiçilerle alınıp, Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama laboratuvarına getirilmiştir. Kömür örneğinin orijinal ve kuru bazda kimyasal analizi Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 2'de ise yaş elek analizi ve boyuta göre miktar, kül ve yanabilir verim dağılımları gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Atık kömürün orijinal ve kuru bazda kimyasal analiz sonuçları.

Analizler	Orijinal Kömürde	Kuru Kömürde
Toplam Nem (%)	33,00	-
Kül (%)	32,70	48,80
Uçucu Madde (%)	14,40	21,40
Sabit Karbon (%)	19,90	29,80
Toplam Kükürt (%)	0,50	0,70
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	3031	4330

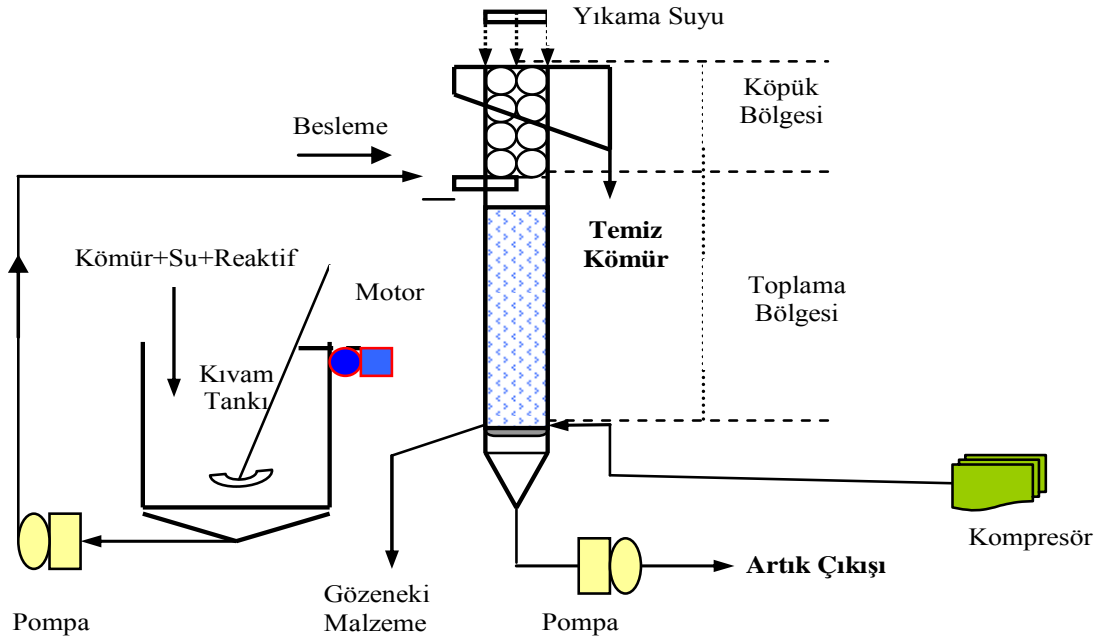
**Çizelge 2.** Örneğin boyuta göre miktar, kül ve yanabilir madde dağılımları.

Elek Aralığı ( $\mu\text{m}$ )	Miktar (%)	Kül (%)	Yanabilir Madde Dağılımı (%)	Toplamlı Miktar (%)	Toplamlı Kül (%)	Toplamlı Yanabilir Madde (%)
-300+212	2,50	9,00	4,40	2,50	9,00	4,40
-212+150	2,30	9,10	4,10	4,80	9,00	8,60
-150+75	9,70	13,50	16,40	14,60	12,00	25,00
-75+53	5,10	23,50	7,60	19,70	15,00	32,70
-53+38	5,10	27,90	7,20	24,80	17,60	39,80
-38	75,20	59,10	60,20	100	48,80	100
Toplam	100	48,80	100	-	-	-

### 2.2. Kolon Flotasyonu Deney Düzenegi

Deneyisel çalışmalarda kullanılan kolon flotasyonu hücresi, dairesel kesitli olup, 7 cm çapında ve 150 cm yüksekliğindedir. Yıkama suyu sistemi duş tipi olup, kolonun 5 cm yukarisından verilmiştir. Hava, bir kompresör ile kolon içine dipten 10 cm yukarıda monte edilmiş 5 cm çapındaki bir disk filtreden geçirilmek suretiyle

verilmiştir. Hava hızının kontrolü bir akış ölçer, besleme ve artık çıkışları ise peristaltik pompalarla sağlanmıştır. Her bir deneyde besleme tankına reaktif ilavesi yapıldıktan sonra pülp 5 dakika süresince kıvamlandırılmış ve daha sonra kolona sabit bir hızla beslenmiştir. Kolon flotasyonu deney düzenegi Şekil 3'de gösterilmiştir.

**Şekil 3.** Kolon flotasyonu deney düzeneginin şematik görünüşü

### 2.3. Yöntem

Deneylerde kullanılan çeşitli reaktif tiplerinin ve miktarlarının elde edilen ürünün külünü ve verimini önemli ölçüde etkilediği pek çok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır [15, 16, 17, 18]. Ayrıca, kolon flotasyonunda bazı önemli çalışma parametrelerinin verim ve ürün külü üzerinde önemi etkilere sahip olduğu belirtilmektedir. Örneğin yıkma suyunun arttırılması ile ürün kalitesi artmakta verim ise az da olsa düşmektedir. Diğer önemli çalışma parametreleri ise hava hızı ve köpük kalınlığıdır [19, 20, 21,22].

Deneyisel çalışmalarda toplayıcı reaktif olarak gazyağı ve fuel oil (No.4); köpürtücü reaktif olarak Dowfroth 250 ve MIBC denenmiştir. Daha sonra, farklı hava hızı, yıkama suyu hızı ve köpük kalınlığında deneyler yapılmıştır. Devre sistemi, 2 kademe süpürme ve 1 kademe temizleme şeklindedir.

## 3. Bulgular ve Değerlendirme

### 3.1. Reaktif Tipi ve Miktarının Etkisi

Köpük flotasyonda toplayıcı reaktif, kömür taneciğinin hava kabarcığına daha güçlü bir şekilde bağlanmasını sağlayarak verimin yükselmesine katkıda bulunur. Ancak, çok yüksek miktarlarda toplayıcı ilavesi, killerin ve kenetli tanelerin yüzmesine neden olarak katı yakıt kalitesinin düşmesine neden olur. Bitümlü kömür flotasyonunda, toplayıcı kullanımı genellikle 500-2000 g/t mertebelerindedir. En yaygın kullanılan toplayıcılar ise gazyağı ve fuel oil'dir [15,16, 17].

Köpük flotasyonunda bir diğer önemli reaktif tipi köpürtücüdür. Köpürtücü miktarının arttırılmasıyla kabarcık sayısı artmakta, boyutu ise küçülmektedir. Hücre içerisinde boyutu küçülen ve sayısı artan kabarcıklar ile daha yüksek kömür taşıma yüzey alaları elde edilmekte ve bu da

kömür kazanımını olumlu yönde etkilemektedir. Düşük köpürtücü ilavelerinde ise yeterli köpük stabilitesi sağlanamamakta ve köpük tabakası çökmektedir. Kömür flotasyonunda genellikle alkol (MIBC-metil izobutil karbinol gibi) ve poliglikol tipi (Dowfroth 250 gibi) köpürtücüler 50-300 g/t mertebelerinde kullanılmaktadır [18, 19, 20, 23].

Deneyisel çalışmalarda toplayıcı olarak kullanılan gazyağı ve fuel oil'in yoğunlukları sırasıyla 0,78 ve 0,96 gr/cm<sup>3</sup>; vizkoziteleri ise 1,50 ve 2,58 cSt'dir. Test edilen köpürtücü tipleri ise Dowfroth 250 [CH<sub>3</sub> – (O-C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>)<sub>n</sub>-OH] ve MIBC [(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CHCH<sub>2</sub>CHOHCH<sub>3</sub>]’dir. Değişik tipteki toplayıcı ve köpürtücülerle yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular Çizelge 3’de verilmiştir. Bu sonuçlardan görülebileceği gibi, toplayıcı veya köpürtücü miktarının arttırılmasıyla katı yakıt kazanımı önemli ölçüde artmaktadır. Örneğin, gazyağı miktarının 1000 g/t’den 2000 g/ton’a yükseltilmesi ile elde edilen katı yakıtın (temiz kömürün) ağırlıkça kazanımı %33,78’den %40,01’e yükselmektedir. Yine benzer şekilde MIBC köpürtücüsünün miktarının 100 g/t mertebesinden 200 g/t mertebesine çıkarılmasıyla ağırlıkça katı yakıt kazanımı %33,82’den %40,22’ye yükselmektedir. Ancak, toplayıcı veya köpürtücü artışıyla elde edilen ürünün kalitesi azalmaktadır. Örneğin, 1000 g/t’luk bir fuel oil ilavesinde elde edilen temiz kömürün kül içeriği %12,30 iken, 2000 g/t’luk ilavesinde %14,86 olmaktadır. Benzer şekilde, Dowfroth 250 miktarının 100 g/t’den 200 g/t’a çıkarılmasıyla katı yakıt kül içeriği %14,85’den %17’ye yükselmiştir.

**Çizelge 3.** Değişik tipteki toplayıcı ve köpürtücülerin katı yakıt kalitesine ve kazanımına etkisi\*

Reaktif Tipi	Reaktif Miktarı (g/t)	Temiz Kömür Kazanımı (ağırlıkça %)	Temiz Kömür Külü (%)	Yanabilir Madde Verimi (%)
Gazyağı	1000	33,78	11,95	58,10
	2000	40,01	14,00	67,20
Fuel Oil (No.4)	1000	31,88	12,30	54,60
	2000	36,92	14,86	61,40
MIBC	100	33,82	12,20	58,00
	200	40,22	14,32	67,30
Dowfroth250	100	35,24	14,85	58,60
	200	41,27	17,00	66,90
Besleme	-	-	48,80	-

\*Gazyağı ve fuel oil'in etkisinin araştırılmasında 200 g/t mertebesinde MIBC kullanılmıştır. Diğer koşullar; Köpük kalınlığı:30 cm, Yıkama Suyu hızı: 0.2 cm/s'dir.

Toplayıcı tiplerinden fuel oil gazyağına göre daha başarısız sonuçlar vermiştir. Örneğin, 2000 g/t'luk bir fuel oil dozajında temiz kömür kazanımı %36,92 iken, benzer dozajdaki gazyağı ilavesinde temiz kömür kazanımı %40,01 olmaktadır. Bunun altında yatan temel neden, fuel oil'in yoğunluğunun ve vizkozitesinin gazyağına göre daha yüksek olması ve pülp içinde yeterince homojen dağılamamasıdır. Ayrıca, fuel oil'in gazyağına göre yüzey kaplama hızının daha düşük olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [24]. Bu durumda, yeterince fuel oil ile kaplanamayan kömür tanecikleri kabarcıklara sıkı bir şekilde bağlanamamış ve verimin düşmesine neden olmuştur. Fuel oil ve gazyağı ilavesinin temiz kömür kalitesine etkisine baktığımız zaman benzer kül içerikli ürünlerin elde edildiğini görmekteyiz. Ancak, gazyağının yüksek konsantrasyonlarında (örneğin 2000 g/t), ürün kalitesi fuel oil'e göre daha yüksek olmaktadır.

MIBC ve Dowfroth 250 köpürtücülerini karşılaştırıldığı zaman, temiz kömür kazanımı açısından büyük farklılıkların olmadığı Çizelge 3'den görülmektedir. Örneğin, 200 g/t MIBC ve

Dowfroth 250 ilavelerinde yanabilir madde verimleri yaklaşık olarak aynı olup, sırasıyla %67,30 ve %66,90 bulunmuştur. Ancak, ürün kalitesine baktığımız zaman Dowfroth 250'nin çok yüksek küllü ürünler verdiğini görmekteyiz. Örneğin 200 g/t Dowfroth 250 ilavesinde ürün külü %17 iken, benzer miktardaki MIBC ilavesinde %14,32 olmaktadır. Bu durum deneyler süresince de gözlemlendiği gibi, Dowfroth 250'nin MIBC'ye göre daha sağlam ve daha ince boyutlu kabarcıklar üretmiş olmasıdır. Ayrıca, Dowfroth 250'nin ürettiği ince boyutlu kabarcıklar daha yüksek akıcılığa sahiptir. Dowfroth 250 köpürtücüsünün kullanılması durumunda köpük ürünü MIBC'ye göre daha hızlı alınmıştır. Bu yüzden Dowfroth 250 ile oluşturulan yüksek akıcılığa sahip köpük tabakası daha fazla miktarda mineral maddenin (ya da külün) köpük ürününe geçmesine neden olmuş ve elde edilen temiz kömürün kalitesini düşürmüştür. Sonuç olarak, kolon flotasyonunda MIBC köpürtücüsü, Dowfroth 250 ye göre daha seçimli davranmakta ve bunun sonucunda daha temiz kömür üretebilmektedir.

### 3.2. Hava Hızının Etkisi

Kolon flotasyonunda hava hızı, kömür kazanımını önemli ölçüde etkileyen ana parametrelerden biridir. Çoğu araştırmacıya göre, hava hızı arttıkça verim bir maksimum verecek şekilde artmakta ve kritik bir noktadan sonra aşırı kül artması nedeniyle azalmaya geçmektedir [6, 19, 20, 21]. Değişik hava hızlarıyla yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular Çizelge 4’de gösterilmiştir. Hava hızının 1, 2 ve 3 cm/s olacak şekilde artırılmasıyla, temiz kömür kazanımı da %35,84, %40,47 ve %41,54 olacak şekilde artmıştır. 1 cm/s’nin altındaki hava

hızlarında 30 cm’lik bir köpük tabakası elde edilemediği gibi, 3 cm/s’den daha büyük hava hızlarında kolon içerisinde yoğun türbülans meydana gelmiştir. Keza, bu türbülansın varlığı 3 cm/s’lik bir hava hızında da gözlemlenmiştir. Zira, 1 cm/s’lik hava hızında ürün külü %14,00 iken, 3 cm/s’lik hava hızında %16,55’e yükselmiştir. Ayrıca, fazla hava kolon içerisinde kabarcıkların birleşmesine neden olmakta, akış koşullarını bozmakta ve kabarcık yüzey alanını azaltarak verimin düşmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak sistem için en uygun hava hızı 2 cm/s’dir. Bu hava hızında yanabilir madde verimi en yüksek değerini almış olup, %67,80 bulunmuştur.

Çizelge 4. Farklı hava hızlarının katı yakıt kalitesine ve kazanımına etkisi\*

Hava Hızı (cm/s)	Temiz Kömür Kazanımı (ağırlıkça %)	Temiz Kömür Külü (%)	Yanabilir Madde Verimi (%)
1.0	35,84	14,00	60,20
2.0	40,47	14,22	67,80
3.0	41,54	16,55	67,70
Besleme	-	48,80	-

\*Gazyacağı ve MIBC ilavesi sırasıyla 2000 ve 200 g/t. . Diğer koşullar; Köpük kalınlığı:30 cm, Yıkama suyu hızı: 0.2 cm/s’dir.

### 3.3 Yıkama Suyu Hızının ve Köpük Kalınlığının Etkisi

Kolon flotasyonunda, yıkama suyu ve köpük kalınlığı doğrudan ürün kalitesi ile ilişkili olan bir parametredir. Yapılan pek çok araştırma sonucunda, köpük kalınlığının veya yıkama suyunun artırılmasıyla ürün kalitesinin arttığı görülmüştür [6, 19, 20, 21]. Farklı yıkama suyu hızlarında ve köpük kalınlıklarında yapılan

deneysel sonuçlarda elde edilen bulgular Çizelge 5’de verilmiştir. Yıkama suyu hızının 0,2 cm/s’den 0 cm/s’ye düşürülmesiyle (yada yıkama suyunun kaldırılması ile) ürün külü %14,10’dan %17,80’e yükselmiştir. Bunun nedeni, yıkama suyunun kaldırılması durumunda, kabarcıklar arasında köpüklerle birlikte yükselen mineral tanelerin pülpe geri yikanamamasıdır. Başka bir deyişle, gang taneleri ile kirlenmiş olan köpüğün konsantreye taşınmış olmasıdır.

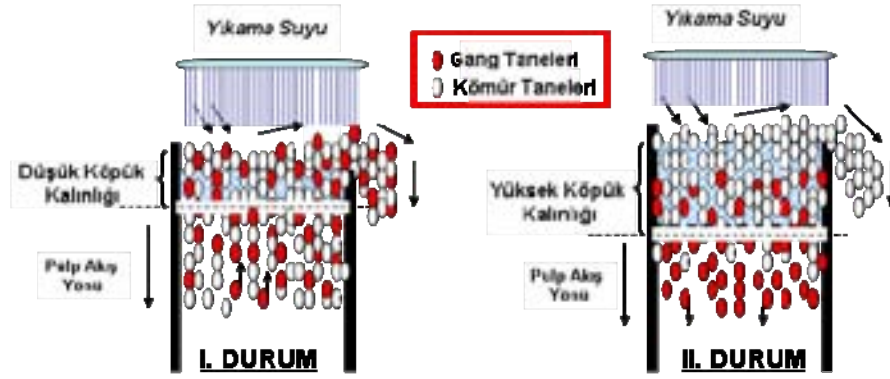
Çizelge 5. Yıkama suyu hızı ve köpük kalınlığının katı yakıt kalitesine ve kazanımına etkisi\*

Yıkama Suyu Hızı (cm/s)	Köpük Kalınlığı (cm)	Temiz Kömür Kazanımı (ağırlıkça %)	Temiz Kömür Külü (%)	Yanabilir Madde Verimi (%)
0.0	30	43,48	17,80	69,80
0.1	30	41,45	16,00	68,00
0.2	30	40,11	14,10	67,30
0.2	20	44,32	19,02	70,10
0.1	20	45,10	20,20	70,30
0.0	20	47,51	22,40	72,00
Besleme	-	-	48,80	-

\*Gazyacağı ve MIBC ilavesi sırasıyla 2000 ve 200 g/t. . Hava hızı: 2 cm/s’dir.

Çizelge 5'den köpük tabakasının ürün külüne etkisine bakıldığı zaman, yıkama suyu ile benzer etki yarattığı görülmektedir. Yani, köpük kalınlığının artırılmasıyla elde edilen ürünün külü azalmaktadır. 0,2 cm/s'lik sabit bir yıkama suyu

hızında; köpük tabakasının 30 cm olması durumunda ürün külü %14,10 iken; köpük tabakasının 20 cm'e düşürülmesi durumunda %19,02 olmaktadır. Bu durumun nedeni Şekil 4'de şematik olarak izah edilmiştir.



Şekil 4. Kolon flotasyonda sabit yıkama suyu hızında düşük ve yüksek köpük kalınlığının gang taşınımına etkisi

Yukarıdaki şekilden görülebileceği gibi, düşük bir köpük kalınlığında (I. DURUM), kömür taneleri ile gang taneleri ayrı ayrı tabakalar oluşturmadan, yıkama suyunun etkisi ile sürüklenerek, karışık olarak kısa yoldan kolon tepesine doğru (konsantreye doğru) yönelmektedirler. Başka bir deyişle, düşük köpük kalınlığında yıkama suyunun verilmesi ile yıkama suyu köpük içerisine tamamen işleyemeden, üst kısımdan köpükle birlikte taşarak konsantreye geçmektedir. Yüksek köpük kalınlığında ise (II. DURUM), yıkama suyu daha uzun bir yol olarak, köpük tabakasının alt kısımlarına kadar taneleri pulp içerisine geri yıkamaktadır. Gang taneleri köpüğün alt kısımlarında sıralanırken, daha yüksek hidrofobluğa sahip kömür taneleri ise üst kısımlarda yoğunlaşmaktadır. Bu yolla, gang tanelerinin köpük ürününe ulaşması engellenmekte ve daha temiz kömürlerin kazanılması sağlanmaktadır. Ancak, köpük kalınlığının gereğinden yüksek olması durumunda, köpüğün taşması zorlaşmakta ve tanelerin de sürekli geri yıkanmaları nedeniyle kazanımda ciddi düşüşler meydana gelmektedir. Örneğin, Çizelge 5'den görülebileceği gibi, 20 cm'lik bir köpük tabakasında çalışıldığı zaman katı yakıt kazanımı %44,32 iken; 30 cm'lik bir köpük tabakasında kazanım %40,11 olmaktadır.

#### 4. Sonuçlar

Zonguldak ilindeki özel bir işletmeden artık olarak atılan bitümlü kömürün ortalama kül içeriği %48,80, ortalama tane boyutu 38  $\mu\text{m}$ 'nin altında olup, klasik flotasyonda zorluk yaratacak derecede ince ve yüksek kül (kil) içeriklidir.

Kolon flotasyonu yöntemi ile, yukarıda bahsedilen atık kömürlerden %10-15 küllü temiz kömür %60-70'lik bir yanabilir madde verimiyle kazanılmıştır.

Kolon flotasyonunda, bazı çalışma parametrelerinin flotasyon verimini önemli ölçüde etkilediği ve bunların belli bir optimum değerlerde olması gerektiği bulunmuştur. Örneğin hava hızının gereğinden az olması (<2 cm/s) durumunda verim düşmüş, gereğinden fazla olması (>2 cm/s) durumunda ise ürün külü aşırı artmıştır (katı yakıt kalitesi düşmüştür).

Toplayıcılardan gazyağı, vizkozitesi ve yoğunluğu nispeten daha yüksek olan fuel oil'e göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Köpürtücülerden MIBC, Dowfroth 250'ye göre daha seçimli davranmış ve daha kaliteli yakıtların eldesine olanak sağlamıştır. Kömür kazanımı yönünden her iki köpürtücünün de benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yıkama suyu ve köpük kalınlığının artırılması ile ürün kalitesi artmış ve düşük küllü ürünler elde



edilmiştir. Ancak, az da olsa temiz kömür kazanımında düşüşler meydana gelmiştir.

### Kaynaklar

1. Atak, S., "Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması", İTÜ Maden Fakültesi Yayınları, Sayı 101, İstanbul. (1982)
2. Özbayoğlu, G., "Kömür Zenginleştirme yöntemleri", Cevher Hazırlama El Kitabı, ed. G.Önal & G.Ateşok, Yurt Madencilik Geliştirme Vakfı Yayını, s.349-367. (1994)
3. Aksarı, B., "Flotasyon Kolonları: Karşılaştırmalı Çalışmalar, Uygulamalarda Karşılaşılan Sorunlar ve Alternatif Kolon Tasarımları", 37, 41-55.(1998).
4. Önal, G., Acarkan, N., Güney, A., "Cevher Hazırlamadaki Yeni Gelişmeler" 21. Yüzyıla Girerken Türkiye Madencilik, 20-22 Haziran, Sivas, 157-175.(1996)
5. Önal, G., Güney, A., "Kömür hazırlama yöntemleri ve tesisleri", Kömür, ed. O. Kural, Özgün Ofset Matbacılık A.Ş., İstanbul, s.269-295. (1998)
6. Finch, J.A., Dobby, G.S., Column flotation, Pergamon Pres, Oxford. (1990)
7. Yoon, R.H., "Microbubble flotation", Minerals Engineering, 6, 4, pp. 619-630. (1993)
8. Yoon, R.H., "Advanced Coal Cleaning and Coal Recovery", US-India Coal Working Group Meeting, April, 4-5, Virginia. (2006)
9. Yoon, R.H. ve Luttrell, G.H., "Microcel™ column flotationscale-up and plant practice", Proceeding of the 26 th Annual Meeting Canadian Mineral Processing, CIM, paper 12.(1994)
10. Zipperian, D.E., Svensson, U., "Plant practice of floatation column flotation machine for metallic and coal flotation" Column Flotation '88, K.V.S. Sastry (ed), Chapter 7, 43-54. (1988)
11. Lai, R., "Cyclonic flotation column for minerals beneficiation", Mining engineering, 54, No.3, March. (2002)
12. Jameson, G.J., Manlapig, E.V., "Application of the Jameson cell", Agar, G.E., Huls, B.J., Hyma, D.B., (ed.), Column'91, 2, 675-687. (1991)
13. Mankosa, M.J., Luttrell, G.H., Adel, G.T., Yoon, R.H., "A study of axial mixing in column flotation".International Journal of Mineral Processing, 35, 51-64 (1992)
14. Hacıfazlıoğlu, H., "Alternatif flotasyon yöntemlerinin tanıtılması", Madencilik Dergisi, Vol.46, No.3, s.23-41. (2007)
15. Cebeci, Y., "The investigation of the floatability improvement of Yozgat Ayrıdam lignite using various collectors", Fuel, 81, 281-289. (2002)
16. Erol M., Colduroğlu, C., Aktas, Z., "The effect of reagents and reagent mixtures on froth flotation of coal fines", International Journal of Mineral Processing, Vol.71, pp.131-145. (2003)
17. Pradyumma, K. Reddy, Sita, R., Vibhuti, M., "Interpretation of interaction effect and optimization of reagent dosages for fine coal flotation", Inter. Journal of Mineral Processing, Vol.75. pp.83-90. (2004)
18. Melo, F., Laskowski J.S., "Fundamental properties of flotation frothers and their effect on flotation", Minerals Engineering, Vol.46, pp.126-140. (2005)
19. Hacıfazlıoğlu, H., Sütücü, H., "Optimization of some parameters in column flotation a comparison of conventional cell and column cell in terms of flotation performance", Journal of The Chinese Institute of Chemical Engineers, Vol.38, pp.287-293. (2007)
20. Sütücü, H., Toroğlu, İ., Dalahmetoğlu, O., "Recovery of coal from waste fines by column flotation", Journal of Solid Waste Technology and Management, Vol.29, No.3, pp.168-178. (2003)
21. Tao, D., Luttrell, G.H., Yoon, R.H., "A parametric study of froth stability and its effect on column flotation of fine particles", International Journal of Mineral Processing, Vol.59, pp.25-43. (2000)
22. Tao, D., Li, B., Johnson, B.K., Parekh, B.K., "A flotation study of refuse pond coal slurry", Fuel Processing Tech, Vol.76, pp.201-210. (2000)
23. Tan, S.N., Pugh, R.J., Farnasiero, D., Sedev, R., Raltson, J., "Foaming of polypropylene glycols and glycol/MIBC mixtures", Minerals Engineering,18, pp.179-188. (2005)
24. Cebeci, Y., "Endüstriyel ölçekte kullanılan yağlarla linyit kömürlerin flotasyonu ile ilgili bir çalışma", C.Ü. Mühendislik Fakültesi, Madencilik Bilim ve Teknolojisi Dergisi, C.1, S.2. s. 55-62. (1996)

