



Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Şlam Kömürlerinin Spiral ile Zenginleştirilebilirliğine Tane Boyutunun Etkisi

Ali Uçar^{1,*}, Sevgi Karaca¹, Nezahat Ediz¹, Oktay Şahbaz¹, İ.Göktay Ediz¹

¹Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 19.11.2020

Kabul: 24.03.2021

Yayın: 30.06.2021

Araştırma Makalesi

Öz – Bu çalışmada Garp Linyitleri İşletmesi Tunçbilek Lavvarına ait olan ve yaklaşık 4 milyon m³ kapasiteli 4 Nolu şlam göletindeki atığın değerlendirilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla artıktaki kömürün kazanılabilme alternatifleri incelenmiş ve ülkemizde ince kömürlerin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan spiral yöntemi seçilmiştir. Şlam göletinden alınan örneklerle yapılan deneyler sonucunda malzemenin yaklaşık -5 mm boyutlu ve %68.01 kül içerikli olduğu belirlenmiştir. Zenginleştirme çalışmaları için numuneler +1mm, -1+0.212 mm, -0.212+0.038 mm ve -0.038 mm boyut gruplarına ayrılmıştır. +1 mm boyut grubunun termik santraller için yeterli karbon içeriğine (%77.84) sahip olması, -0.038 mm boyut grubunun ise zenginleştirmeyi olumsuz yönde etkileyecek şekilde çok ince boyutta ve yüksek kül içeriğine sahip olması (%69.66 kül) nedeniyle deneylerde kullanılmamıştır. Şlam göleti atıklarının spiral ile zenginleştirilmesinde katı oranı ve besleme debisi gibi parametreler değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda en iyi değerler, -1+0.212 mm boyut grubunda, %30 katı oranında ve 15 l/dk besleme debisinde elde edilmiştir. -0.212+0.038 mm boyut grubunda ise katı oranının artması karbon içeriğini olumsuz etkilemiş ve en iyi değerler, %20 katı oranı ve 15 l/dk besleme debisinde elde edilmiştir. Ayrıca, +1 mm boyutlu ürün ile deneylerden elde edilen konsantrasyon karıştırılarak sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Böylece %68.98 oranında karbon içerikli temiz kömür, %56.77 yanabilir verim ve 4712.31 kcal/kg üst ısı değeri ile kazanılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Garp linyitleri işletmesi, spiral, şlam göleti, şlam zenginleştirme, tane boyutu

The Effect of Particle Size on the Beneficiation of Coal Slimes of Western Lignite Company (WLC) by Spiral

¹Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Kutahya Dumlupınar University, Kutahya, Turkey

Article History

Received: 19.11.2020

Accepted: 24.03.2021

Published: 30.06.2021

Research Article

Abstract – In this research, beneficiation of coal slimes taken from the waste pond of Tunçbilek Coal Washery at WLC (Number-4) with a capacity of 4 million m³ was investigated. For this purpose, beneficiation alternatives were investigated and spiral method was chosen which is commonly used for the beneficiation of fine coals in Turkey. It was determined that the coal slimes had an average particle size of -5 mm and an ash content of 68.01% from the analysis made. The slimes were classified into +1, -1+0.212, -0.212+0.038 and -0.038 mm particle size groups. The -0.038 mm material was excluded from the tests due to the high ash content (30.34% carbon content) and ultra-fine-particle size which are thought to affect the processes negatively, in addition the availability of +1 mm materials with suitable ash content (77.84% carbon content) for the power plant. Experiments were carried out changing the parameters such as solid ratio and feed rate for the beneficiation of the coal slimes. The best results were obtained on the -1+0.212 particle size group, at 30% solid ratio and 15 l/min feed rate. Increased solid ratio exacerbated the ash content for -0.212+0.038 mm size group and the best result was obtained at 20% solid ratio and 15 l/min feed rate. Moreover, +1 mm material was mixed up with the beneficiated coal and the result were evaluated together. Hence, a clean coal with an carbon content of 68.98%, a combustible recovery of 56.77% and an upper calorific value of 4712.31 kcal/kg was achieved.

Keywords – Western lignite company, spiral, slime pond, slime enrichment, particle size

¹ ali.ucar@dpu.edu.tr

² sevgi.karaca@dpu.edu.tr

³ nezahat.ediz@dpu.edu.tr

⁴ oktay.sahbaz@dpu.edu.tr

⁵ goktay.ediz@dpu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Dünya kömür tüketiminin yaklaşık olarak %69'u elektrik ve ticari ısı üretiminde, %13'ü demir-çelik endüstrisinde, %3'ü ısınmada ve %15'i diğer sanayi sektörlerinde kullanılmaktadır (IEA, 2018).Metin

Dünyada enerji üretiminde en çok kullanılan kömürün görünür rezervi 1.07 trilyon ton olup, alt bitümlü kömür ve linyit rezervi görünür rezervin %30'unu oluşturmaktadır. Türkiye'deki linyit kaynak rezervi ise 19.32 milyar tondur. Bu rezervin büyük bir kısmı Afşin-Elbistan'da bulunurken, Ege Bölgesi linyitleri bunu izlemektedir. Türkiye'de üretilen linyit kömürünün büyük bir kısmı termik santrallerde elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır (TKİ, 2019).

Linyit kömürünün termik santrallerde kullanılabilmesi için belirli kalori değerleri değerlerine sahip olması gerekmektedir. GLİ tarafından Çelikler Tunçbilek B Grubu Termik Santrali'ne beslenen tüvenan kömür/mikst için protokol değerleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1

Çelikler Tunçbilek B Grubu Termik Santrali'ne beslenen tüvenan kömür/mikst değerleri

Baz AID (Kcal/Kg)	En Yüksek AID (Kcal/Kg)	En Düşük AID (Kcal/Kg)	Nem (%)	Kül (%)	Tane Boyu (mm)
2350	3000	1900	24 (± %10)	42 (± %10)	0-1000

Kömür içinde kükürt ve diğer inorganik bileşik maddeler bulunmakta, üretim ve yakılması sırasında bu maddeler açığa çıkarak çevreyi kirletmektedir. Bu nedenle özellikle gelişmiş ülkelerin uyguladığı çevre kanunlarında, doğanın kirlenmesini önleyecek bir takım kısıtlamalar getirilmiştir. Temiz yakıt tüketiminin zorunlu kılındığı bu yöntemler kömür yıkamanın önemini artırmıştır.

Kömür yıkama yöntemleri iri ve ince kömürler için farklılık göstermektedir. İri boyutlar için gravite yöntemleri, ince boyutlar için ise genellikle flotasyon ve spiral yöntemi uygulanmaktadır (Güney, Ateşok, Önal ve Altaş, 1996; Meenan, 1999). İri boyutlar için gravite yöntemleri, yüksek verimlilik ve düşük maliyet nedeniyle kömür zenginleştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. İnce kömür zenginleştirmede (-0.5 mm) uygulanan flotasyon işleminde ise kullanılan kimyasallardan dolayı yüksek maliyetler oluşmaktadır. Dolayısıyla kömürdeki külü azaltmak amacıyla yeni teknolojiler araştırılmış ve araştırılmaya devam etmektedir (Peer, Mongwe ve Van Heerden, 2002; Uslu, Sahinoglu ve Yavuz 2012). Son yıllarda mineraller arasındaki yoğunluk farkına dayanan gravite esaslı ayırıcılara ek olarak MGS, Kelsey jigi, Falcon ve Knelson konsantratörü gibi santrifüj kuvvetinden de yararlanılarak zenginleştirme yapan aletler kullanılmaktadır (Çiçek, Cöcen, Engin ve Cengizler, 2008; Erdem vd.,2012; Honaker, Wang ve Ho,1996; Koca, Koca ve Karaoglu, 2000; Özgen, Malkoç, Doğancik, Sabah ve Şapçı, 2011; Sivrikaya, 2014; Uslu vd., 2012). Fakat bu cihazlarında daha fazla su gerektirmesi, yüksek sermaye ve işletme maliyetleri gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Spiraller, metalik cevherler, endüstriyel mineraller, sahil kumları ve kömür zenginleştirmede dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır (Burt, 1984; Glass, Minekus ve Dalmun 1999; Holland-Batt, 1995; Ramsaywok, Vermaak ve Viljoen 2010; Richards ve Palmer, 1997). Spiraller yoğunluk ve tane şekli birbirinden farklı olmak şartıyla, genellikle -2+0.030 mm arasındaki, belirli bir serbestleşme derecesine sahip taneleri birbirinden ayırmak için kullanılır (Holland-Batt, 1995; Richards ve Palmer, 1997). Bu zenginleştiricilerde besleme olarak kullanılan malzemenin tane boyut dağılımı, şlam miktarı, serbestleşme derecesi, beslemenin içerdiği katı miktarı, besleme içerisindeki malzemelerin yoğunluğu, tane şekli gibi birçok özellik spiraldaki akış davranışını değiştirerek ayrımı etkileyen değişkenlerdir (Burt, 1984; Falconer, 2003). Spirallerin tasarım parametreleri; spiralin kesit alanının yapısı, oluğun çapı, sarmalın eğimi, sarmal sayısı, spiralin uzunluğu, spiralin yüzey özellikleri, bölücü bıçak pozisyonları ve yıkama suyu olarak sınıflandırılabilir.

Ekonomikliği, hareketli parçasının olmayışı, basit yapısı gibi öne çıkan avantajları ile spiral kullanılarak kömürdeki kül yapıcı maddelerin uzaklaştırılması pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir Düşük kül içerikli numuneler ile yapılan çalışmalarda yanabilir verimler daha yüksek olurken kül içeriği yükseldiğinde yanabilir verim değeri daha düşük olduğu görülmektedir (Glass vd., 1999; Honaker, Jain, Parekh ve Saracoglu, 2007; Öney, Tanrıverdi ve Çiçek 2014).

Öney vd. (2014), -1+0.150 mm boyut grubunda yaptığı taşkömürü deneylerinde, spirali %25, %30 ve %35 katı oranlarında çalıştırmıştır. Deney sonuçlarına göre %25 katı oranında %28.72 kül içerikli kömürü, %13.28 kül oranı ve %92.07 yanabilir verim ile kazanmıştır.

Honaker vd. (2007) -0.210+0.044 mm boyutlu ve %33.5 küllü kömürü kullanarak spiral deneyleri yapmıştır. Yaptıkları çalışmada 3 seviyeli Box-Behnken deney tasarımını kullanmışlardır. Deney tasarımında besleme akış hızı, katı oranı ve bıçak açısı parametrelerini kullanarak elde ettikleri sonuçlara göre, %11.71 küllü temiz kömürü %84 yanabilir verim ile kazanmıştır.

Sivrikaya (2014), -1.5 mm boyutlu %40 küllü Tunçbilek kömürünü %20, %25 ve %30 katı oranlarında Reichert spiriline beslemiş ve %18.28 küllü, 5582 kcal/kg ısı değere sahip temiz kömür elde etmiştir.

GLİ Tunçbilek Lavvarı, 1952 yılından 2001 yılına kadar 4 Nolu şlam göletine tesis artığını depolamıştır. Kömür üretiminde kullanılan mekanize kazı yöntemlerinin artması ve sonrasında uygulanan işlemler ince kömür oluşumuna ve tesis performanslarının düşmesine neden olmaktadır. Böylece çok fazla miktarda kömür, artıkla beraber artık barajlarına boşaltılmaktadır. Ayrıca, 4 Nolu artık göleti multi siklon grup (MSG) tesise ilave edilmeden önce de kullanıldığı için şlam göleti içinde kalorisi nispeten yüksek iri kömürler de bulunmaktadır. Bu durum, ekonomik kaybın yanı sıra artık barajlarında depolanma nedeniyle ciddi çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir (Chaurasia ve Nikkam, 2016).

4 Nolu artık göleti şlam kömürünün termik santrallerde kullanımı susuzlaştırma maliyetleri ve yetersiz kalori içeriği nedeniyle mümkün olamamaktadır. Bunun yanı sıra yönetmeliğin getirdiği ağır şartlara bağlı olarak artıkların depolanma maliyetleri de oldukça yüksektir. İşletme çevresindeki birçok barajın dolu olduğu (yaklaşık 18 milyon m³lük artık miktarı) ve yeni oluşturulan eski açık ocak çukurlarının da hızla dolduğu düşünüldüğünde mevcut yöntemlerle zenginleştirilemeyen bu ince kömürlerin geri kazanılması yine ekonomik ve çevresel açıdan gereklidir.

GLİ tüvenan kömüründen külün uzaklaştırması ve tesis artığından kömür kazanımı ile ilgili çeşitli fiziksel ayırıcılar kullanılarak zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada ise Lavvar kurulumundan itibaren tesisten çıkan artığın ve MSG kurulmadan önce sistemden kaçak olarak artık göletine giden malzemenin zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Diğer fiziksel zenginleştirme yöntemlerine göre avantajlı olan spiralın kullanıldığı bu çalışmada, tane boyutunun yanı sıra katı oranı ve besleme debisi gibi parametrelerin kömürün kazanılabilirliğine etkisi de incelenmiştir. Ayrıca geri kazanılan kömürün termik santralde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

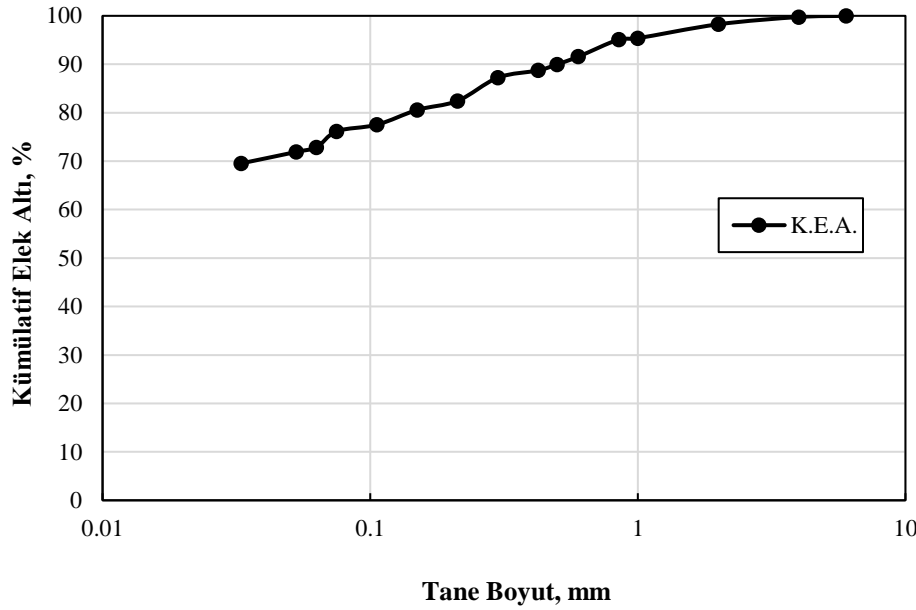
2. Materyal ve Yöntem

Deneylerde kullanılan kömür numunesi, Türkiye Kömür İşletmeleri A.Ş.'ye ait GLİ bünyesindeki 4 Nolu olarak adlandırılan artık göletinden temin edilmiştir. Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarına getirilen yaklaşık 400 kg'lık artık göleti numunesi laboratuvarında karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Daha sonra numune konileme-dörtleme yöntemi ile bölünerek depolanmıştır. Bu numunenin bir kısmı kimyasal ve boyut analizleri için kullanılmıştır.

Artık gölet numunesinin boyut aralıklarına göre madde miktarı dağılımını belirlemek için elek analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre artık göletindeki malzemenin yaklaşık olarak 5 mm'den daha ince olduğu ve 0.038 mm altındaki malzemenin ise %69.56 oranında bulunduğu tespit edilmiştir.

Artık gölet numunesinin tane boyut gruplarına göre nem, kül, kükürt, üst ısıl değer (ÜİD) ve alt ısıl değer (AİD) analizleri de yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Nem değerleri Moisture Analyzer AND ML-50 cihazında ölçülmüştür. Kül analizleri Nüve marka kül fırınında, kükürt analizi Leco SC 144 DR cihazında ve kalori ölçümleri Ika Werke cihazında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde, 0.038 mm boyutun altındaki numunede toplam kükürt değerinin önemli miktarda azaldığı dikkat çekmektedir. Yani kükürdün büyük oranlarda bu boyutun üstünde olduğu ve daha çok kömüre bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca genel olarak tane boyutunun düşmesine bağlı olarak kül değerlerinin arttığı ve kalori değerlerinin azaldığı gözlenmektedir, bu da beklenen bir durumdur.



Şekil 1. 4 Nolu gölet artığına ait kümülatif elek altı eğrisi

Tablo 2
4 Nolu gölet numunesinin nem, kül, kükürt ve ısıl değerleri

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Kül (%)	ÜİD (Kcal/kg)	AİD (Kcal/kg)	Kükürt (%)	Nem(%)
+4	0.24	27.25	5191	4763	1.07	3.8
-4+2	1.5	24.83	5441	4944	1.16	4.7
-2+1	2.87	20.41	5731	5233	1.19	4.3
-1+0.85	0.24	25.45	5170	4710	1.23	4.3
-0.85+0.5	5.16	23.46	5403	4925	1.25	4.3
-0.5+0.3	2.75	30.52	4936	4501	1.23	4.3
-0.3+0.15	6.64	39.41	4561	4166	1.33	4.4
-0.15+0.075	4.41	47.38	3757	3498	1.42	2.6
-0.075+0.038	6.63	48.26	2255	2878	1.21	3.2
-0.038	69.56	81.91	431	295	0.64	1.6

Spiral ile zenginleştirme deneyleri için artık gölet numuneleri +1mm, -1+0.212 mm, -0.212+0.038 mm ve -0.038 mm boyut gruplarına ayrılmıştır. Kil içeriği yüksek ve çok ince boyutlu -0.038 mm’lik kısım, zenginleştirmeyi olumsuz yönde etkileyebileceğinden deneylerde kullanılmamıştır. +1 mm boyut grubu ise termik santraller için yeterli karbon içeriğine (%77.84) sahip olması nedeniyle zenginleştirme işlemine tabi tutulmamıştır. Böylece deneylerde -1+0.212 mm ve -0.212+0.038 mm tane boyut gruplarındaki malzemeler kullanılmıştır. Her tane boyut grubu için besleme katı oranı ve debisinin, karbon içeriği ile yanabilir verim üzerine

etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Deneylerde Humprey spirali, %10, %20 ve %30 katı oranları ile 5 l/dk, 10 l/dk ve 15 l/dk besleme debilerinde kullanılmıştır. Bıçak açısının sabit tutulduğu deneylerde süreye bağlı olarak artık ve konsantre alınmıştır. Ürünler filtre edilip kurutularak tartılmış ve kül analizleri yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

-1+0.212 mm boyut grubunda yapılan spiral ile zenginleştirme deneyleri sonucunda elde edilen temiz kömürün karbon içeriği değerleri Şekil 2’de ve yanabilir verim değerleri Şekil 3’te verilmiştir.

Şekil 2 ve Şekil 3 birlikte incelendiğinde, 5 ve 10 l/dk besleme debilerinde, katı oranının artmasına bağlı olarak temiz kömürdeki karbon içeriği ve yanabilir verim değerlerinde önemli bir değişimin olmadığı görülmektedir. Ancak 15 l/dk besleme debisinde ve %20 katı oranında çalışıldığında, temiz kömürdeki karbon içeriği değeri %76.81 gibi bir değere düşmektedir. Bunun nedeni olarak, besleme debisi ve katı oranının artışıyla birlikte şiste gitmesi gereken kısmın, temiz kömür içine gelmesi gösterilebilir. 15 l/dk besleme debisi ve %20 katı oranında yanabilir verimin %95.92’ye yükselmesi de bu düşünceyi desteklemektedir.

-1+0.212 mm tane boyut grubunda, %30 katı oranı ve 10 l/dk besleme debisi ile çalışılan deney şartları optimum olarak kabul edilmiştir. Bu şartlarda %81.74 karbon içeriği değerine sahip temiz kömür, %93.09 yanabilir verim ile elde edilmiştir.

Sivrikaya (2014) tarafından yapılan %40 küllü, -1.5+0.150 mm boyutlu Tunçbilek tüvenan kömürü ile yapılan çalışmada, farklı besleme hızı ve katı oranlarının verim üzerine etkisi araştırılmıştır. Besleme katı oranı ve hızı arttıkça şiste gitmesi beklenen taneler konsantreye gitmekte ve bu da yanabilir verimi kötü yönde etkilemiştir (Sivrikaya, 2014).

-0.212+0.038 mm boyut grubunda yapılan spiral ile zenginleştirme deneyleri sonucunda elde edilen temiz kömürün karbon içeriği değerleri Şekil 4’de ve yanabilir verim değerleri Şekil 5’de verilmiştir.

Şekil 4 incelendiğinde, katı oranının artışına bağlı olarak karbon içeriği azalmakla birlikte besleme debisinin artışı önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Şekil 5 incelendiğinde ise 10 l/dk ve 15 l/dk besleme debilerinde katı oranının artışı, yanabilir verimde önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. 5 l/dk besleme debisinde çalışıldığında, %20 katı oranına kadar yanabilir verimde artış daha belirgin iken, bu katı oranının üstünde hafif bir azalma görülmektedir. Debi artışına bağlı olarak ise yanabilir verimde artış olmaktadır. Dolayısıyla, -0.212+0.038 mm boyut grubunda optimum deney koşulları, %20 katı oranı ve 15 l/dk besleme debisi olarak kabul edilmiştir. Bu şartlarda %50.98 karbon içerikli temiz kömür %89.12 yanabilir verim ile kazanılmıştır.

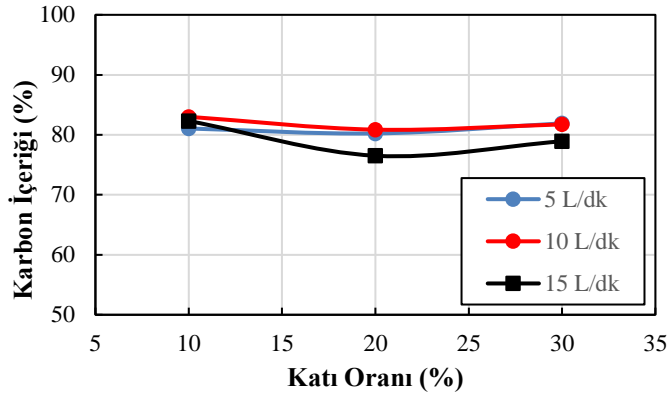
Çok ince boyut grubunda spiral ile yapılan zenginleştirme çalışmaları oldukça sınırlı kalmıştır. Honaker vd. (2007), -210+0.044 mm boyutlu, %33.5 küllü kömürü kullanarak %12 katı oranı ve 60 l/dk besleme akış hızı şartlarında yaptığı spiral deneyleri sonuçlara göre, %11.71 küllü temiz kömürü %84 yanabilir verim ile kazanmıştır. Deneylerde katı oranının azalması ve besleme akış hızının artışıyla optimum sonuçların elde edildiği belirtilmiştir.

-1+0.212 mm ve -0.212+0.038 mm boyut grubundaki beslemenin kül içeriği değeri sırasıyla %22.01 ve %53.85’dir. Dolayısıyla elde edilen karbon içeriği değerlerinin düşük olması, besleme kül miktarından da kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte boyutun azalmasıyla, şiste gitmesi gereken ağır-ince taneler hatve dış çeperine doğru gitmiş ve böylece ince boyut grubunda katı oranı artışına bağlı olarak karbon içeriği değerleri azalmış yanabilir verim ise artmıştır.

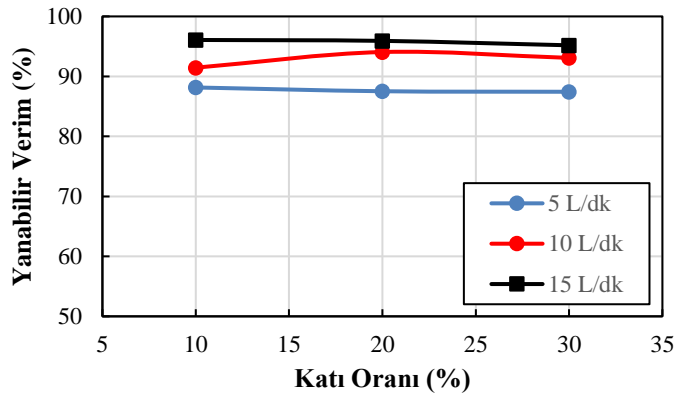
Spiral ile zenginleştirme sonucunda elde edilen ürünler ile +1 mm ve -0.038 mm boyutlarındaki artıkların karbon içeriği, yanabilir verim ve ÜİD değerleri, karşılaştırma yapabilmek amacıyla toplu olarak Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3’e göre, deneylerden elde edilen her iki konsantre ile +1 mm’lik ürünün birleştirilmesi sonucunda %68.98 oranında karbon içeriği içerikli lave %56.77 yanabilir verim ve 4712.31 kcal/kg üst ısıl değeri ile elde

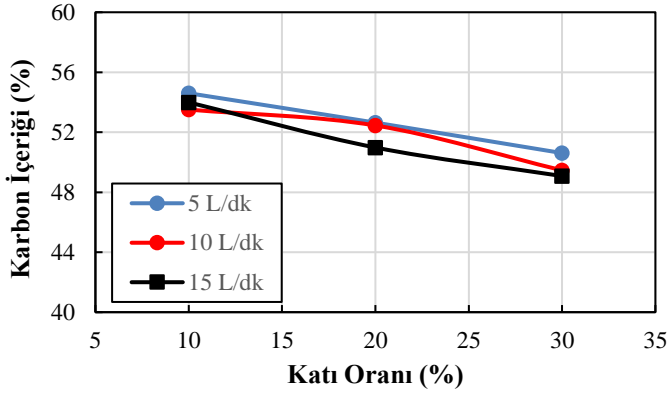
edileceği görülmüştür. Buna göre, Tablo 1'e bakıldığında elde edilen lave kömürün termik santralde kullanılabilceği belirlenmiştir.



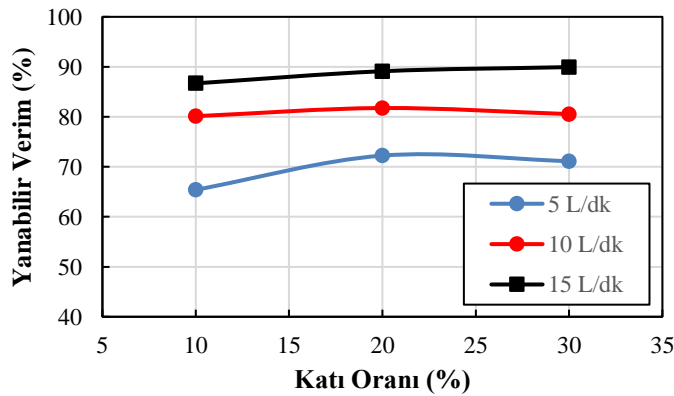
Şekil 2. -1+0.212 mm boyutuna ait katı oranı değişiminin karbon içeriği miktarına etkisi



Şekil 3. -1+0.212 mm boyutuna ait katı oranı değişiminin yanabilir verime etkisi



Şekil 4. -0.212+0.038 mm boyutuna ait katı oranı değişiminin karbon içeriği miktarına etkisi



Şekil 5. -0.212+0.038 mm boyutuna ait katı oranı değişiminin yanabilir verime etkisi

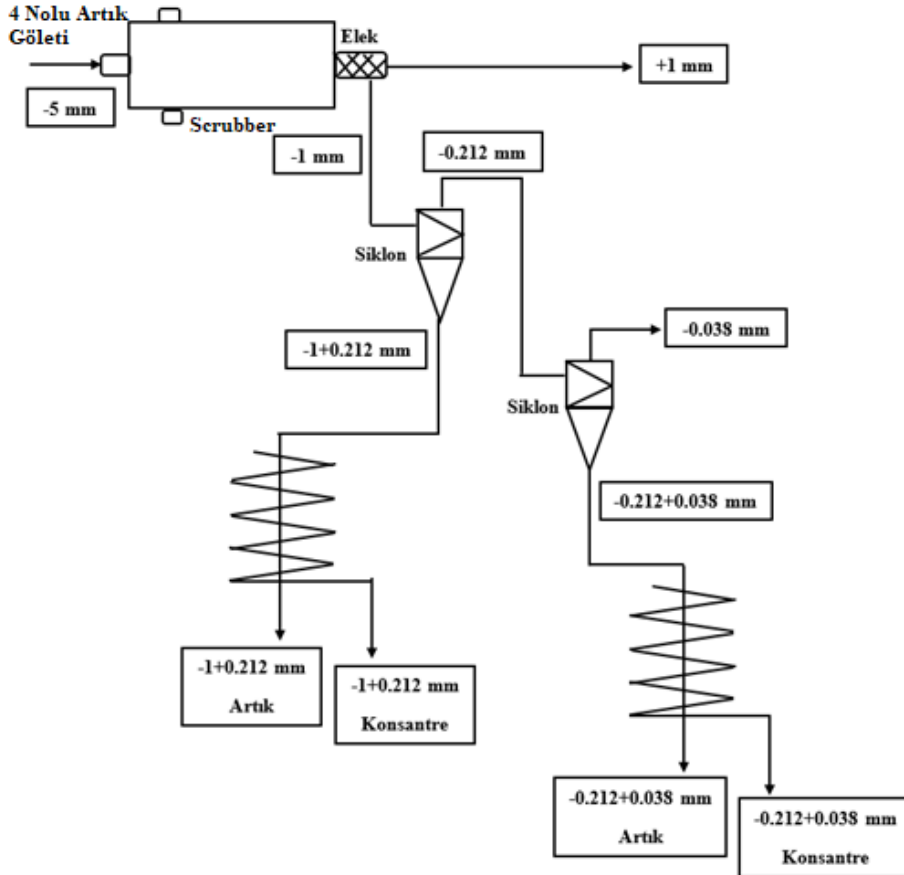
Tablo 3

Artık barajı numunesinden elde edilen ürünlerin birleştirilmiş sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Ürün	Ağırlık (%)	Karbon İçeriği (%)	Yanabilir Verim (%)	ÜİD (Kcal/kg)
+1		4.62	77.84	11.16	5521
-1+0.212	Konsantre	11.48	81.74	29.13	5624
	Artık	1.45	48.22	2.17	
-0.212+0.038	Konsantre	10.41	50.98	16.48	3348
	Artık	2.49	25.98	2.01	
-0.038		69.55	18.09	39.05	
Besleme		100.00	32.21	100.00	1603

Aynı numunenin geniş tane boyutu aralığında (-1+0.038 mm) spiral kullanılarak yapılan ön çalışmada %73.69 karbon içerikli lave %81.75 yanabilir verim ile kazanılmıştır. Elde edilen lavenin +1 mm boyutlu zenginleştirilmemiş ürün ile birleştirilmesi sonucu %74.51 karbon içerikli lave %52.70 yanabilir verim ile elde edilmiştir (Karaca vd., 2018). Bu çalışmadaki birleştirilmiş sonuçlar ile ön çalışma sonuçları birbirine yakın olduğundan tek bir boyutta spiral zenginleştirilmesi yapılması düşünülebilir. Fakat -1+0.212 mm boyut grubunda daha kaliteli ürün elde edildiği için boyut gruplarının ayrı ayrı spirallerde zenginleştirilmesi uygun olacaktır.

Çalışmalar sonucunda elde edilen optimum değerlere bağlı olarak oluşturulan işlem akım şeması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Deneysel akım şeması

4. Sonuçlar

Bu alışmada, GLİ'ye ait 4 Nolu şlam göletinden alınan numunedeki kömürün Humprey spirali kullanılarak kazanılabilirliğine tane boyutunun etkisi araştırılmıştır. Spiral ile yapılan zenginleştirme deneylerinde; -1+0.212 ve -0.212+0.038 mm boyut gruplarında 5, 10 ve 15 l/dk'lık besleme debileri ile %10, %20 ve %30'luk katı oranları kullanılmıştır.

-1+0.212 mm boyut grubunda optimum çalışma şartları %30 katı oranı ve 10 l/dk besleme debisinde elde edilmiştir. Böylece %81.74 oranında karbon içerikli temiz kömür %93.09 yanabilir verim ve 5521 kcal/kg st ısıl değeri ile kazanılmıştır. -0.212+0.038 mm boyut grubunda ise en iyi deney sonuçları %20 katı oranı ve 15 l/dk besleme debisinde çalışıldığı zaman elde edilmiştir. %50.98 oranında karbon içeriği ile elde edilen temiz kömürün yanabilir verim değeri %89.12 ve ID 3348 kcal/kg olarak belirlenmiştir. -1+0.212 mm boyut grubunda zenginleştirmenin daha kolay iken, -0.212+0.038 mm boyut grubunda daha zor olduğu grlmştir.

Ara ürünün alınmadığı deneylerde, her iki boyuttan elde edilen konsantreler ile nispeten düşük kll olan zenginleştirme işlemine girmemiş +1 mm boyutlu malzeme birleştirildiği zaman, %56.77 yanabilir verimli %68.98 oranında karbon içerikli temiz kömürün 4712.31 kcal/kg st ısıl değeri ile elde edileceği grlmştir. Birleştirilmiş bu ürünün termik santrallerde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen birleştirilmiş ürün değerlerinin n çalışma sonuçları ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Bununla birlikte ayrı ayrı zenginleştirme yapıldığında st boyutlarda daha kaliteli lave elde edildiği belirlenmiştir.

Teşekkür

Çalışmamızda yardımlarını bizden esirgemeyen Türkiye Kömür İşletmeleri Garp Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

Ali Uçar: Kavramsallaştırma, yazım-orijinal taslak, araştırma, görselleştirme, deneylerin yapılması, kontrol işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Sevgi Karaca: Kavramsallaştırma, yazım-orijinal taslak, araştırma, görselleştirme, deneylerin yapılması işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Nezahat Ediz: Kavramsallaştırma, yazım-orijinal taslak, araştırma, deneylerin yapılması işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Oktay şahbaz: Kavramsallaştırma, yazım-orijinal taslak, araştırma, deneylerin yapılması işlemlerini gerekleştirmiştir.

İ.Gktay Ediz: Kavramsallaştırma, yazım-orijinal taslak, araştırma işlemlerini gerekleştirmiştir.

ıkar atışması

Yazarlar ıkar atışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

Burt, R.O. (1984). *Gravity Concentration Technology*. New York: Elsevier Science Publishing Company Inc.

Erişim adresi: https://books.google.com.tr/books/about/Gravity_Concentration_Technology.html?id=Mo2PnQAACAAJ&redir_esc=y

Chaurasia, RC., Nikkam, S. (2016). A suitable process for clean coal recovery from tailing pond deposits.

Energy Sources, Part A Recover Util Environ Eff., 38, 3435–3439. Erişim adresi: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15567036.2016.1156197>

iek, T., Ccen, I., Engin, VT., Cengizler, H. (2008). An efficient process for recovery of fine coal from

- tailings of coal washing plants. *Energy Sources, Part A Recover Util Environ Eff.*, 30, 1716–1728. Erişim adresi: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567030701443533>
- Erdem, A., Gülmez, A., Altun, O., Toprak, S., Olgun, Z., Gitmez, A. (2012). Fine Coal Recovery from The Ömerler Washery Tailings and Plant Applications, *XIII. International Mineral Processing Symposium* (pp. 759-764). Bodrum, Turkey. Erişim adresi: <https://www.yumpu.com/en/document/view/5809093/fine-coal-recovery-from-the-omerler-washery-tailings-and-plant>
- Falconer, A. (2003). Gravity Separation: Old Technique/New Methods. *Physical Separation in Science and Engineering*, 12(1), 31–48. Erişim adresi: <http://downloads.hindawi.com/archive/2003/812865.pdf>
- Glass, H.J., Minekus, N.J., Dalmun, W.L. (1999). Mechanics of coal spirals. *Minerals Engineering*, 12(3), 271-280. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0892687599000059>
- Güney, A., Ateşok, G., Önal, G., Altaş, A. (1996). *Kömür Zenginleştirme Teknolojisindeki Yenilikler*. İstanbul: III. Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, Yurt Madenciligi Geliştirme Vakfı Yayınları, Önal ve Ateşok (Ed.). Erişim adresi: http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/3008b2c6f5370b7_ek.pdf
- Holland-Batt, A.B. (1995). Some Design Considerations for Spiral Separators. *Minerals Engineering*, 8(11), 1381-1395. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/089268759500104X>
- Honaker, R.Q., Wang, D., Ho, K. (1996). Application of the Falcon Concentrator for fine coal cleaning. *Minerals Engineering*, 9, 1143–1156. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0892687596001082?via%3Dihub>
- Honaker, R.Q., Jain, M., Parekh, B.K., Saracoglu, M. (2007). Ultrafine coal cleaning using spiral concentrators. *Minerals Engineering*, 20, 1315–1319. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089268750700221X>
- IEA (2018). *Coal information (Rapor)*. Erişim adresi: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/coal-information-2018_coal-2018-en
- Karaca, S., Şahbaz, O., Ediz, İ.G., Uçar, A., Ediz, N., Şensöğüt, C. (2018). Garp Linyitleri İşletmesi Artıklarından Humprey Spirali ile Kömürün Kazanılabilirliğinin Araştırılması. *Türkiye 21. Uluslararası Kömür Kongresi* (s. 327-336), Zonguldak, Türkiye. Erişim adresi: https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/1a9409a2200f285_ek.pdf
- Koca, H., Koca, S., Karaoglu, M. (2000). Recovering of fine coal particles from tailing ponds of TKİ Alpagut-Dodurga coal washing plant. In: Hicyilmaz C. (Ed.), *Miner. Process. Verge 21st Century* (pp. 427-431), Antalya, Turkey. Erişim adresi: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/recovering-fine-coal-particles-tailing-ponds-tki%CC%87-alpagut-dodurga-coal-washing-plant-koca-koca-karao% C4%9Flu/e/10.1201/9780203747117-73>
- Meenan, G.F. (1999). *Modern coal flotation practices*. In: Advances in Flotation Technology, B.K. Parekh, and J.D. Miller, (Ed.). Denver: SME. Erişim adresi: <https://www.osti.gov/biblio/20050677>
- Öney, Ö., Tanrıverdi, M., Çiçek, T. (2014). Zonguldak ince kömürlerinin spiral ayırıcı ile zenginleştirilmesi. *Türkiye 19. Kömür Kongresi* (s. 217-225), Zonguldak, Türkiye. Erişim adresi: http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/2ab23ac2430cc38_ek.pdf
- Özgen, S., Malkoç, Ö., Doğançik, C., Sabah, E., Şapçı, FO. (2011). Optimization of a Multi Gravity Separator to produce clean coal from Turkish lignite fine coal tailings. *Fuel*, 90, 1549–1555. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236110006393?via%3Dihub>
- Peer, F., Mongwe, A., Van Heerden, J.H.P. (2002). A preliminary investigation into the metallurgical efficiency of an enhanced gravity separator. *The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 4, 251-254. Erişim adresi: <https://www.saimm.co.za/Journal/v102n04p251.pdf>
- Ramsaywok, P., Vermaak, M.K.G., Viljoen, R. (2010). Case Study: High capacity spiral concentrators. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 110(11), 637-642. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/290261494_Case_study_High_capacity_spiral_concentrators
- Richards, R.G., Palmer, M.K. (1997). High capacity gravity separators a review of current status. *Minerals Engineering*, 10(9), 973-982. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089268759700071X>

- Sivrikaya, O. (2014). Cleaning study of a low-rank lignite with DMS, Reichert spiral and flotation. *Fuel*, 119, 252–258. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236113011320>
- TKİ (2019). *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu-2019 Kömür (Linyit) sektör raporu (Rapor)*. Erişim adresi: [http://www.tki.gov.tr/depo/2019%20K%C3%96M%C3%96R%20SEKT%C3%96R%20RAPO%20\(1\).pdf](http://www.tki.gov.tr/depo/2019%20K%C3%96M%C3%96R%20SEKT%C3%96R%20RAPO%20(1).pdf)
- Uslu, T., Sahinoglu, E., Yavuz, M. (2012). Desulphurization and deashing of oxidized fine coal by Knelson concentrator. *Fuel Processing Technology*, 101, 94–100. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382012001233>