



Lavvar tesisi tikiner atığından kömürün geri kazanımı

Selçuk ÖZGEN*

Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü, ArGe Dairesi Başkanlığı, Ankara
ozgen_s@hotmail.com ORCID: 0000-0002-2078-5349, Tel: (312) 540 17 64

Zeyni ARSOY

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar
zeyniarsoy@aku.edu.tr ORCID: 0000-0001-5694-6338

Bahri ERSOY

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar
bersoy@aku.edu.tr ORCID: 0000-0002-0075-9039

Hakan ÇİFTÇİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar
hciftci@aku.edu.tr ORCID: 0000-0003-4212-1591

Geliş: 29.03.2018, Kabul Tarihi: 03.12.2018

Öz

Yeraltı kaynaklarımızın hızla tükendiği bugünlerde yerli kömür ihtiyacımız da hızla artmaktadır. Bu yüzden yıkama tesislerinde yıkama verimlerini maksimum seviyelere çıkarmak gerekmektedir. Bazı durumlarda ise tesis performansını artırmak yeterli kalmayacak ve tesis atıklarının da tekrar zenginleştirilerek ekonomiye kazandırılması gerekecektir. Bu çalışmada Adularya A.Ş. tarafından işletilen Koyunağılı kömür yıkama tesisi tikiner altı şlam atıklarının zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında 0,5 mm eleme ile boyuta göre zenginleştirme yaparak iri boyutlu kömür tanelerinin kazanılması ve ikinci aşamasında ise -0,5mm tane boyundaki şlamın Knelson konsantratörü ile zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında deney tasarım yöntemleri kullanılmış olup, kuru bazda %61,7 küllü ve 1740 kcal/kg ısı değere sahip tikiner altı şlam atığından ilk aşamada kuru bazda %31,20 kül içerikli 3980 kcal/kg AID sahip kömür elde edilirken, ikinci aşamada kuru bazda %58,12 kül içerikli 1845 kcal/kg AID sahip ince toz kömür elde edilmiştir. Birinci ve ikinci aşamada elde edilen ürünler dikkate alındığında beslemeye göre ağırlıkça %45,23'lük kısım, %45,35 kül ve 2857 kcal/kg AID sahip ince kömür olarak üretilmiştir. Sonuç olarak, temiz kömür üretimine G kuvveti ve yıkama suyunun pozitif etki yaptığı, besleme katı oranının ise negatif etki yaptığı ortaya çıkarılmıştır. Daha düşük katı oranlarında çalışarak ve daha yüksek basınçlı yıkama suyu kullanarak daha temiz kömür üretilbileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Lavvar tesisi, Tikiner atığı, Kömür geri kazanımı, Knelson konsantratörü

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Türkiye’de kömür yıkama tesisleri ekonomik ihtiyaçlardan dolayı kurulmuştur. Demir-çelik fabrikalarının ihtiyacı olan hammaddeyi elde etmek için öncelikle Zonguldak kömür havzasında kömür yıkama tesisleri inşa edilmiştir. Halen faaliyette olan bu yıkama tesislerinin bir çoğunda zenginleştirme işlemleri sonucu yüksek kül içerikli ince boyutlu kömürler, çöktürme tanklarında çöktürülmekte ve susuzlandırıldıktan sonra termik santrallere satılmaktadır. Ülkemizde faaliyette bulunan kömür yıkama tesislerinde 500 µm üzeri kömürler zenginleştirilmekte ve bu boyutun altında yer alan kömürler, susuzlaştırma işleminden sonra atık barajında depolanmaktadır. Söz konusu ince kömürlerin, geçmiş yıllarda değerlendirilmeden atılması daha ekonomik olmasına rağmen, günümüzde madencilik faaliyetlerindeki ince kömür boyutundaki artış, ince fraksiyonlardaki kömürün değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Geçmiş yıllarda ince kömürlerin zenginleştirmesinde klasik gravite yöntemleri (sallantılı masa, spiral, siklon, vb.) ile birlikte fiziko kimyasal yöntem olan flotasyon ve yağ aglomerasyonu tercih edilmekteydi. Linyit kömürlerinin çok ince boyutlarda bulunduğu durumlarda kil ve pirit taneciklerinin uzaklaştırılmasında gravite yöntemlerinin kullanılmadığı durumlarda kullanılan flotasyon yönteminde, şlam boyutunun yüksek olduğu durumlarda düşük verimin elde edilmesi, yüksek kil içeriğinin ve kömür yüzeylerinin oksitlenmesi flotasyonu olumsuz etkilemesi kömür zenginleştirmede farklı teknolojilerin gelişmesine sebep olmuştur. Bu nedenle, teknolojiye hızlı büyüme kömür hazırlama ve zenginleştirme endüstrisine de katkıda bulunmuştur. Bu sayede günümüzde ince ve çok ince boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesinde Knelson konsantratörü, Multi Gravity Seperator (MGS), hidrosiklonlar, Falcon konsantratörü vs. denenmeye başlanmıştır.

Knelson Konsantratörü 1978-1986 yılları arasında geliştirilerek 1988 yılında Byron Knelson tarafından patenti alınmış, ağır minerallerin kazanılması için santrifüj kuvvet uygulayan etkin bir teknolojidir. Bu cihazlar 30 µm altındaki çok ince tanelerin bile yoğunluk farkına bağlı olarak zenginleştirilmesine imkân vermektedir. Daha çok altın ve diğer ağır metalik cevherlerin kullanımı için tasarlanan cihaz 2000’li yıllardan sonra bütün cevher türleri için denenmeye başlanmıştır. Rubiere ve diğerleri (1997) MGS, Knelson konsantratör ve hidrosiklonla birlikte ince kömürdeki piriti ayırmak için flotasyon metodunu kullanmışlar ve sonuç olarak, kükürt gideriminin de en etkili yolun flotasyon olduğu belirlemişlerdir. Honaker ve diğerleri (2005) %18 kül içerikli ince kömürlerden havalı Knelson konsantratörleri kullanarak %80 verimle %8 kül içerikli kömür elde etmişlerdir. Öney ve Tanrıverdi (2012) ince bitümlü kömürlerin Knelson konsantratörle zenginleştirilmesini araştırmışlardır. Bu çalışmalarında Knelson konsantratörün değişken parametrelerini merkezi kompozit tasarımı kullanarak modellemişlerdir. Uslu ve diğerleri (2012) yaptıkları bir çalışmalarında, Knelson konsantratörde -106, -300, +106 ve -500+300 µm boyutlarındaki oksitlenmiş ince kömürlerin desülfürizasyonu ve temizlenmesini araştırmışlardır. Çalışmalarında yanabilir madde geri kazanımını, piritik kükürt uzaklaştırmasını ve kül uzaklaştırmasını sırasıyla %99,13, %91,60 ve %60,94 oranında gerçekleştirmişlerdir. Bunların dışında Sabah ve Koltka (2014), %59,08 kül içerikli Soma linyit kömürü atıklarını hidrosiklon+Knelson konsantratör ile zenginleştirilebilirliğini araştırmışlar ve %30,51 kül, 5259 kcal/kg AID sahip temiz kömür elde etmişlerdir.

Ülkemizde ve Dünyada kömürlerin Knelson Konsantratörü ile zenginleştirilmesiyle ilgili çok az yayın bulunmaktadır. Bu çalışmada, Koyunağılı lavvar tesisi şlam atıklarının Knelson konsantratörü ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Çok

sayıda parametrenin sonuçlar üzerine etkili olduğu bu gibi çalışmalarda parametrelerin birbirleri ile olan ilişkilerini de ortaya koymak üzere geliştirilmiş istatistiksel yöntemlerden faydalanılır. Bu çalışma kapsamında da deneylerin tasarlanması ve sonuçların yorumlanması için Yanıt Yüzey Yöntemlerinden (YYY) Box-Behnken deney tasarımı kullanılmıştır.

Yanıt yüzey yöntemleri

Yanıt yüzey yöntemi (YYY) Box ve Wilson tarafından 1951 yılında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir. Araştırmacılar, mümkün olan minimum sayıda deney yaparak, yanıt yüzeyi üzerinde yanıt değişkeninin maksimum değerini aldığı noktaya ulaşılması amaçlanan deneme düzenlerini ortaya koymuşlardır. Bu nedenle bazı deneme düzenlerini karşılaştırmış ve karma denemeleri tanımlamışlardır (Mead ve Pike, 1975). YYY'leri model regresyon analizi yardımıyla oluşturulur. Bir değişkenin başlıca etkisinin veya diğer değişkenlerle etkileşiminin yanıt değişkeninin üzerinde ne derece bir etkiye sahip olduğuna elde edilen regresyon katsayılarına bakarak karar verilir (Turan ve Altundoğan, 2011).

YYY birçok mühendislik alanında başarı ile kullanılmaktadır. Yanıt yüzeyi metodu kullanarak iki veya daha fazla değişkenin, örneğin hız, tüketim ve ikisinin birlikte sonuç (yanıt) üzerine etkileri araştırılıp optimum değerleri bulunabilir. Sonuçlar iki ve üç boyutlu grafik halinde veya kontur diyagramı olarak çizilebilir. Oldukça düşük sayıda deneysel kombinasyonlar ile gerçekte test edilemeyen değişken değerleri ve bunların farklı kombinasyonları tahmin edilebilir (Walker ve Parkhurst, 1984; Joglekar ve May, 1987; Turan ve Altundoğan, 2011).

Box-Behenken Tasarımı

Box Behnken tasarımı 1960 yılında Box ve Behnken tarafından tasarlanmıştır. Dönersel tasarımların bir çeşidi olan Box-Behnken tasarımı, ikinci derece model parametrelerinin

tahmin edilmesinde kullanılan üç seviyeli tamamlanmamış çok etkenli tasarımıdır. Box-Behnken tasarımlarında her bir değişken üç düzeye sahiptir. Box-Behnken tasarımı diğer tasarımlara kıyasla daha ekonomik bir tasarım modelidir (Köksoy, 2001; Baş, 2010). Box-Behnken tasarımları, tamamlanmamış bir blok tasarımının uygun bir şekilde iki düzeyli çok etkenli bir tasarımla birleştirilmesi sonucunda ortaya çıkarlar (Şehirlioğlu 1997; Baş, 2010).

Box-Behnken'de deney sayısı $N=2k(k-1)+n_c$ formülü yardımıyla belirlenmektedir. Bu formülde k , etken sayısını, n_c , merkezi deneme sayısını göstermektedir (Dias vd., 2007; Baş, 2010). Tasarımda tüm değişkenler için minimum ve maksimum sınırlar aynı anda hiçbir zaman kapsamadığı için, uç değerlerin yaratacağı olumsuz sonuçlar da engellenmiş olur. Kısaca Box-Behnken tasarımları, ikinci dereceden modellerin tahminine, ardışık tasarımların kurulumuna, modelin güven eksikliğinin analizine ve bloklara izin verdiği için kullanılan bir yanıt yüzeyi tasarımıdır.

Genel olarak yanıt değerleri doğrusal ve ikinci dereceden modeller tarafından seçilen faktörlere bağlı olarak hesaplanır. Yanıt değerleri (Denklem 1);

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada y tahmini yanıt, x_i ve x_j faktör değerleri, β_0 sabit katsayı, β_i , β_{ii} ve β_{ij} sırasıyla lineer, ikinci dereceden ve iki terimli etkileşim katsayıları ve ε ise hata değeridir.

Materyal ve metot

Materyal

Bu çalışmada kullanılan pülöp halindeki kömür atığı, Adularya Enerji Elektrik Üretimi ve Madencilik A.Ş. firmasına ait Koyunağılı (Mihalıççık/Eskişehir) Lavvar tesisinden alınmıştır. Tikiner çıkışından 30 dakikalık aralıklarla toplam 160 litre olacak şekilde

alınan bu kömür atığının fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Lavvar tesisinden alınan pülp halindeki atığın bazı fiziksel özellikleri.

Özellik	Değer
<i>Pulp Yoğunluğu (g/cm³)</i>	1,21
<i>Pulp katı oranı (kütlece %)</i>	10,1
<i>Tane boyutu aralığı (µm)</i>	1-1000

Lavvar atığının tam kömür analizi ise uluslararası standartlara uygun şekilde Ege Linyit İşletmeleri Akredite Kömür Laboratuvarında yapılarak sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi yapılan analizler sonrasında artık kömürün kalorifik değerinin kuru bazda 1740 kcal/kg, kül oranının %61,72 ve kükürt oranının da %2,27 olduğu belirlenmiştir.

Metot

Karakterizasyon çalışmaları

Lavvar tesisi tikiner alt akımından alınan çamur halindeki kömür artık numunesi filtre edilerek katı/sıvı ayrımı yapılmış ve katı numune kurutularak deneysel çalışmalara hazır hale getirilmiştir. Kömür atığını karakterize etmek için bir takım nitel ve nicel analiz teknikleri kullanılmıştır. Atığın,

kimyasal analizi dalga boyu dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) cihazı (Rigaku ZSX Primus II) ile (Tablo 3) ve mineralojik analizi ise X-Işını Difraktometresi (XRD) cihazı (Bruker D8 Advance) ile yapılmıştır (Şekil 1). Burada kömüre eşlik eden mineral maddelerin genel olarak alüminyum silikatlar olduğu görülmektedir. Gismonid ve analsim zeolit grubu mineraller iken, sanidin ve anortit feldspatlar grubundan ve ayrıca kil grubu mineral olarak tanımlanabilen sodyum alüminyum silikat piki yer almaktadır. Deneysel çalışmaların ilk aşamasında, eleme işlemi ile bir ön zenginleşme olup olamayacağını görmek için atık kömür numunesinin elek analizi yapılarak her bir tane fraksiyonunun kül içeriği ve kalorisi belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.

Test metodu

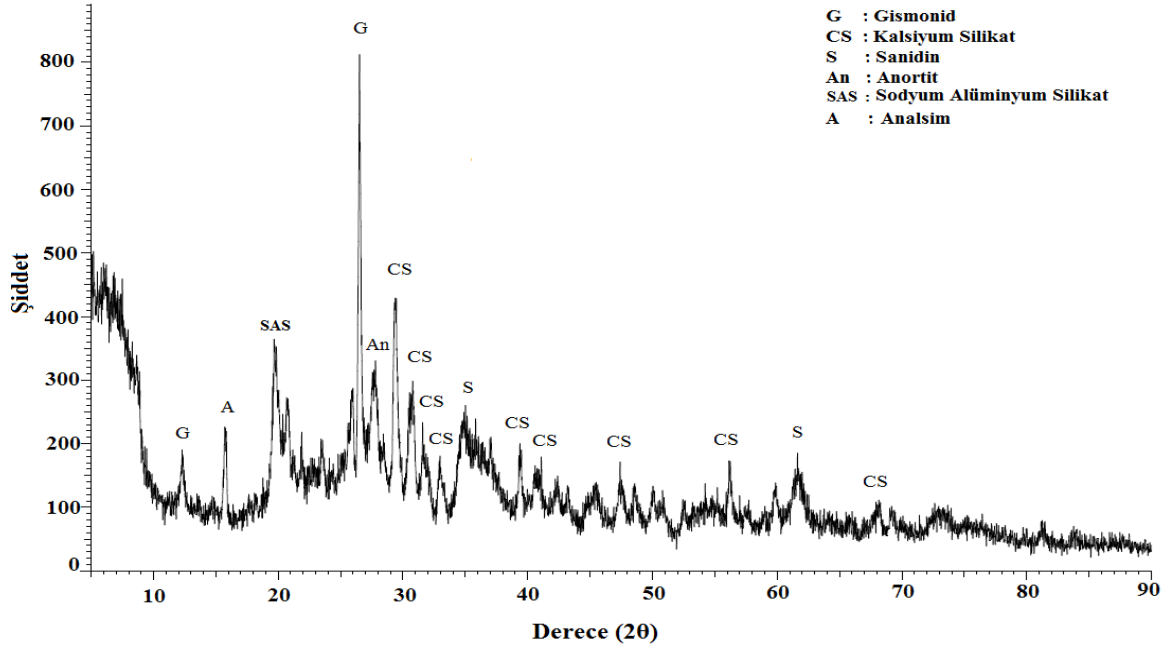
Tablo 4 dikkatlice incelendiğinde kül ve kalori değerlerinin ciddi biçimde ayrıldığı boyutun 0,5 mm tane boyutu olduğu görülmektedir. Bu kapsamda bu boyut ön zenginleştirme için eleme boyutu olarak belirlenmiş, deneysel çalışmaların birinci aşamasında 0,5 mm boyutlu elek kullanılarak ön zenginleştirme yapılmıştır.

Tablo 2. Lavvar tesisi atığının kuru bazda kömür analizi sonuçları

Analiz	Kuru Bazdaki Sonuçlar	Standart
<i>Bünye nemi (%)</i>	-	ASTM-D 3302-07
<i>Kül (%)</i>	61,72	ASTM-D 3174-04
<i>Uçucu madde (%)</i>	30,64	ISO 562
<i>Toplam kükürt (%)</i>	2,27	ASTM-D 3177-02
<i>Sabit karbon (%)</i>	5,37	ASTM-D 3172
<i>Alt Isıl Değer (Kcal/kg)</i>	1740	ASTM-D 5865-07 ve ISO 1928
<i>Üst Isıl Değer (Kcal/kg)</i>	1858	ASTM-D 5865-07 ve ISO 1928

Tablo 3. Linyit atığına ait kimyasal (XRF) analiz sonuçları.

Metal Oksit	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	Cl	K ₂ O	MnO	Al ₂ O ₃	BaO
%	34,40	5,63	5,99	3,74	2,86	3,43	0,67	1,83	0,07	12,72	0,0
Metal Oksit	TiO ₂	V ₂ O ₅	CrO ₃	NiO	CuO	ZnO	MgO	Rb ₂ O	SrO	ZrO ₂	A.Z.
%	0,53	0,02	0,05	0,04	0,01	0,02	3,96	0,02	0,05	0,01	24



Şekil 1. Lavvar tesisi atığının mineralojik (XRD) analiz sonuçları.

Tablo 4. Linyit atığına ait elek analizi sonuçları.

Tane Boyutu (µm)	Miktar (%)	Kül (%)	Kalori (Kcal/kg)
1000	6,85	26,12	4210
-1000+850	3,52	28,75	4085
-850+600	7,51	31,28	3786
-600+500	7,62	33,35	3665
-500+300	11,84	52,35	2345
-300+212	10,45	69,84	1180
-212+106	16,22	77,48	785
-106+75	4,78	78,12	598
-75+53	3,15	77,85	574
-53+38	2,25	78,15	745
-38	25,81	77,55	592
Toplam	100,00	61,72	1740,29

Çalışmaların ikinci aşamasını ise 0,5 mm elek altı atığın, Knelson konsantratör ile zenginleştirilmesi çalışmaları oluşturmaktadır. Bu aşamada Knelson konsantratörün 3 farklı çalışma parametresi (G kuvveti (*G*), besleme katı oranı (*BKO*), yıkama suyu basıncı (*YS*)) ile Box-Behnken deney tasarım yöntemi kullanılmış olup deney parametreleri Tablo 5’de verilmiştir.

3 faktörlü bir Box-Behnken deney tasarım yöntemi kullanıldığında ($2 \times 3(3-1) + 3$ merkez nokta) toplam 15 deneye ihtiyaç olmaktadır. Deney tasarımı Minitab 16 programı kullanılarak tasarlanmıştır. Deneyler sonrasında elde edilen sonuçlardan, ana faktörleri ve ikinci dereceden faktörlerin etkileşimini belirlemek için Denklem 2 kullanılmıştır:

Tablo 5. Knelson konsantratörü ile kömür geri kazanımı için uygulanan deney parametreleri.

Değer	Parametreler		
	G Kuvveti (kg.m/s ²)	BKO (%)	Yıkama Suyu basıncı (psi)
Düşük	30	5	2
Orta	75	22,5	3,5
Yüksek	120	40	5

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{33}x_3^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 \quad (2)$$

Burada, y tahmini yanıt, β_0 model sabiti; x_1 , x_2 ve x_3 bağımsız değişkenler; β_1 , β_2 ve β_3 linear katsayıları; β_{12} , β_{13} ve β_{23} çapraz ürün katsayıları; ve β_{11} , β_{22} ve β_{33} ikinci dereceden katsayıları ifade etmektedir.

Sonuçlar ve tartışma

Kömür Atığının Eleme ile Ön Zenginleştirilmesi

Elek analizinden de anlaşılacağı üzere kömür atığı bünyesinde iri boyutlarda kömür taneleri bulundurmakta olup, tane boyutu küçüldükçe malzemenin kil içeriği arttığı için kül miktarında artışlar gözükmemektedir. Çalışmanın ilk aşamasında temin edilen kömür atığı yaş olarak 0,5 mm elekten geçirilmiş ve 0,5 mm'den iri olan kömür taneleri kazanılmıştır.

Kuru bazda %61,72 kül ve 1740 kcal/kg AID'e sahip olan kömür atıklarının tamamı 0,5 mm'lik eleklerden elenerek iri boyuttaki ince kömür alınmış ve elek altı malzeme ise Knelson konsantratör deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Bu ön zenginleştirmeden elde edilen ürünlerin özellikleri Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'dan da görüldüğü gibi atık kömürün %23,77'lik kısmı 0,5 mm'lik eleme yaparak %31,2 küllü ve 3980 kcal/kg AID'e sahip olarak kazanılmaktadır. Kalan -0,5 mm boyutundaki kısım ise doğrudan Knelson konsantratörüne beslenmiştir.

Kömür Atığının Knelson Konsantratör ile Nihai Zenginleştirilmesi

0,5 mm eleme sonrası geriye kalan -0,5 mm boyutundaki %71,58 küllü ve 1100 kcal/kg AID'e sahip olan atık kömür kullanılarak Knelson konsantratörde belirlenen 15 deneyden elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7'den de görüldüğü gibi yapılan 15 adet Knelson konsantratör deneyinde en iyi sonuç 12 nolu deneyde elde edilmiş olup, bu deneyden elde edilen ürün %58,12 küllü ve 1845 kcal/kg'dır.

Tablo 7'de verilen sonuçlar Minitab 16 programı ile ana faktörleri ve ikinci dereceden faktörlerin etkileşimleri belirlenmiş ve aşağıdaki formüllerde ifade edilmiştir. Buna göre tahmin edilen kül (%) ve kalori (kcal/kg) değerleri sırasıyla Denklem 3 ve 4'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Kül}(\%) = & 69.15 - 0.208G + 0.148BKO + 0.593YS + 7.237x10^{-4}G^2 - 8.558x10^{-4}xBKO^2 \\ & - 0.082YS^2 + 0.0016GxBKO + 0.0027GxYS - 0.0185BKOxYS \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Kalori}(kcal/kg) = & 960.39 + 14.723G + 0.814BKO + 26.074YS - 0.057G^2 - 0.12xBKO^2 \\ & - 3.074YS^2 - 0.0902GxBKO - 0.1074GxYS + 0.6BKOxYS \end{aligned} \quad (4)$$

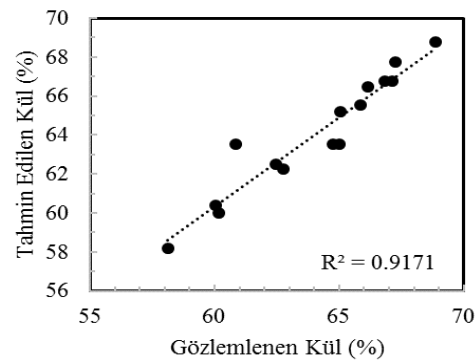
Tablo 6. Lavvar tesis atığının 0,5 mm eleme ile ön zenginleştirme sonuçları.

Ürünler	Miktar (%)	Kül (%)	Kalori (kcal/kg)
Elek üstü (+0,5 mm)	23,77	31,2	3980
Elek altı (-0,5 mm)	76,23	71,58	1100
Besleme	100	61,98	1784

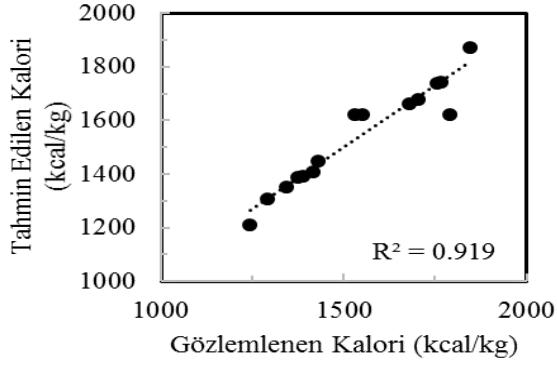
Tablo 7. -0,5 mm boyutlu lavvar tesisi atığının knelson konsantratörü ile zenginleştirilmesinden elde edilen sonuçlar.

Deney No	G Kuvveti (kg.m/s ²)	BKO (%)	Yıkama Suyu Basıncı (psi)	Miktar (%)	Kül (%)	Kalori (kcal/kg)
1	30	22,5	5,0	44,86	66,84	1342
2	75	40,0	2,0	48,15	67,12	1375
3	75	40,0	5,0	41,41	65,05	1428
4	75	22,5	3,5	34,14	64,75	1552
5	75	5,0	2,0	28,89	60,18	1765
6	75	22,5	3,5	29,47	60,87	1790
7	75	22,5	3,5	41,41	65,02	1531
8	30	5,0	3,5	45,54	65,86	1389
9	30	40,0	3,5	43,65	68,87	1243
10	120	40,0	3,5	32,87	66,15	1415
11	120	22,5	2,0	39,47	62,45	1678
12	120	5,0	3,5	28,15	58,12	1845
13	75	5,0	5,0	31,26	60,05	1755
14	120	22,5	5,0	35,84	62,75	1702
15	30	22,5	2,0	51,45	67,27	1289

Elde edilen Denklem 3 ve 4 yardımıyla 15 deneyin tahmin edilen sonuçları hesaplanarak Tablo 8'de verilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak tahmin edilen ve gözlemlenen sonuçların ilişkileri ve birbirleri ile korelasyonları Şekil 2 ve 3'de görülmektedir. Görüldüğü gibi tahmin edilen ve gözlemlenen değerlerin korelasyonları oldukça yüksek olup, kül için %91,71, kalori için %91,90 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin yüksek olması yapılan deneylerin güvenilir olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 2. Gözlemlenen ve tahmin edilen kül değerlerinin korelasyonu.



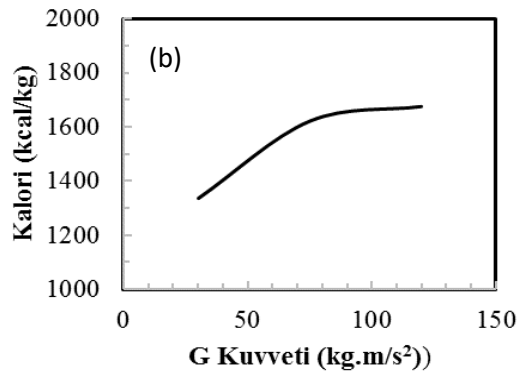
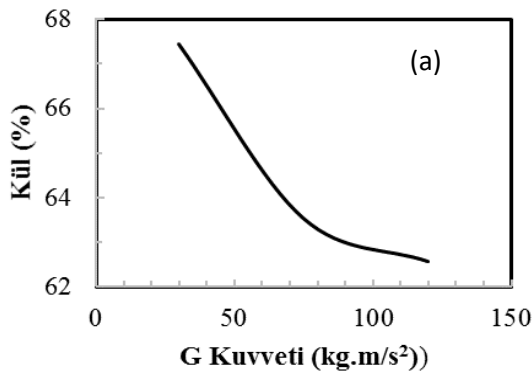
Şekil 3. Gözlemlenen ve tahmin edilen kalori değerlerinin korelasyonu.

G kuvvetinin ayırmaya etkisi

Minitab 16 kullanılarak G kuvvetinin kül ve kalori üzerine etkisi Şekil 4'de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi G kuvveti arttıkça kül değeri ilk aşamada hızla düşmekte ikinci aşamada ise düşmesi yavaşlamaktadır. Kalori değerinin yükselmesinde de benzer durum gözlenmiştir. Bu durum G kuvvetinin kömürden kil içerikli malzemenin uzaklaştırılmasında etkili olduğunu göstermekte olup, 120 G 'den daha yüksek değerlerde etkinin daha az olacağını göstermektedir.

Tablo 8. Gözlemlenen ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması.

Deney No	Gözlemlenen		Tahmin edilen	
	Kül (%)	Kalori (kcal/kg)	Kül (%)	Kalori (kcal/kg)
1	66,84	1342	66,78	1352
2	67,12	1375	66,75	1386
3	65,05	1428	65,20	1447
4	64,75	1552	63,54	1622
5	60,18	1765	60,02	1741
6	60,87	1790	63,54	1622
7	65,02	1531	63,54	1622
8	65,86	1389	65,55	1391
9	68,87	1243	68,80	1209
10	66,15	1415	66,46	1406
11	62,45	1678	62,50	1661
12	58,12	1845	58,17	1872
13	60,05	1755	60,40	1739
14	62,75	1702	62,28	1677
15	67,27	1289	67,73	1308



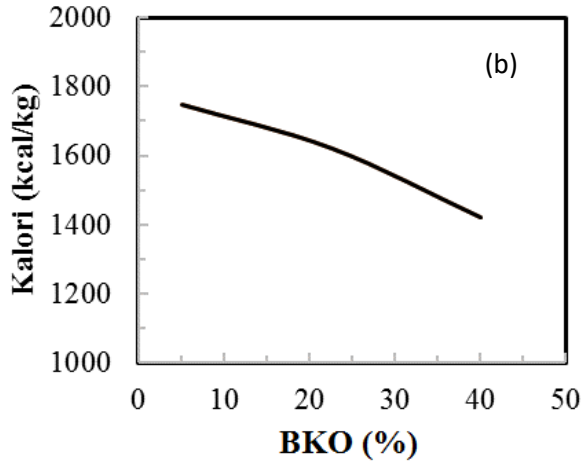
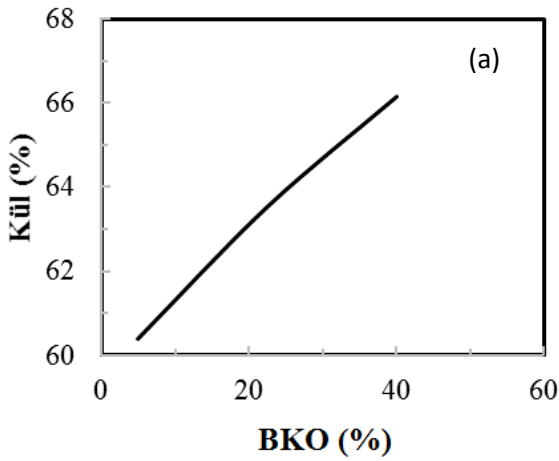
Şekil 4. G kuvvetinin kül oranına (a) ve kaloriye (b) etkisi.

BKO değerinin ayırmaya etkisi

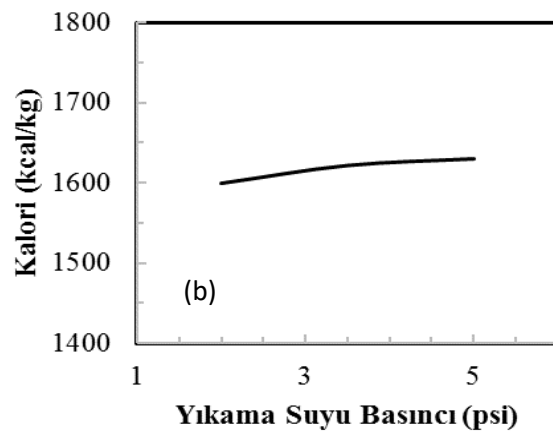
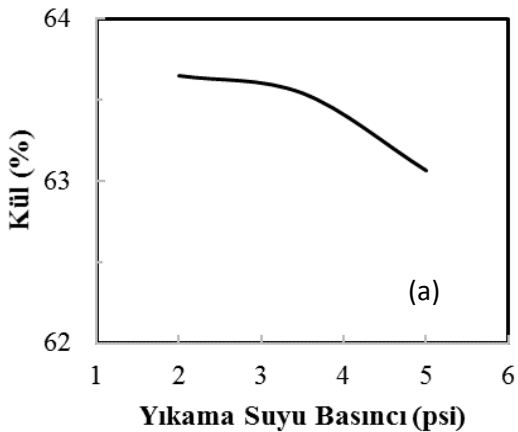
Sonuçlardan, bir diğer değişken olan besleme katı oranının (*BKO*) kül ve kalori üzerine etkisi belirlenerek Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5’den görüldüğü gibi *BKO* oranı arttıkça kül değeri yükselmekte, buna bağlı olarak kalori değeri hızla düşmektedir. Eğrinin eğiminden de anlaşılacağı üzere *BKO* 40’dan daha yüksek değerlerde de bu yükseliş ve düşüşün aynı hızla devam edecektir. Bunun ana nedeni beslemedeki *BKO* değeri arttıkça Knelson konsantrasyonunun iç haznesinde daha fazla katı birikmesi olmakta ve tanelerin birbirlerinden ayrılmaları güçleşmektedir. Bu durum bize verimli bir zenginleştirme için daha düşük besleme pülpte katı konsantrasyonlarında çalışılması gerektiğini açıkça göstermektedir.

Yıkama suyunun kuvvetinin ayırmaya etkisi

Diğer bir değişken parametremiz olan yıkama suyu basıncının kül ve kalori üzerine etkisi belirlenerek Şekil 6’da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi yıkama suyu basıncı kül oranı üzerine negatif etki yaparken, kaloriye pozitif etki yapmaktadır. Çünkü yıkama suyu basıncı tanelerin birbirlerinden ayrılmasını kolaylaştırmakta ve bu sayede kömür tanecikleri kil taneciklerinden ayrılarak konsantre toplama kısmına hızla yönelmektedir. Eğrinin eğimine bakılırsa daha yüksek yıkama suyu basıncında daha temiz kömür elde edilebileceği tahmin edilebilmektedir.



Şekil 5. Besleme katı oranının Kül (a) ve Kaloriye (b) etkisi.



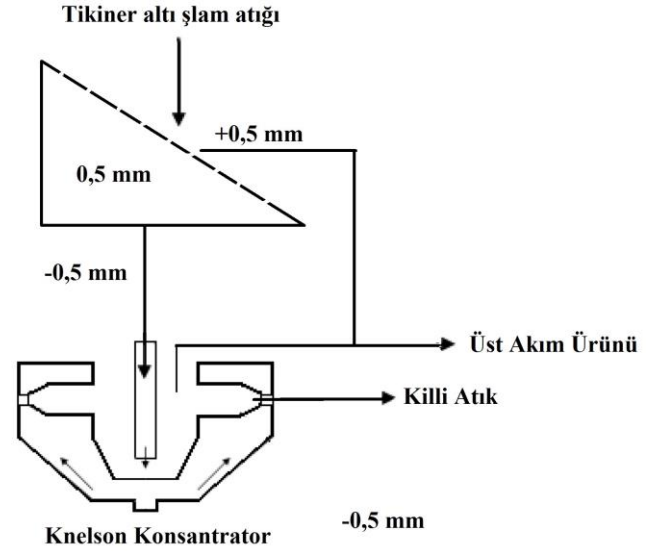
Şekil 6. Yıkama suyu basıncının kül oranı (a) ve kaloriye (b) etkisi.

Sonuçlar

Adularya A.Ş. tarafından işletilen Koyunağılı kömür yıkama tesisi tikiner altı şlam atığı atıklarının zenginleştirilebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, iki aşamalı bir çalışma programı uygulanmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında kuru bazda %61,98 küllü ve 1784 kcal/kg alt ısıl değere sahip linyit atığı önce 0,5 mm elekten geçirilerek %23,77'si kuru bazda %31,2 küllü ve 3980 kcal/kg ısıl değere sahip toz kömür elde edilmekte olup, geri kalan %76,23'lük kısım ise Knelson konsantratörde zenginleştirilmiştir. İkinci aşamadan ise en iyi sonuç 12 nolu deneyden elde edilmiş olup beslemenin %28,15'lik kısmı kuru bazda %58,12 kül ve 1845 kcal/kg AID'e sahip olarak elde edilmiştir.

Elde edilen 2 farklı ürün ayrı ayrı değerlendirilebileceği gibi birlikte de değerlendirilebilir. Bu durumda elde edilen ürünlerin toplamı beslemeye göre %45,23'lük kısmı oluştururken, bu karışım kuru bazda %45,35 kül ve 2857 kcal/kg AID'e sahip olacaktır. Elde edilen bu ürün yeni kurulan termik santrali baz kalori (2300 kcal/kg) üzerinde olup doğrudan yakılabileceği gibi, ince boyutundan dolayı yakma sırasında yaşanacak sıkıntıları gidermek için lavvar tesisi miks ürünleri ile birlikte de değerlendirilebilecektir.

Sonuç olarak 1784 kcal/kg ısıl değere sahip olan bir linyit atığı, Şekil 7'de önerilen bir proses yardımıyla 2857 kcal/kg ısıl değere ulaştırılabilecektir. Çalışmanın son aşamasında ise Minitab 16 kullanılarak Knelson konsantratörün çalışma parametrelerinin zenginleştirme üzerine etkileri belirlenmiş olup, G kuvveti ve yıkama suyunun pozitif etki yaptığı, besleme katı oranının ise negatif etki yaptığı ortaya çıkarılmıştır. Daha düşük katı oranlarında çalışarak ve daha yüksek basınçlı yıkama suyu kullanarak daha temiz kömür üretilebileceği görülmüştür.



Şekil 7. Lavvar tesisi tikiner atığı için önerilen kömür geri kazanım işlemi ve ürünlerin birleştirilmesi.

Teşekkür

Bu çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK birimi tarafından finansal olarak desteklenen "Koyunağılı (Mihalıççık) Linyitlerinin Yıkabilirliliği ve Lavvar Tesis Performansının Değerlendirilmesi" adlı ve 13.FEN.BİL.39 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Baş, C., (2010). Cevap Yüzeyi Tasarımları Ve Sinir Ağları Yaklaşımı, Doktora Tezi, Ankara Ü. Fen Bil. Ens., 152 Sf.
- Dias, F.S., Santos, W.N.L., Costa, A.C.S. , Welz, B., Vale M.G.R. and Ferreira, S.L.C. (2007). Application of multivariate techniques for optimization of direct method for determination of lead in naphtha and petroleum condensate by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Microchimica Acta* 158:3-4, pp. 321-326.
- Honaker, R. Q.; Das, A.; Nombe, M., (2005). Improving the separation efficiency of the Knelson concentrator using air injection. *Coal. Prep.*, 25, 99–116.
- Joglekar, A.M., May, A.T., (1987). Product Excellence Trough Design of Experiments, *Cereal Foods World*, 32 (12), 857-860.
- Köksoy, O. (2001). “Taguchi ve Cevap Yüzeyi Felsefelerinin Birleştirilmesi: Problem ve Çözüm Teknikleri”, Hacettepe Üniversitesi.
- Mead, R. ve Pike, D.J., (1975). A Biometrics Invited Paper. A Rewiev of Response Surface Methodology from a Biometric Viewpoint, *Biometrics*, 31(4), 803-851.
- Öney, Ö; Tanrıverdi, M., (2012). Optimization and modeling of fine coal beneficiation by Knelson concentrator using central composite design (CCD). *J. Ore Dressing*, 14, 11–18.
- Rubiera, F.; Hall, S. T.; Shab, C. L., (1997). Sulfur removal by fine coal cleaning processes. *Fuel*, 76 (13), 1187–1194.
- Sabah, E. ve Koltka S., (2014). Separation Development Studies on the Beneficiation of Fine Lignite Coal Tailings by the Knelson Concentrator, *Energy Fuels* 2014, 28, 4819–4827.
- Şehirlioğlu, A.K. (1997). Ürün ve süreç kalitesini iyileştirmede kullanılan istatistiksel modelleme teknikleri üzerine bir araştırma, 362 sayfa.
- Turan M.D. ve Altundoğan H.S., (2011). Hidrometalurjik Araştırmalarda Yanıt Yüzey Yöntemlerinin (YYY) kullanımı, *Madencilik*, 50(3), 11-23.
- Uslu, T.; Sahinoğlu, E.; Yavuz, M., (2012). Desulphurization and deashing of oxidized fine coal by Knelson concentrator. *Fuel*, 101, 94–100.
- Walker, C.E., Parkhurst, A.M., (1984). Response Surface Analysis of Bake-Jab Data With a Personel Computer, *Cereal Foods World*, 29(10), 662.

An investigation of coal recovery from slurry waste of thickener in coal washing plant using Knelson Concentrator

Extended abstract

Now that Turkey's underground resources are consumed rapidly, domestic coal requirement is also increasing rapidly. Therefore, it is necessary to increase washing efficiency of washing plants upto maximum levels. Eventough, in some cases, the increase in the performance of the facilities will not be sufficient. It will be indispensable for the waste materials be enriched so as to be benefited economically. Major waste material is coal waste, and it should be recovered due to domestic coal needs.

In this context, this study was aimed to investigate the feasibility of enrichment process of sub-thickener slurry waste of Koyunağılı Coal Washing Plant operated by Adularya Company. The first phase of the study focused on the recovery of coarse sized coal by 0.5 mm elimination process. In the second phase of the study, enrichment process of 0.5 mm grain size slurry waste was processed using a Knelson concentrator.

In the first phase of the study, fine coal with 31.20% ash content and 3980 kCal/kg Lower Heating Value (LHV) in dry basis was obtained from 61.7% ash content and 1740 kCal/kg LHV also in dry basis sub-thickener slurry waste.

In the second phase of the study, for the experiments to be fulfilled with Knelson Concentrator, Box-Behnken Experiment Design

Programme was performed. Three working parameters of Knelson Concentrator were used in design concept, which were; G Force (G), Pulp Solid Ratio (PSR), and washing water pressure. 15 experiments in total were approved for this design in which three parameters were used with three levels.

The best result of the 15 experiments was achieved from the 12th experiment (G force : 120 kg.m/s², pulp solid ratio : 5.0%, washing water pressure: 3.5 psi). -0.5 mm size under sieve product fed into this phase with 71.58 ash content and 1100 kCal/kg LHV was converted into 58.12 % ash content and 2857 kCal/kg LHV fine coal.

The effects of G force, pulp solid ratio (PSR), and washing water pressure on ash and LHV content were also studied in this study.

The results showed that as the G force increased ash content of coal decreased and calorific value increased, as the PSR increased ash content increased and calorific value decreased, and, as the washing water pressure increased ash content decreased and calorific value increased. G force and washing water pressure made a positive effect while feeding solid ratio made a negative effect. The results clearly showed that , cleaner coal could be obtained by working with lower solid ratio and using higher washing water pressure.

As a result, when the products obtained from the sieving and Knelson concentrator are evaluated together, they constitute 45.23% of the product according to the feeding. This mixture has 45.35% ash content and 2857 kCal/kg LHV in dry basis.

Keywords: Coal Washing Plant; Waste of Thickener; Coal recovery; Knelson concentrator