



Makale / Research Paper

Farklı Kömür Türlerinden Piritik Kükürdün Knelson Konsantratör ile Uzaklaştırılması

Selçuk ÖZGEN^a

^aTürkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

ozgen_s@hotmail.com

Received/Geliş: 01.05.2021

Accepted/Kabul: 11.06.2021

Öz: Ülkemizdeki linyit kaynakları %1-5 arasında kükürt içermekte olup bazı durumlarda kükürt içeriği %10'lara kadar ulaşmaktadır. Ülkemizde gün geçtikçe düşük kükürtlü rezervlerin tükenmesiyle yüksek kükürtlü kaynaklarımızın da kullanımı zorunlu hale gelecektir. Bu nedenle yakma öncesi kükürt uzaklaştırma yöntemlerinin kullanımı önem kazanacaktır. Son yıllarda kömür zenginleştirme amaçlı kullanılan Knelson konsantratör cihazı bu çalışmada piritik kükürt uzaklaştırılması için kullanılmıştır. Bunun için ülkemizde çeşitli bölgelerinde bulunan kömür yataklarından temin edilen kömür örneklerinin öncelikle içerdikleri kükürt türleri ve miktarları belirlenmiştir. Daha sonra Knelson konsantratör ile bu kükürt türlerinden piritik kükürdün uzaklaştırılabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmalar için Kütahya/Tunçbilek, Çanakkale/Çan ve Muğla/Hüsamlar bölgesinde yer alan linyit kömür türleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, Kütahya/Tunçbilek kömürünün toplam %2,79 kükürt içerdiği ve bunun %1,24'ünün piritik kükürt olduğu, Çanakkale/Çan kömürünün toplam %6,33 kükürt içerdiği ve bunun %3,56'sının piritik kükürt olduğu ve Muğla/Hüsamlar kömürünün toplam %3,89 kükürt içerdiği ve bunun %2,21 piritik kükürt olduğu belirlenmiştir. Knelson konsantratör ile yapılan piritik kükürt uzaklaştırma çalışmaları sonrasında Tunçbilek kömürlerindeki piritik kükürt %0,46'ya, Çan kömürlerindeki piritik kükürt içeriği %0,81, Hüsamlar kömürlerindeki piritik kükürt %1,12'ye düşürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kömür, Piritik Kükürt, Knelson Konsantratör.

Removal of Pyritic Sulfur from Different Coals with the Knelson Concentrator

Abstract: The lignite resources in our country contain between 1% and 5% sulfur, and in some cases, the sulfur content reaches up to 10%. With the depletion of low sulfur reserves, the use of our high sulfur resources will be mandatory. Therefore, the use of desulfurization methods before combustion will be important. The Knelson concentrator, which has been used for coal enrichment in recent years, was used in this study with a focus on pyritic sulfur enrichment. For this purpose, primarily the sulfur types and amounts of the coal samples were determined. Then, the removal of pyritic sulfur from these sulfur species was investigated with a Knelson concentrator. Within the scope of the study, 3 different coal types were used. These; Kütahya/Tunçbilek, Çanakkale/Çan and Muğla/Hüsamlar coal deposits. In this study, it was determined that Kütahya/Tunçbilek coal contains 1.24% pyritic sulfur (total sulfur 2.79%), Çanakkale/Çan coal 3.56% pyritic sulfur (total sulfur 3.56%) and Muğla/Hüsamlar coal 2.21% pyritic sulfur (total sulfur 3.89%). As a result, pyritic sulfur in Tunçbilek coals was reduced to 0.46%, pyritic sulfur content in Çan coals was reduced to 0.81%, and pyritic sulfur in Husamlar coals was reduced to 1.12%.

Keywords: Coal, Pyritic Sulphur, Knelson Concentrator.

1. Giriş

Dünyada olduğu gibi ülkemiz içinde kömür birincil enerji kaynağı olmaya devam etmektedir. Yaklaşık 18 milyar ton olan linyitlerimizin düşük kalorifik değere (2.000 kcal/kg'ın altında % 65) ve yüksek kükürt içeriğine (% 1-5) sahip olması, hava/çevre kirliliği ve insan sağlığı göz açısından kullanımını zorlaştırmaktadır [1, 2]. Linyitlerimiz ısı değerlerini artırmak için kömür hazırlama

Bu makaleye atıf yapmak için

Özgen, S., "Farklı Kömür Türlerinden Piritik Kükürdün Knelson Konsantratör ile Uzaklaştırılması" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8 (3); 1351-1359.

How to cite this article

Özgen, S., "Removal of Pyritic Sulfur from Different Coals with the Knelson Concentrator" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8 (3); 1351-1359.

ORCID ID: *0000-0002-2078-53490000

tesislerinde yıkama işlemleri yapılmakta ve kül içeriği düşürülerek kalorifik değeri yükseltilmektedir. Ancak, linyitlerimizdeki kükürt içeriğinin genellikle yüksek olması bir takım sorunları da beraberinde getirmektedir.

Kömürde bulunan kükürt; sülfidler, sülfatlar, organik sülfür ve element sülfür olarak dört gruba ayrılmaktadır. Kömürdeki en önemli sülfür formları sülfidler (piritik) ve organik sülfürlerdir. Organik sülfür, kömürün bir parçası şeklinde moleküler olarak kömüre bağlanmıştır. Bu yüzden fiziksel yada fizikokimyasal yöntemler ile zenginleştirmek imkânsızdır. Sülfidler olarak tanımlanan sülfid mineralleri genellikle pirit (FeS_2) ve markasit (FeS_2) türü minerallerdir. Bu tür kükürt kaynakları makul derecede serbestleşme sağlanarak gravite, manyetik ayırıcılar veya fizikokimyasal veya kimyasal yöntemlerle kömürden uzaklaştırılabilir [3-6]. Bilindiği gibi yoğunluk farklı kullanılarak yapılacak zenginleştirme işlemlerinde minerallerin çökeltme hızlarındaki fark kullanılarak bir zenginleştirme yapılmaktadır. İnce boyutlarda serbestleşen minerallerin yoğunluk farkı ile zenginleştirilmesi, çökeltme hızlarının çok yavaş olmaları nedeniyle oldukça uzun zaman almaktadır. Bu durum, kullanılan ekipmanın hem ayırma kapasitesini hem de verimini düşürmektedir. Çökeltme hızını artırmak ve böylece daha etkin bir ayırmanın yapılabilmesi amacıyla merkezkaç kuvvetten yararlanan birçok cihaz geliştirilmiştir. Bu cihazların arasında Knelson konsantratör, Falcon konsantratör, Altar jigi, Kelsey jigi ve Multi Grative Seperatörler (MGS) bulunmaktadır. Bu cihazlar ince ve ultra ince tanelerin zenginleştirilmesinde ve kömürün temizlenmesinde son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [7-9].

İnce boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesinde Multi Grative Seperatör (MGS), Knelson konsantratör ve hidrosiklon kullanan bazı araştırmacılar etkili sonuçlar elde etmiş ve MGS ile Knelson konsantratörün özellikle daha küçük boyutlu tanelerde etkili olduklarını belirlemişlerdir [10]. Falcon konsantratör ile yapılan bir başka çalışmada ise kömür zenginleştirmenin yanında kömürdeki kükürdün uzaklaştırılması da araştırılmıştır. Bu çalışmada %7,21 kükürt içeren kömür kullanılmış olup Falcon konsantratör ile zenginleştirilerek %2,15 kükürtlü kömür elde edilmiştir. Bu sayede Falcon konsantratör ile toplam kükürdün %75,18'ini uzaklaştırdığı bildirilmiştir [11]. Başka bir araştırmacı ise Falcon konsantratör kullanarak kömürden sadece piritik kükürdün uzaklaştırılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmalarında sadece piritik kükürdün davranışını incelemiş ve %50-60 oranında bir uzaklaştırma sağlandığını hesaplamıştır [12]. Benzer çalışmalar Uslu vd. [13] ile Honaker vd. [14] tarafından da yapılmış ve kömürdeki piritik kükürt başarılı bir şekilde uzaklaştırılmıştır.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda MGS ve Falcon konsantratörün hem kömür zenginleştirmede hem de kükürt uzaklaştırmada kullanıldığı belirlenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında, bu cihazların piritik kükürt uzaklaştırma için yetersiz kaldığı, daha düşük kükürt oranları elde etmek için alternatif yöntemlerin geliştirilmesi gerektiği görülmektedir. Bu amaçla yapısal olarak Falcon konsantratöre benzeyen, ancak iç olukları ve iç açılarındaki farklılıklar nedeniyle farklı türbülanslar oluşturması sayesinde daha başarılı olacağı düşünülen Knelson konsantratörün kömürden piritik kükürdün uzaklaştırılmasında kullanımının araştırılması gerekmektedir. Ülkemizdeki yüksek kükürt içerikli üç farklı kömür sahasından (Çanakkale/Çan, Kütahya/Tuçbilek ve Muğla/Hüsamlar) temin edilmiş kömürlerden Knelson konsantratör kullanılarak piritik kükürdün uzaklaştırılabilirliği bu deneysel çalışmada araştırılmıştır. Knelson konsantratörlerin kömürdeki piritik kükürt uzaklaştırmadaki başarısı belirlenerek yüksek kükürtlü kömürlerin kükürt seviyesi ihtiyaç duyulan %2 seviyesinin altına indirilmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Çalışma kapsamında Çanakkale/Çan, Kütahya/Tuçbilek ve Muğla/Hüsamlar bölgesinden elde edilen linyit kömürleri kullanılmıştır. Numune alma işlemleri tüvenan stok sahalarından yapılmış

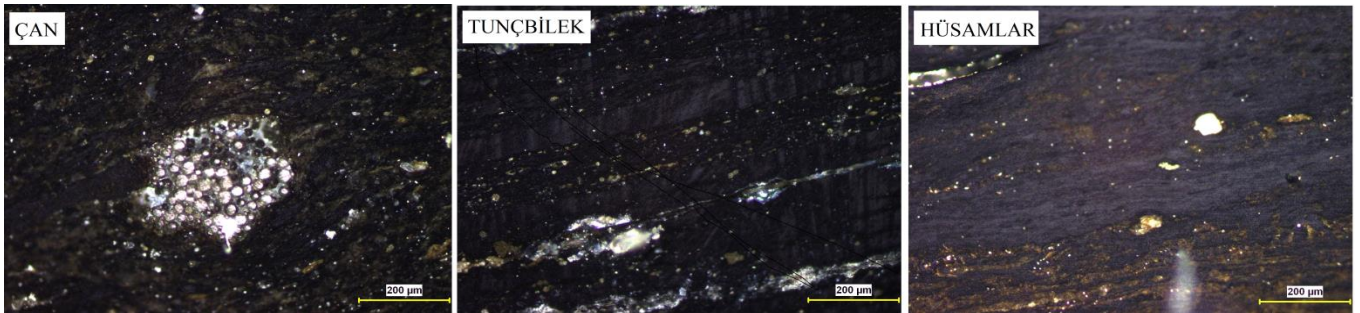
olup her vardiyada yaklaşık 100 kg kömür stok sahasının rastgele bölgelerinden kürekle alınmıştır. Bir hafta boyunca devam eden numune alma işlemleri sonrası yaklaşık 2 ton numune alınmış ve sahada stoklanmıştır. Daha sonra bu numuneler önce iki kez kürekleme yöntemiyle daha sonra konileme-dörtleme ile azaltılarak yaklaşık 100 kg'a indirilerek laboratuara taşınmıştır. Bu kömürlere ait kısa kömür analizleri ve kükürt analizleri yapılmış olup Tablo 1'de verilmiştir. Kömürlerin kül ve uçucu madde analizlerinde ASTM D 3174, kükürt analizlerinde ASTM D 4239, nem analizlerinde TSE 690, farklı bazlarda analizlerin hesaplanmasında ise ISO 1170 ve ISO 1988 kullanılmıştır. Ayrıca organik kükürt hesaplamaları TS 329 ISO 157 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olup toplam kükürt değerinden sülfat ve piritik kükürdün çıkarılması ile bulunmuştur.

Tablo incelendiğinde Çan kömürlerinin toplam kükürt içeriği %6,33, Tunçbilek kömürlerinin toplam kükürt içeriği %2,79 ve Hüsamlar kömürlerinin toplam kükürt içeriği ise %3,89 olarak bulunmuştur. 7 Şubat 2009 tarihinde resmi gazetede yayınlanan "Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde" yerli linyitlerimizin kükürt sınır değerleri belirtilmiş olup, sınır değerlerin aşıldığı il ve ilçelerde kullanılacak yerli kömürlerin kuru bazda maksimum %2 kükürt içermesi istenir. Bu sınır değeri dikkate alındığında her üç bölgeden temin edilen kömürlerin kükürt değerleri sınır değerin üzerine çıkmaktadır. Bu yüzden kullanım öncesinde bu kömürlerden bir miktar kükürdün uzaklaştırılması gerekmektedir.

Tablo 1. Kısa kömür ve kükürt analizleri.

Kömür Analizi	Birimi	Kömür Sahaları		
		Çan	Tunçbilek	Hüsamlar
Toplam Nem	%	2,89	3,97	6,01
Kül	%	51,65	49,76	37,87
Uçucu Madde	%	29,03	26,54	45,32
Sabit Karbon	%	16,43	19,73	10,80
Toplam Kükürt	%	6,33	2,79	3,89
Alt Isıl Değer	kcal/kg	2.234	3.233	2.901
Kükürt Analizi				
Organik kükürt	%	2,33	1,01	1,23
Piritik kükürt	%	3,56	1,24	2,21
Sülfat kükürdü	%	0,44	0,54	0,45

Çalışma konumuz olan piritik kükürt oranları incelendiğinde en yüksek değerin %3,56 ile Çan kömürlerinde olduğu, Tunçbilek kömürlerinde bu değerin %1,24, Hüsamlar kömürlerinde ise %2,21 olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Kömür örneklerinin mikroskop görüntüsü.

Ayrıca kömür içerisinde saçılmış halde bulunan piritik kükürdün Knelson konsantratör ile kömürden uzaklaştırılması için serbest taneler haline gelmesi gerekmektedir. Bunun için kömür örneklerine ait mikroskop görüntüleri incelenmiş ve serbestleşme boyutları belirlenmiştir (Şekil 1). Mikroskop görüntüleri incelendiğinde pirit taneleri Çan kömürlerinde daha makro boyutlarda gözlenirken Tunçbilek ve Hüsamlar kömürlerinde daha küçük boyutlardan görülmüştür. Yapılan tane boyutu ölçümlerinde Çan kömürlerinde 300 µm'luk taneler gözlenirken, Tunçbilek ve Hüsamlar kömürlerinde 50-100 µm boyutunda taneler gözlenmiştir.

2.2 Metot

Deneysel çalışmalar iki aşamalı olarak planlanmıştır. Birinci aşama, boyut küçültme işlemleri yapılmıştır. Boyut küçültme işlemlerinde öncelik olarak hedef tane boyutu belirlenmesidir. Şekil 1'de elde edilen veriler ışığında pirit tanelerinin 100-300 µm aralığında dağılmış olması dikkate alınmış olup kömürü çok fazla öğütmenin ekonomik olmayacağı düşünüldüğünden 500 µm altına öğütülmesine karar verilmiştir. Bunun için çeneli kırıcı ve çekiçli öğütücüler kullanılmış olup tüvenan kömürün tamamı $d_{100}=500$ µm olacak şekilde öğütülmüştür.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise Knelson konsantratör ile piritik kükürt uzaklaştırma deneyleri yapılmıştır. Bu aşamada -500 µm tane boyutundaki kömür numuneleri kullanılmış olup üç farklı çalışma parametresinin (G kuvveti, yıkama suyu basıncı ve besleme hızı) pirit uzaklaştırmaya etkisi araştırılmıştır.

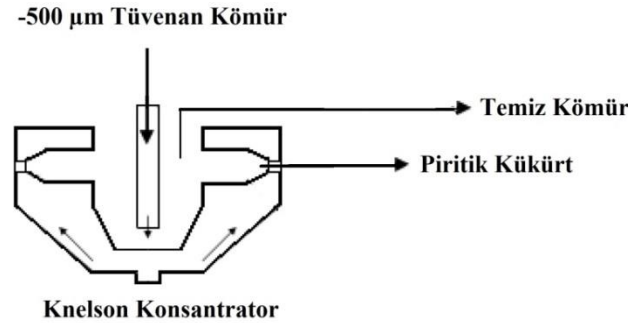
2.2.1 Knelson Konsantratör

Knelson ayırıcısı (KC) Byron Knelson tarafından 1988 yılında Kanada'da patenti alınmıştır. Knelson konsantratörü, yüksek yoğunluktaki mineralleri zenginleştirmek için kullanılan akışkan yataklı bir santrifüj ayırıcıdır [15-16]. İlk başlarda üretilen ürünün içeriği %1'den az olan değerli ve yarı değerli minerallerin üretilmesinde kullanılmaktaydı. Daha sonra, düşük işletme maliyetine sahip olması, düşük çevresel etkileri ve deşarj ünitesinin geliştirilmesiyle flotasyon gibi zenginleştirme teknikleriyle kıyaslanmalarına neden oldu ve birçok mineralin zenginleştirilmesinde alternatif olarak görülmeye başlanmıştır. Bu yüzden Knelson konsantratör ile yapılan araştırmalar hız kazanmıştır. Birçok modeli bulunan Knelson konsantratörün bu araştırmada laboratuvar tipi KC-MD3 modeli kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan Knelson konsantratör.

Çalışmada kullanılan modelin konsantre hacmi 65 ml'dir. Cihaz, zenginleştirme amaçlı kullanıldığında değerli mineraller (altın, gümüş vb.) bu kısımda birikmekte ve deney sonrası toplanmaktadır. Bu çalışmamızda ise kömüre göre daha yüksek yoğunluğa sahip pirit minerallerinin bu haznede birikmesi amaçlanmıştır. Deneyler sırasında taşan temiz kömür ise üst kısımdan alınarak bir kovada toplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Knelson konsantratör şematik gösterimi.

2.2.2 Kömürden Piritik Kükürdün Uzaklaştırılması

Piritik kükürt uzaklaştırma deneylerinde Knelson konsantratöre ait üç değişken kullanılmıştır. Bunlar; G kuvveti (G), yıkama suyu basıncı (P) ve besleme hızıdır (S). Çalışmalarda klasik sistematik yöntem kullanılmıştır. Bunun için bir değişken optimize edilirken diğer iki değişken sabit tutulmuş ve optimize edilen değişkenin üç farklı seviyesinde deneyler yapılmıştır. Çalışmanın amaçlarından birisi Knelson konsantratör değişkenlerinin optimizasyonu olduğu için tane boyutu, besleme miktarı ve katı oranı sabit tutulmuştur. Bu yüzden Knelson konsantratör deneyleri materyal bölümünde belirtilen 500 µm altına indirilen kömür örneklerinin 20 lt'lik besleme tankı içerisinde %20 katı oranı olacak şekilde hazırlanmasıyla yapılmıştır. Çalışmalarda uygulanan değişken parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Piritik kükürt uzaklaştırma deneyleri sırasında sırasıyla önce Knelson konsantratör cihazının G kuvveti ayarı yapılmış ve istenen G kuvvetine ulaşması beklenmiştir. Daha sonra ise yıkama suyu basıncı ayarlanmış ve sistem dengeye ulaşmaya kadar besleme yapılmadan çalıştırılmıştır. Sistem dengeye ulaştıktan sonra %20 katı oranı ile hazırlanan besleme önceden belirlenen besleme hızı ile Knelson konsantratöre beslenmiştir. Besleme tankındaki beslemenin tamamı cihaza beslendikten sonra 15 saniye daha yıkama suyu vermeye devam edilmiştir.

Tablo 2. Knelson konsantratör test parametreleri.

Seviye	Parametreler		
	G (kg.m/s ²)	P (psi)	SF (lpm)
Minimum	60	0,5	1
Orta	120	1,0	2
Maksimum	180	1,5	3

Deney sırasında üst kısımdan taşan kömür örnekleri bir kovada biriktirilmiş, deney sonrası ise piritik kükürdün tutulacağı toplama haznesi ise ayrı bir yere alınmıştır. Elde edilen temiz kömür örneklerinin kükürt analizleri yapılarak kükürt içerikleri belirlenmiş ve piritik kükürt uzaklaştırma verimleri Eşitlik 1'deki şekilde hesaplanmıştır.

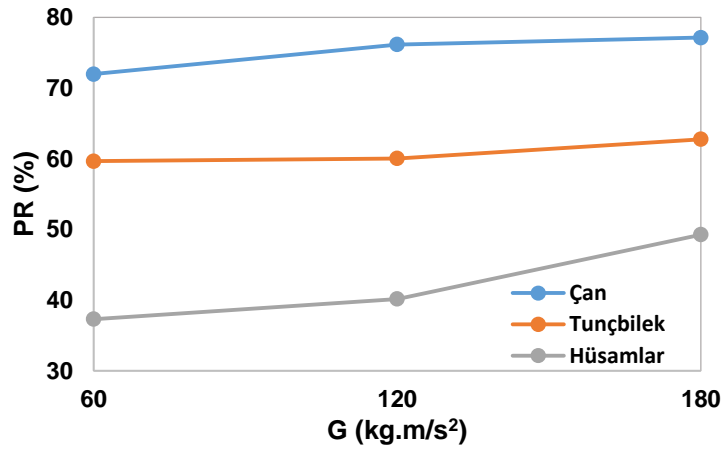
$$PR (\%) = \frac{apr \times am}{bpr \times bm} \times 100 \quad (1)$$

Burada; *apr*, atığın piritik kükürt içeriği; *am*, atık miktarı; *bpr*, beslenen kömürün piritik kükürt içeriği; *bm*, beslenen kömür miktarıdır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Piritik Kükürt Uzaklaştırmaya G Kuvvetinin Etkisi

Knelson konsantratörün en önemli özelliklerinden biri olan santrifüj kuvvet, ince ve ultra ince taneciklerin yoğunluk farkından yararlanarak süspansiyon içerisindeki çökeltme hızlarını arttırmaktadır. Bu sayede kömüre göre özgül ağırlığı daha yüksek olan pirit mineralleri uzaklaştırılmaktadır. G kuvvetinin etkisini belirlemek için yıkama suyu basıncı 0,5 psi ve besleme hızı 1 lpm olarak sabit tutulmuştur. Farklı G kuvveti ile elde edilen sonuçlar Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Piritik kükürt uzaklaştırmaya G kuvvetinin etkisi.

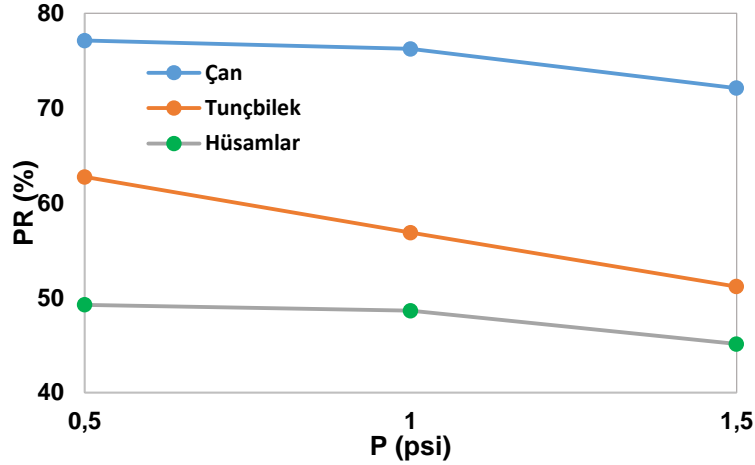
Şekil 4’den de görüldüğü gibi G kuvveti arttıkça pirit uzaklaştırma verimi her üç kömür türünde de artmaktadır. G kuvveti arttıkça taneciklere uygulanan santrifüj kuvvet arttığı için daha küçük boyuttaki pirit mineralleri de ayırma konisinde tutulabilmektedir. En iyi sonuçlar 180 G kuvvetinde elde edilmiştir. Bu şartlarda Çan kömürlerinde %77,12 piritik kükürt uzaklaştırma verimi elde edilirken, Tunçbilek kömürlerinde %62,74, Hüsamlar kömürlerinde %49,25 piritik kükürt uzaklaştırma oranı elde edilmiştir. Diğerlerine göre daha büyük pirit taneleri içeren Çan kömürlerinde daha yüksek verimler ile piritik kükürt uzaklaştırılabilmektedir. Elde edilen sonuçlar ışığında daha yüksek piritik kükürt uzaklaştırmak için daha yüksek G kuvvetleri kullanmak gerektiği belirlenmiştir.

3.2. Piritik Kükürt Uzaklaştırmaya Yıkama Suyu Basıncının Etkisi

Knelson konsantratörlerde yıkama suyunun iki tane önemli etkisi bulunmaktadır. Birincisi aşağıdan yukarıya doğru akışkan bir yatak oluşturmaktır. Bu yatak sayesinde hafif yoğunluklu malzemeler taşarak dışarıya aktarılmaktadır. İkincisi ise hafif yoğunluklu malzemelerin ağır yoğunluklu malzemelerin arasına sıkışmasını önlemektir. En uygun G kuvveti olarak 180 G kuvvetinde farklı yıkama suyu basınçlarında elde edilen sonuçlar Şekil 5’de verilmiştir.

En yüksek piritik kükürt uzaklaştırma verimi her üç kömür türü içinde 0,5 psi yıkama suyu basıncında elde edilmiştir. Yıkama suyu basıncı arttıkça sürekli yükselen bir verim artışı elde etmek mümkün değildir. Çünkü, yıkama suyu basıncı çok yükseldiğinde pirit tanecikleri de su ile birlikte

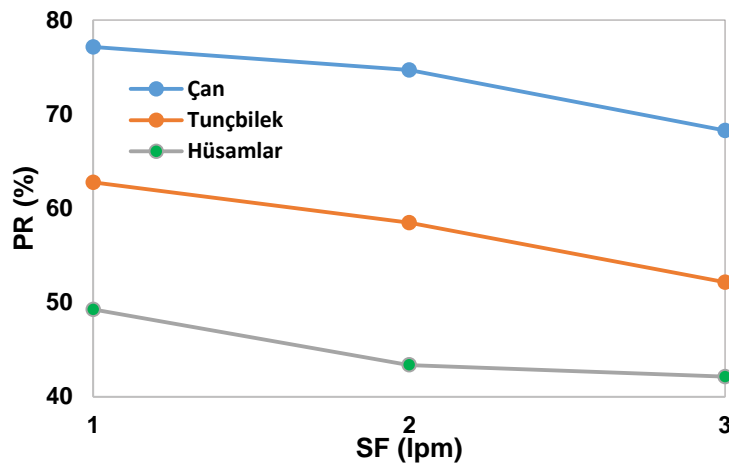
konsantr üre kaçmaya başlayacaktır. Nitekim bu deneylerde de bu durum oluşmuştur. 0,5 psi yıkama suyu basıncı kullanıldığında Çan kömürlerinden %77,12 piritik kükürt uzaklaştırma verimi elde edilirken, Tunçbilek kömürlerinde %62,74, Hüsamlar kömürlerinde %49,25 piritik kükürt uzaklaştırma verimi elde edilmiştir. 1,0 ve 1,5 psi yıkama suyu basıncında pirit tanecikleri de yüksek yıkama basıncının etkisiyle toplama haznesinden çıkarak kömür taneleriyle birlikte hareket etmekte ve onlarla birlikte sistemden çıkmaktadır. Görüldüğü gibi yıkama suyu basıncı belirli bir seviyeye kadar pirit uzaklaştırmaya etkisi pozitif olurken daha yüksek seviyelerde sonuca negatif etkisi olmaktadır. Bu yüzden Knelson konsantratör ile piritik kükürt uzaklaştırmada yıkama suyu basıncının dikkatli seçilmesi büyük önem arz etmektedir.



Şekil 5. Piritik kükürt uzaklaştırmaya yıkama suyu basıncının etkisi.

3.3. Piritik Kükürt Uzaklaştırmaya Besleme Hızının Etkisi

Knelson konsantratörlerde sonucu etkileyecek bir diğer parametre ise besleme hızıdır. En iyi sonuçların elde edildiği G kuvveti ve yıkama suyu basıncında farklı besleme hızları ile elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi besleme hızı arttıkça piritik kükürt uzaklaştırma verimi düşmektedir.



Şekil 6. Piritik kükürt uzaklaştırmaya besleme hızının etkisi.

Bunun ana nedeni sisteme çok hızlı giren tanecikler sistemi çok hızlı terk etmektedir. Bu durum taneciklerin birbirlerini etkilemelerine neden olmakta ve pirit taneleri de sistemi terk etmektedir. Bu yüzden piritik kükürt uzaklaştırma verimi düşmektedir. Her üç kömür türünde de en iyi sonuçlar 1 lpm besleme hızında elde edilmiştir. Bu hızda Çan kömürleri için %77,12 piritik kükürt

uzaklaştırma oranına ulaşılırken, Tunçbilek ve Hüsamlar kömürlerinde sırasıyla %62,74 ve %49,25 piritik kükürt uzaklaştırma verimleri elde edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

MGS ve Falcon konsantratör cihazları ile yapılan kömür zenginleştirme ve kükürt uzaklaştırma cihazlarının yetersiz kaldığının görülmesi üzerine daha düşük kükürt oranları elde etmek için Knelson konsantratör cihazlarının alternatif olabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla “Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde” belirtilen %2 sınır değerinin üzerinde kalan üç farklı kömür sahasından (Çanakkale/Çan, Kütahya/Tunçbilek ve Muğla/Hüsamlar) temin edilmiş yüksek kükürt içerikli kömürlerden, Knelson konsantratör kullanılarak piritik kükürdün uzaklaştırılabilirliği araştırılmıştır.

Çalışmada öncelikle toplam kükürt ve piritik kükürt miktarları belirlenmiş olup Kütahya/Tunçbilek kömürünün toplam %2,79 kükürt içerdiği ve bunun %1,24'ünün piritik kükürt olduğu, Çanakkale/Çan kömürünün toplam %6,33 kükürt içerdiği ve bunun %3,56'sının piritik kükürt olduğu ve Muğla/Hüsamlar kömürünün toplam %3,89 kükürt içerdiği ve bunun %2,21 piritik kükürt olduğu bulunmuştur. Mikroskop ile yapılan görüntüleme çalışmalarında Çan kömürlerinde 300 mikronluk taneler gözlenirken, Tunçbilek ve Hüsamlar kömürlerinde 50-100 mikron boyutunda taneler gözlenmiştir. Bu yüzden serbestleşme boyutları da dikkate alınarak örneklerin tamamının boyutu 500 µm'nin altına indirilmiştir.

Knelson konsantratör ile yapılan sistematik deneyler sonucunda 180 G kuvveti, 0,5 psi yıkama suyu basıncı ve 1 lpm besleme hızında en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre Çan kömürlerinde piritik kükürdün %77,12'si, Tunçbilek kömürlerinden piritik kükürdün %62,74'ü ve Hüsamlar kömürlerindeki piritik kükürdün %49,25'i uzaklaştırılmıştır. Bu sayede Çan kömürlerindeki piritik kükürt içeriği %0,81, Tunçbilek kömürlerindeki piritik kükürt %0,46'ya, Hüsamlar kömürlerindeki piritik kükürt %1,12'ye düşürülmüştür. Yapılan toplam kükürt analizlerinde ise Çan kömürlerinin %3,02, Tunçbilek kömürlerinin %1,45 ve Hüsamlar kömürlerinin %2,01 olduğu belirlenmiştir.

Piritik kükürt uzaklaştırma için kullanılan Knelson konsantratör cihazı ile bu kömür türleri ilk defa kullanılmış olup ciddi oranda piritik kükürt uzaklaştırma sağlanmıştır. Ancak, toplam kükürt içeriği bakımında “Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde” belirtilen %2 sınır değeri dikkate alındığında Çan kömürleri için sorunun devam ettiği belirlenirken Hüsamlar kömürleri de tam sınır değerlerde kalmıştır. Bunun en önemli nedeni Çan kömürlerinin içerdiği toplam kükürdün büyük bir kısmının organik kükürt olmasıdır. Organik kükürdün fiziksel yöntemlerle uzaklaştırılmayacağı, kimyasal yöntemlerinde çok maliyetli olduğu düşünüldüğünde bu çalışmaların çeşitlendirilerek devam etmesini gerektiği görülmüştür.

Yazar(lar)ın Katkıları

SÖ, belirtilen sahalardan numuneleri temin etti, laboratuvara getirdi ve Knelson konsantratör ile testleri gerçekleştirdi. Daha sonrasında analizleri yaparak gerekli hesaplamaları ve çizimleri yaptı. Sonuçları değerlendirdikten sonra makaleyi yazdı. SÖ, çalışma fikrini tek başına almış ve çalışmanın başından sonuna kadar kendisi yapmıştır. Daha sonra makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Ekinci, E., Tırıs, M. ve Okutan H., Termik Santraller ve Emisyon Kontrolü, Gökova Körfezi Çevre Sorunları ve Çevre Yöntemi Sempozyumu, 1994.
- [2]. Çift, B.D., ve Okutan, H., Baca Gazı Desülfürizasyon Proseslerinin Ekonomik ve Teknik Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 2010, 9(4): 85-96.
- [3]. J.W. Leonard, "Coal Preparation", The American Institute of Mining and Metallurgy and Petroleum Engineers, 1979.
- [4]. B.A. Wills, "Mineral Processing Technology", Pregamon Press, Oxford, 1988, 456p.
- [5]. Göktepe, F., Kömür Flotasyonunda Bakteri İlavesinin Piritik Kükürt Uzaklaştırmasına Etkisi, Türkiye 13. Kömür Kongresi, Zonguldak, 2002, 125-132.
- [6]. Özgen, S. ve Bayat, O., Effect of Conventional and Microwave Heating on Organic Sulphur Desulfurization from Coal Using Some Metal Salts Application of the Falcon concentrator for fine coal cleaning, El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2020, 7(3): 983-993.
- [7]. Honaker, R. Q., Wang, D., and Ho, K., Application of the Falcon concentrator for fine coal cleaning, Minerals Engineering, 1996, 9(2):143-1156.
- [8]. Zhu, X., Tao, Y., Sun, Q., Man, Z., and Xian, Y., Deashing and desulphurisation of fine oxidized coal by Falcon concentrator and flotation, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2016, 52(2): 634-646.
- [9]. Demir, U., Effect of Knelson Concentrator Operation Parameters on Coal Desulphurisation and Deashing, Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, 2018, 41: 35-47.
- [10]. Rubiera, F., Hall, S.T., and Shah, C.L., Sulfur Removal by Fine Coal Cleaning Processes, Fuel, 1997, 76(13): 1187-1194.
- [11]. Kökkılıç, O., Falcon Santrifüjlü Gravite Ayırıcısında Zenginleştirmenin Modellenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü-Doktora Tezi, 2011, 294p.
- [12]. Baştürkçü, H., "Falcon Ayırıcısı ile Kömürden Kükürdün Uzaklaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-Yüksek Lisans Tezi, 2011, 71p.
- [13]. Uslu, T., Sahinoğlu, E., and Yavuz, M., Desulphurisation and deashing of oxidized fine coal by Knelson concentrator, Fuel Processing Technology, 2012, 101: 94-100.
- [14]. Honaker, R.Q., Paul, B.C., Wang, D., and Ho, K., Enhanced gravity separation: an alternative to flotation, High Efficiency Coal Preparation: An International Symposium, SME, Littleton, Colorado, 1995, 70-78.
- [15]. Knelson, B., The Knelson Concentrator. Metamorphosis from crude beginning to sophisticated world wide acceptance, Mineral Engineering, 1992, 5: 1091-1097.
- [16]. Knelson, B., and Jones, R.A., New Generation of Knelson Concentrators a totally secure system goes on line, Mineral Engineering, 1994, 7: 201-207.