

Taşkömürü Tozları Flotasyonunda Sıcaklığın Etkisi

Hasan HACİFAZLIOĞLU*¹, Gözde Hande GERDAN¹

¹İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34320 Avcılar- İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, %55,85 küllü Zonguldak toz kömüründen flotasyon yöntemi ile temiz kömür üretiminde toplayıcı olarak bitkisel atık yağ (BAY) kullanılmış ve pülp sıcaklığının flotasyon verimine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla pülp sıcaklıkları 5±3, 25±3, 50±3 ve 75±3 °C olacak şekilde 4 farklı pülp sıcaklığı değerinde flotasyon çalışması yapılmıştır. Deneyler sonucunda en yüksek yanabilir verim değerleri 25±3 ve 50±3 °C'lik pülp sıcaklıklarında elde edilmiştir. Suyun soğuk (5±3 °C) ya da çok sıcak olması (75±3 °C) durumunda yanabilir verim azalmıştır. En yüksek yanabilir verim değerleri pülp sıcaklığının 25±3 °C olduğu durumda elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta yanabilir verim %28,19, ürün küllü ise %15,80 bulunmuştur. En düşük küllü kömür ise 75±3 °C'lik pülp sıcaklığında elde edilmiş olup, ürün küllü %11,21 bulunmuştur. Ancak 75±3 °C'lik pülp sıcaklığında yanabilir verim değeri diğer sıcaklıklara göre daha düşük olup, %23,69 bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Taşkömürü Flotasyonu, Sıcaklık, Bitkisel Atık Yağ

Effect of Temperature on Fine Hard Coal Flotation

ABSTRACT

In this paper, 55,58% ash fine coal is used for production of clean coal by flotation. As a collector waste vegetable oil is used. Pulp temperature effect on flotation yield is searched. For this purpose, four different temperature range which are 5±3, 25±3, 50±3 and 75±3 °C is used at flotation. Experiments results with highest yield with pulp temperature at 25±3 and 50±3 °C. Combustible recovery decreased at cold water (5±3 °C) and hot water (75±3 °C). Highest combustible recovery is reached at 25±3 °C pulp temperature. At this temperature, recovery is found as 28,19%, and product ash is found as 15,80%. Lowest ash coal is found at 70 ±3 °C pulp temperature. Product ash is found as 11,21%. However, combustible recovery value is lower when it is compared the other temperatures at 75±3 °C pulp temperature. Its yield is 23,69%.

Keywords: Hard Coal Flotation, Temperature, Waste Vegetable Oil

1. Giriş

Tükenebilir fosil yakıtlardan olan kömür, halen dünya enerji üretiminde oldukça önemli bir yere sahiptir. Türkiye'de de fosil yakıt kaynakları içerisinde en büyük rezerve sahip olan kaynak kömürdür. Petrol ve doğalgaz gibi diğer fosil yakıt kaynaklarının her geçen gün hızla tükendiği göz önüne alınırsa, gelecekte de enerji üretiminde önemli rol oynayacak olan kömür rezervlerinin en etkin şekilde kullanılması ve değerlendirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Türkiye kömürlerinin üretilmesi ve tüketime hazırlanması esnasında oldukça yüksek miktarda ince boyutlu toz kömür ortaya çıkmaktadır.

* Sorumlu Yazar: hasanh@istanbul.edu.tr

Yüksek kül içerikli toz kömürlerin değerlendirilmesi ülke ekonomisi ve gelecekteki enerji hammadde gereksinimleri açısından bir zorunluluktur [1]. Önceleri herhangi bir temizleme işlemine girmeden, doğrudan santrallerde yakılan toz kömürler, günümüzde çeşitli temizleme işlemlerinden geçirilerek sanayinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Bu sayede, kömür yakılmadan önce daha temiz bir yakıt haline gelmekte ve pazarı genişleyerek satış fiyatı da yükselmektedir. Örneğin Zonguldak toz kömürü flotasyonla zenginleştirilerek demir çelik sanayisinin ham maddesi olan kok üretimi için kullanılabilir. Zonguldak havzasında, flotasyon yöntemi ile ortalama kül içeriği %50 olan toz kömürlerden, %10-15 küllü temiz kömürler üretilebilmektedir. Kömür flotasyonunda genellikle 500 gr/t mertebesinde gazyağı, dizel ya da fuel oil kullanılmakta iken, köpürtücü olarak MIBC, çamyacı ya da hegzanol kullanılmaktadır [2]. Ülkemizde toz kömür genellikle spiral konsantratörlerle zenginleştirilmektedir. Ancak spiral konsantratörlerin ayırma performansları flotasyon makinelerine göre daha düşüktür. Özellikle yüksek hidrofobik özellikli Zonguldak bitümlü kömürünün flotasyon verimi spiral konsantratörlere göre daha yüksektir [3].

Köpük flotasyonu endüstriyel ölçekte 70 yıldan daha uzun bir süredir uygulanmaktadır. Her ne kadar isimleri, mekanik flotasyon, kolon flotasyonu ya da jet flotasyonu olarak bilirse de temelde kömür ve su karışımı olan pülp içerisinde hava kabarcığı oluşturmaya dayanan bir yöntemdir. Pülp içerisinde hava kabarcığı oluşturma çok çeşitli yöntemleri bulunmaktadır. Farklı yöntemlerle farklı boyutlarda kabarcıklar elde edilebilir. Kabarcık boyutu özellikle çok ince boyutlu kömürün flotasyon verimini önemli derecede etkilemektedir. İnce tanelerin flotasyonu için büyük yüzey alanları gerekir ve dolayısıyla ince kabarcıklar üretilmelidir. Diğer taraftan, flotasyonda kullanılan kimyasallar, besleme tane boyutu, katı oranı gibi çalışma parametreleri de flotasyonun başarısı için büyük önem arz etmektedir. Az bilinen ve genellikle önemsenmeyen pülp sıcaklığı değeri de flotasyon verimini önemli derecede etkileyen bir parametredir. Gün içerisindeki sıcaklık değişimleri ve mevsimler flotasyon performansını etkileyebilmektedir [4]. Çoğu araştırmacı, ince tanelerin flotasyonunda sıcaklığın olumlu etki yarattığını belirtmiştir. Özellikle, 60 - 80°C'de kuvars'dan hematit ve ilmenitin yüksek verimle giderilebileceği, kalkopirit ve galen ayırımında yüksek sıcaklığın daha verimli olduğu belirtilmiştir. Flotasyonun ve kıvamlandırmanın 60 - 80°C gibi yüksek sıcaklıklarda yapılması, adsorpsiyon ve flotasyon kinetiğini arttırmakta, köpük oluşumunu ve kontrol mekanizmasını hızlandırarak flotasyonu iyileştirmektedir [5]. Somasundaran (1979) tarafından yapılan bir çalışmada, ince hematit'in oleatla flotasyonunda sıcaklığın etkisi araştırılmış ve yüksek sıcaklıklarda yüksek tenörlü hematit konsantresi elde edilmiştir [6]. Diğer taraftan yüksek sıcaklık sayesinde toplayıcı sarfiyatı azalmış, iyi bir selektivite sağlanmış ve sıcaklık sayesinde mineral yüzeylerinin aktivasyonu artmıştır [7].

Kömür flotasyonunun performansını önemli ölçüde etkileyen 2 ana parametre vardır. Bunlardan biri temas açısı iken, diğeri tanecik ile nonpolar (polar olmayan) yağ arasındaki adsorpsiyon verimidir. Temas açısı ne kadar büyükse flotasyon o derece başarılıdır. Genel olarak, etkili bir flotasyon işlemi için temas açısı 50°'in üstünde olmalıdır. Kömür flotasyonunda kollektör olarak gazyağı, dizel ve fuel oil gibi nonpolar yağlar kullanılır. Bu yağlar kömür yüzeyini kaplayarak, kömürün hava kabarcığına daha kolay yapışmasını sağlar. Yağların kömür yüzeyine adsorplanması ne kadar kolay olursa, kömürün yüzdürülmesi de o derece kolay olur. Yüksek vizkoziteye sahip fuel oil'in kömür yüzeyine adsorpsiyonu zor olduğu için flotasyon başarısı da gazyağına göre daha düşüktür [8]. Bu bakımdan yağ adsorpsiyonunu arttırmanın ve temas açısını büyütmenin bir yolu da flotasyon işleminde sıcaklığın arttırılmasıdır. Kömürün güçlü doğal hidrofobitesi nedeniyle sıcaklıktan çok fazla etkilenmeyeceği düşünülmektedir. Ancak, okside olmuş veya yüzmesi zor olan kömürlerde sıcaklığın etkisi büyüktür. Öyle ki, zor yüzen bir İngiliz kömürü ile yapılmış olan bir çalışmada farklı pülp sıcaklıklarının flotasyon verimi üzerine etkisi araştırılmış ve 5 °C'de yapılmış olan flotasyonda %20 konsantre verimi sağlanmışken, 30 °C'lik bir sıcaklıkta %80'e varan bir konsantre verimi elde edilmiştir [9]. Bazı kömürlerin temas açıları, sıcaklığın artmasıyla birlikte 0°'den 55°'ye kadar yükselmiştir [10]. Sıcaklığın artması ile flotasyonda kullanılan nonpolar yağların vizkozitesi düşmekte ve kömürle nonpolar yağ arasında daha güçlü adsorpsiyonların oluşmasını sağlamaktadır [11]. Ancak sıcaklığın çok fazla arttırıldığı durumda (>50 °C), flotasyon koşulları tekrar bozulmakta ve kömürün flotasyon performansı düşmektedir. Kömür flotasyonu için en uygun sıcaklık değerinin 20 ile 40 °C arasında olduğu belirtilmektedir [4]. Daha yüksek sıcaklıklarda (>50 °C), su moleküllerinin hareketi artmakta, ayrıca

nonpolar yağın vizkozitesi çok azaldığı için kömür yüzeyinden daha kolay kopmaktadır. Klassen (1963) yüksek sıcaklıklarda flotasyon veriminin düşmesinin nedenini kömürün okside olmasına bağlamıştır. Diğer taraftan, yüksek sıcaklıklarda köpük stabilitesi de bozulmakta ve kabarcık-tanecik kopmaları artmaktadır. Düşük sıcaklıklarda ise (<20 °C) hem temas açısı azalmakta, hem de suyun vizkozitesi arttığı için ince kabarcık oluşumu zorlaşmaktadır. Yukarıdaki nedenlerden ötürü flotasyonda sıcaklığın etkisi ihmal edilemeyecek kadar önemlidir [4,9,10,11, 12].

Bu çalışmada, kolay yüzebilen (yüksek hidrofobik özellikli) Zonguldak taşkömürünün flotasyonunda sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Toplayıcı olarak ekonomik olması bakımından "atık bitkisel yağ" kullanılmıştır. Taşkömürü flotasyonunda atık bitkisel yağın sıcaklığa bağlı olarak performansı ilk kez bu çalışmada ele alınmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Kömür Örneğine Ait Özellikler

Deneysel çalışmalarda kullanılan toz kömür numunesi, Zonguldak Çatalağzı beldesinde faaliyet gösteren Karbomet Madencilik Kömür Yıkama tesisinden alınmıştır. Söz konusu tesiste +0.5-100 mm kömür Çift Makaralı Ağır Ortam Siklonu ile yıkanmakta iken, -0.5 mm kömür susuzlandırılarak (0.2 mm elekte) termik santrale gönderilmektedir. Susuzlandırma eleği üstünden alınan toz kömür numunesinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

2.2. Deneylerde İzlenen Yöntem

Numune laboratuvarında homojen olarak karıştırıldıktan sonra, konileme-dörtleme ile azaltılmış ve 95 °C'deki etüvde 4 saat bekletilerek nemi tamamen giderilmiştir. Flotasyon deneyleri Şekil 1'de gösterilen Denver marka bir flotasyon makinesinde (1) gerçekleştirilmiştir. Kömür numunesi farklı sıcaklıklarda yüzdürülerek (2), elde edilen her ürün filtre kağıtlarında filtrasyon işlemine tabi tutulmuş ve suyu giderildikten sonra 95 °C'deki etüvde nemi gidinceye kadar kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından ayrı ayrı tartılarak verimleri ve kül fırınında kül analizleri yapılmıştır. Pülp sıcaklığının ölçülmesinde kızılötesi (infrared) termometre kullanılmıştır. Pülp sıcaklıkları 5, 25, 50 ve 75 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Ancak flotasyon süresince sıcaklıklarda ± 3 °C'lik bir dalgalanma oluşmuştur.

Çizelge 1. Taşkömürü numunesinin kimyasal analiz sonuçları

Analiz	Kuru Kömürde (%)
Toplam kül	55,85
Uçucu madde	15,80
Sabit karbon	28,35
Toplam kükürt	0,85



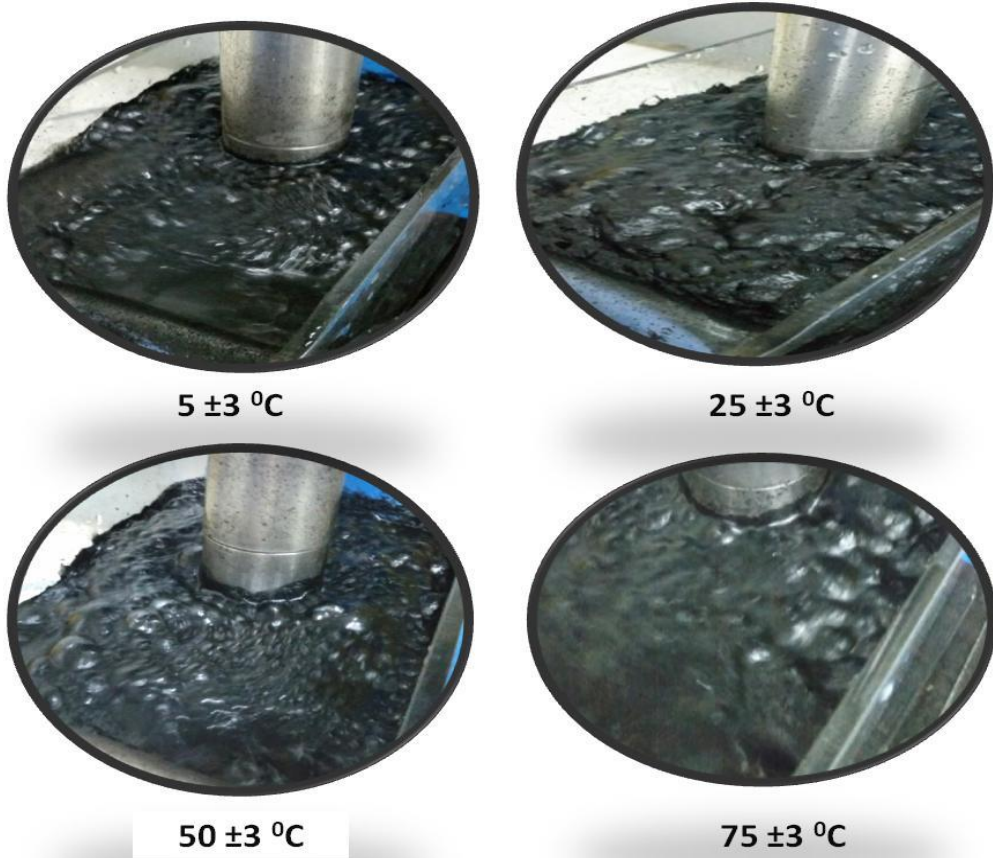
Şekil 1. Denver flotasyon hücresi (1), flotasyon anı (2) ve filtrasyon işlemi (3)

Toz kömürün flotasyonunda toplayıcı olarak bitkisel atık yağ (BAY), köpürtücü olarak okaliptüs yağı kullanılmıştır. Başka herhangi bir kimyasal madde ilave edilmemiştir. Flotasyon makinesinin karıştırma hızı 1100 dev/dk'ya ayarlanmış ve sırasıyla 30, 60 ve 240 sn köpük alma sürelerinde flotasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler 5, 25, 50 ve 75 °C'lik pülöp sıcaklıkları için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Deneylerde kullanılan bitkisel atık yağ, patates kızartma işlemlerinde 3 kez kullanılmış olan ayçiçek yağıdır. Genel flotasyon koşulları Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2. Genel flotasyon koşulları

Parametre	Değeri
Toplayıcı (BAY)	2000 gr/t
Köpürtücü (Okaliptüs Yağı)	100 gr/t
Devir	1100 rpm
Katı Oranı	%15
Pülöp Sıcaklığı	5, 25, 50 ve 75 °C

Bitkisel atık yağın su içerisinde dağılması zor olduğu için, bu yağ saf su ile emülsifiye edilerek kullanılmıştır. Bu işlem için 3000 dev/dk'lık bir hızla dönen karıştırıcı (stirrer) kullanılmıştır. %1 atık yağ içeren emülsifiye kollektör ile deneyler yapılmıştır. Farklı sıcaklıklarda yapılan deneylerin flotasyon anı görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda yapılan deneylerin flotasyon anı görüntüleri

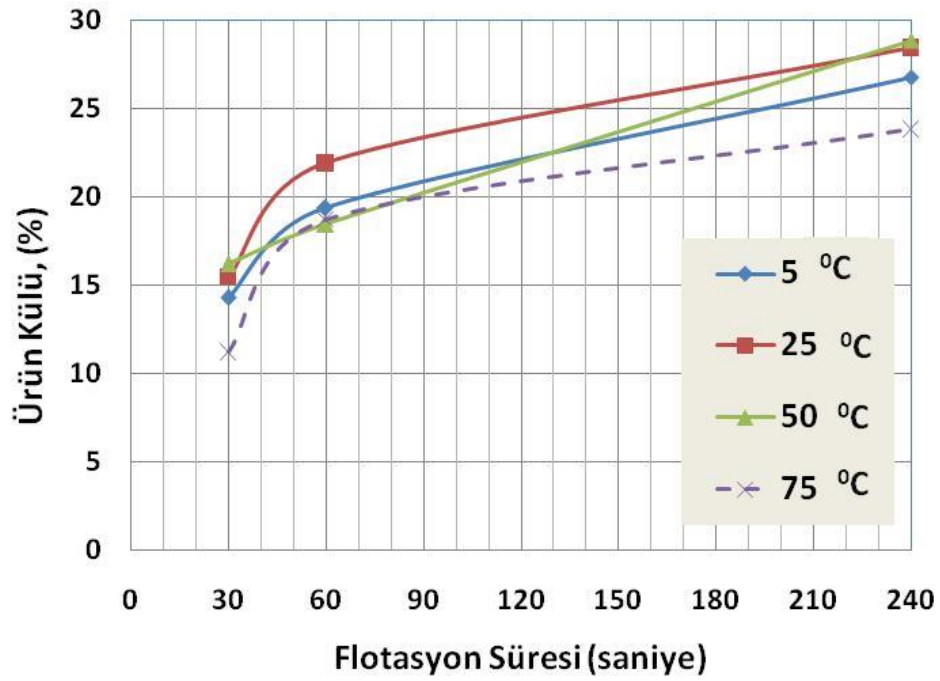
3. Deney Sonuçları ve Deđerlendirme

3.1. Pülp Sıcaklığının 5±3, 25±3, 50±3 ve 75±3 °C Olduğu Durumlarda Flotasyon

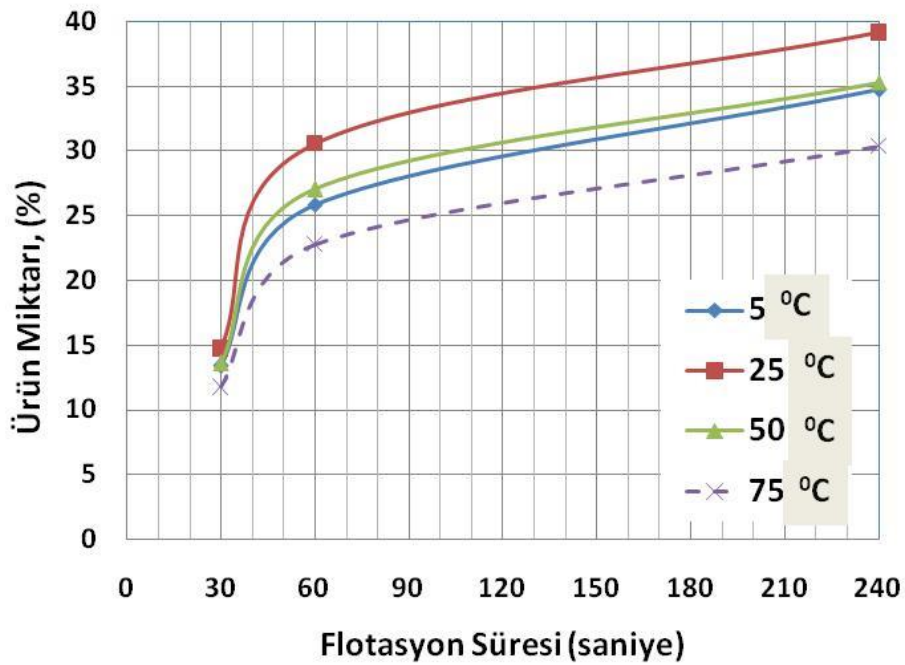
Denver flotasyon hücresinde, 5±3, 25±3, 50±3 ve 75±3 °C'lik pülp sıcaklıklarında 2000 g/t BAY, 100 g/t Okalıptüs yağı kullanılarak, 1100 rpm'lik bir karıştırma hızında ve %15 katı oranı ile ayrı ayrı yapılan deneylerin sonuçları farklı köpük alma süreleri (30, 60 ve 240 sn) için aşığıda yorumlanmıştır.

3.2. Farklı Pülp Sıcaklıklarında Yapılan Flotasyon Deneylerinin Karşılaştırılması

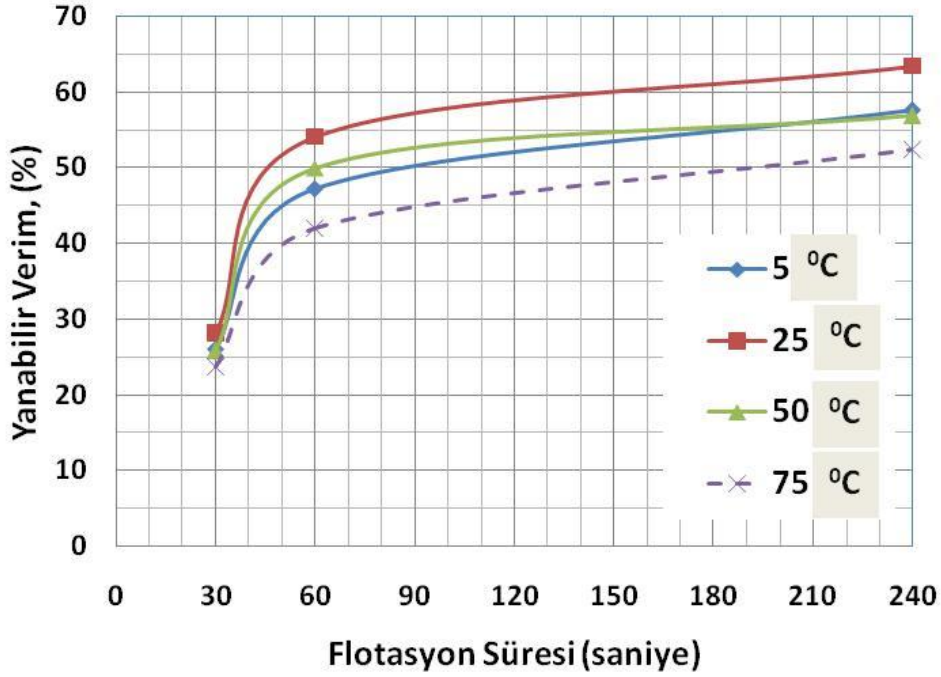
Farklı pülp sıcaklıklarda (5±3, 25±3, 50±3 ve 75±3 °C), 2000 g/t BAY, 100 g/t Okalıptüs yağı kullanılarak, 1100 rpm'lik bir karıştırma hızında, %15 katı oranı ile yapılan flotasyon çalışması sonucunda elde edilen ürünlerin kül değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'de ise sırasıyla ürün miktar (verim) ve yanabilir verim değerlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3. Flotasyonda sıcaklığın ürün külü değerlerine etkisi



Şekil 4. Flotasyonda sıcaklığın ürün miktarı (verim) değerlerine etkisi



Şekil 5. Flotasyonda sıcaklığın yanabilir verim değerlerine etkisi

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, %55,85 küllü Zonguldak toz kömüründen flotasyon yöntemi ile temiz kömür üretiminde toplayıcı olarak bitkisel atık yağ (BAY) kullanılmış ve pülp sıcaklığının flotasyon verimine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla pülp sıcaklıkları 5 ± 3 , 25 ± 3 , 50 ± 3 ve 75 ± 3 °C olacak şekilde 4 farklı pülp sıcaklığı değerinde flotasyon çalışması yapılmıştır. Deneyler sonucunda en yüksek yanabilir verim değerleri 25 ± 3 ve 50 ± 3 °C'lik pülp sıcaklıklarında elde edilmiştir. Suyun soğuk (5 ± 3 °C) ya da çok sıcak olması (75 ± 3 °C) durumunda yanabilir verim azalmıştır. En yüksek yanabilir verim değerleri pülp sıcaklığının 25 ± 3 °C olduğu durumda elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta yanabilir verim %28,19, ürün külü ise %15,80 bulunmuştur. En düşük küllü kömür ise 75 ± 3 °C'lik pülp sıcaklığında elde edilmiş olup ürün külü %11,21'dir. Ancak 75 ± 3 °C'lik pülp sıcaklığında yanabilir verim değeri diğer sıcaklıklara göre daha düşük olup %23,69 bulunmuştur. Bu durumun muhtemel nedeni sıcak suyun buharının kabarcıkları irileştirmesi, kolay patlamasına neden olması ve nihayetinde hidrofob ve yarı hidrofob (ara ürün) tanelerin köpüğe taşınmadan pülp içerisine geri düşmesidir. Diğer pülp sıcaklıklarında (5 ± 3 , 25 ± 3 ve 50 ± 3 °C'de) kabarcıklar daha kompakt yapıda iken, 75 ± 3 °C'de daha gevşek kabarcıklar oluşmuştur. Bu durum yüksek sıcaklıkta köpük stabilitesinin düşmesine neden olarak köpüğe taşınan hidrofob malzeme miktarını azaltmıştır.

Taşkömürünün yüksek hidrofobitesi nedeni ile flotasyon ürünlerinin özelliklerinde çok büyük değişiklikler gözlemlenmemiştir. Ancak, düşük hidrofobik özellik gösteren linyit kömürlerin flotasyonunda sıcaklığın etkisinin daha da belirgin olarak ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir.

Teşekkür

Desteklerinden Dolayı TÜBİTAK'a (215M156 No'lu Proje) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Bilir, K., 2011, Kömür Flotasyonunda Kullanılan Gazyağı Miktarının Oranların Farkı Testi ile Optimizasyonu Eskiřehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt: XXIV
- [2] Hacifazlıoğlu, H., 2009, İnce Boyutlu Kömürlerin Flotasyonu İçin Yeni Bir Flotasyon Makinesinin (Siklojet Hücresinin) Geliřtirilmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mhendisliđi Blm, Zonguldak, Doktora Tezi
- [3] Hacifazlıoğlu H., 2012. Application Of The Modified Water-Only Cyclone For Cleaning Fine Coals In A Turkish Washery, And Comparison Of Its Performance Results With Those Of Spiral And Flotation, Fuel Processing Technology, vol.32, pp.11-17.
- [4] Bhattacharya, S. and Pascoe, R.D., 2005, Effect of Temperature on Coal Flotation Performance - A Review, Mineral Processing & Extractive Metall. Rev., 26: 3161.
- [5] Atak, S. ve Tolun, R., 2014. Cevher Hazırlama El Kitabı, Ed.G.nal, G.Ateřok, K.T.Perek., YMGV, İstanbul.,s.185-236.
- [6] Somasunduran, P., 1979; Processing Mineral Fines, Eng. Min. Journal, Dec.
- [7] Ateřok, G., 1983. Bir Ayırma Yntemi Olarak Elektroflotasyon, Madencilik Dergisi, 3, s.22-36.
- [8] Cebeci, Y. 2002. The investigation of the floatability improvement of Yozgat Ayırđam lignite using various collectors, Fuel, 81 281-289.
- [9] Bailey, R., and Whelan, P. F., 1957, Influence of pulp temperature on the froth flotation of four british fine coals, J. Inst. Fuel, 25, pp. 304_307.
- [10] Gayle J. B. and Smelley, A. G., 1960. Effects of Temperature Variation on Contact Angles for Coal and Related Substances, U.S. Bureau of Mines, (*), Pittsburgh, (RI 5585).
- [11] Glembotskii, V. A., Klassen, V. I., and Plaksin, I.N., 1972, Flotation, New York, Primary Sources.
- [12] Klassen, V. I., 1963., Coal Flotation, Moscow, Gosgortiekhizdat, and Katowice, Russia, Slask (in Russian and Polish).