

Makalenin Geliş Tarihi : 04.12.2008
Makalenin Kabul Tarihi : 15.12.2008

KÖMÜRDEN PİRİTİK KÜKÜRT VE MARNIN MGS İLE UZAKLAŞTIRILMASI

Kemal BİLİR¹

ÖZET: Çevre kirliliği günümüzde uygar toplumların en önemli sorunlarından biridir. Giderek artan endüstrileşme ile doğa çok çeşitli yönlerden kirletilmektedir. Çeşitli amaçlar için kalitesiz kömür kullanımı da kirletme nedenlerinden biridir. Bu çalışmada, 0-18 mm boyutlu Tunçbilek tüvenan kömürünün kullanılmadan önce fiziksel zenginleştirme yöntemlerinden biri ile piritik kükürt ve kül yapıcı safsızlıklarının uzaklaştırılması olanakları araştırılmıştır. Piritik kükürt, marn ve kömür arasındaki yoğunluk farkı nedeniyle bu çalışmada Multi Gravity Separator (MGS) kullanılmıştır. Deneylerde tambur hızı, eğim açısı, yıkama suyu, genlik ve frekans gibi parametreler incelenmiştir. Yapılan deneyler sonunda yanıcı kükürt miktarı, %1,32'den %0,87'e; kül miktarı %36,99'dan %22,17'e indirilmiş ve kalori değeri de 4208 kcal/kg'dan 5531 kcal/kg'a çıkartılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kömür, gravite ayırması, piritik kükürt, MGS

REMOVAL OF PYRITIC SULPHUR AND MARL FROM COAL BY USING MGS

ABSTRACT: Today, environmental pollution is one of the most important problems of the civilized society. With an increased industrialization, nature is being polluted by various means. The use of low quality coals aggravates this problem. In this study, pyritic sulphur desulphurization and ash content removal of 0-18 mm Tunçbilek run-of-mine coal were investigated by using a physical concentration method. Due to the specific density difference among sulphur, marl and coal, MGS was utilized. The effects of drum speed, tilt angle, wash water flow rate, shake frequency and shake amplitude on the metallurgical performance were determined. Pyritic sulphur content was decreased from 1.32% to 0.87%. Ash content dropped from 36.99% to 22.17% and calorific value increased from 4208 kcal/kg to 5531 kcal/kg.

Keywords : Coal, gravity separation, pyritic sulphur, MGS

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Maden Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, ESKİŞEHİR

I. GİRİŞ

Ülkemizde kamuoyu son yıllarda artan bir duyarlılıkla çevre kirliliği ve nedenleri üzerinde durmaktadır. Çevre kirliliğinin en önemli kaynaklarından biri sanayide, enerji üretiminde ve ısınmada kalitesiz kömür kullanımınıdır.

Kalitesiz kömürün kirletici elemanları olan yüksek kül ve piritik kükürdün, mümkün olduğunca kaynağında ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu kirleticilerin kullanım alanlarına kadar taşınmalarının önlenmesi bile yeterince ekonomik fayda sağlayacaktır.

Kömürdeki kükürlü bileşikler iki ana grupta toplanmaktadır. Bunlar *inorganik* ve *organik* kükürttür [1, 2]. İnorganik kükürt; kömürün bünyesinde *piritik*, *elementel* ve *sülfatık kükürt* şeklinde olabilmektedir. Kömürden uzaklaştırılması istenen ve toplam kükürdün ortalama yarısını oluşturan piritik kükürt, kömürde bulunan pirit ve markasit'ten kaynaklanmaktadır. Markasit, kömür içerisinde piritten daha az bulunmaktadır. Bu nedenle her ikisi içinde piritik kükürt deyimini kullanılmaktadır. Pirit makroskobik olarak damarlar, merceler ve nodüller, mikroskobik olarak ince damarlar veya jel pirit (melnikovit) şeklinde kömürün bünyesinde yer almaktadır [3]. Kömürdeki inorganik maddelerin üç ana kaynaktan ileri geldiği bilinmektedir [4].

1. Kömürleri meydana getiren bitkilerde bulunan ve kömürün bileşimine giren maddeler,
2. Kömürün çatlak ve yarıklarına, sular tarafından taşınıp çökelen mineraller,
3. Konkresyonlar halindeki mineral maddeler.

Kükürt yanabilen bir madde olduğundan kömürün kalorifik değerini azaltıcı bir etki yapmaz. Ancak çevre açısından en büyük kirleticidir. Ayrıca yanma odası, kazan ve borularda korozif bir etki yapar. Kömürlerin gerek termik santrallerde, gerekse endüstri ve ısınmada enerji kaynağı olarak kullanılmaları sırasında çevreyi mümkün olan en düşük düzeyde kirletmelerini sağlamak amacıyla, kül ve piritik kükürdünün uzaklaştırılarak kalitelerinin iyileştirilmesi zorunludur.

Piritik kükürdün ve diğer safsızlıkların kömürden uzaklaştırılması için uygulanan yöntemleri fiziksel, fiziko-kimyasal ve kimyasal olmak üzere üç ana grup altında toplamak mümkündür.

Piritik ve sülfatik kükürt, fiziksel zenginleştirme yöntemleriyle kömürden herhangi bir sorun yaratmadan uzaklaştırılabilmektedir. Organik kükürt ise kömürün hidrokarbon yapısına bağlı olduğundan, fiziksel zenginleştirme yöntemleriyle kömürden uzaklaştırılamamaktadır.

Piritik kökürdün kömürle arasındaki büyük yoğunluk farkı nedeniyle, zenginleştirme işlemlerinde gravite yöntemlerinin uygulanması mümkündür. Gravite yöntemiyle iri kömürlerin (0,5 mm üstü) zenginleştirilmesinde, ağır ortam ayırması ve jigler; ince kömürlerin (0,5 mm altı) zenginleştirilmesinde ise ağır ortam siklonları, feldspatlı jigler sallantılı masalar, sabit oluklar ve **Multi Gravity Separator (MGS)** kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, 420 mikron altına indirilmiş olan Tunçbilek 0-18 mm lavvar tüvenan kömürü içerisindeki kül yapıcı elemanlar ve piritik kükürt MGS yardımıyla uzaklaştırılmaya çalışılmıştır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

II.1. Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan numune, GLİ Tunçbilek İşletmesi Lavvarı 18 mm tüvenan eleği altından alınmıştır. 0-18 mm'lik deney numunesi ağır ortam siklonlarına besleme yapan elevatörden, ocak kömürünü en iyi şekilde temsil edecek olan bir örnekleme için kırk beş günlük bir zaman diliminde gündüz vardiyasında birer saat ara ile alınmıştır.

Deneysel çalışmalara geçmeden önce numune on beş gün oda sıcaklığında kurutulmuş ve daha sonra konileme-dörtleme yöntemiyle temsili örnek alınmıştır. Alınan temsili örnek, 420 mikron altına kademeli olarak ufalanmıştır. Numunenin tamamı MGS deneylerinde kullanılmak üzere 510 gramlık kısımlara ayrılarak torbalanmıştır.

Tüvenan kömür, marn, pirit ve temiz kömüre ait yoğunluk değerleri Çizelge 1'de, tüvenan kömürün kısa analiz sonucu Çizelge 2'de ve 420 µm altı numunenin yaş elek analizi sonucu ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yoğunluk değerleri [5]

Ürün Adı	Yoğunluk (g/cm³)
Temiz kömür	1,22
Tüvenan Kömür	1,39
Marn	2,07
Pirit	5,20

Çizelge 2. 0-18 mm Lavvar tüvenan kömürün kısa analiz sonuçları [5]

Kömür Analizleri	Orijinal Kömür	Havada Kuru Kömür	Kuru Kömür
Nem (%)	13,58	6,28	-----
Kül (%)	31,97	34,67	36,99
Uçucu Madde + Sabit Karbon (%)	54,45	59,05	63,01
Yanıcı Kükürt (%)	1,14	1,24	1,32
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3637	3944	4208

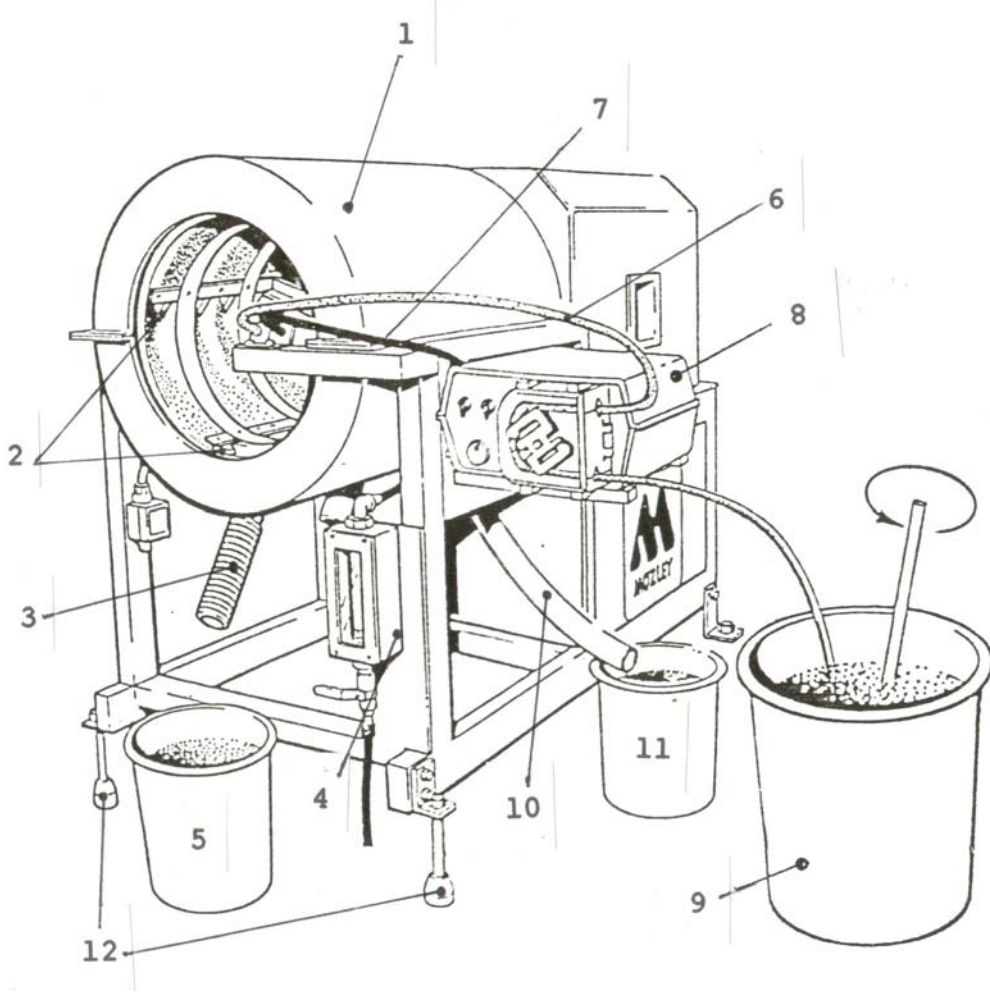
Çizelge 3. Deneysel numunesinin yaş elek analizi sonuçları [5]

Elek Açıklığı (mikron)	Ağırlık (%)	Kümülatif	
		Elekaltı (%)	Eleküstü (%)
-420 +297	13,24	-----	13,24
-297 +210	18,45	86,76	31,69
-210 +149	13,22	68,31	44,91
-149 +105	11,22	55,09	56,13
-105 +74	7,11	43,87	63,24
-74 +53	4,45	36,76	67,69
-53	32,31	32,31	-----

II.2. Metot

MGS; laboratuvar, pilot ve endüstriyel boyutta sıvı süspansiyon içindeki farklı özgül ağırlıklı minerallerin sürekli ayırımında kullanılan bir gravite ayırıcısıdır. Ayırma tane iriliğinin 1 mikrona kadar indiği ve çok ince taneler için de etkin ayırmalar yapabildiği yapılan çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir [7-9].

MGS saat yönünde dönen, çok az konik şekilli, bir eksen üzerinde sinüzoidal titreşim yapan ve bir tarafı açık olan tamburdan oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. MGS 'nin genel görünüşü

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| 1. Tambur | 7. Yıkama suyu hortumu |
| 2. Sıyırma pabuçları | 8. Peristaltik pompa |
| 3. Konsantre çıkışı | 9. Karıştırma kovası |
| 4. Yıkama suyu debimetresi | 10. Artık çıkışı |
| 5. Konsantre kovası | 11. Artık kovası |
| 6. Besleme hortumu | 12. Eğim ayar vidaları |

Besleme tambur içersine orta kısmında bulunan delikli halkalar aracılığı ile yapılmaktadır. Yıkama suyu da benzer şekilde tamburun konsantre kısmına yakın bir yerinden delikli halkalar yardımıyla tambur içersine verilmektedir. Tambur içersinde tambur ile aynı yönde dönen fakat hızı tamburun hızından biraz daha fazla olan sıyırıcı pabuçlar bulunmaktadır.

Çalışma sırasında tamburun hareketiyle oluşan merkezkaç kuvvetinin etkisiyle, ağır olan taneler tambur yüzeyine daha fazla yapışmakta ve periyodik olarak yapılan titreşim ile bu taneler sıyırma pabuçları yardımıyla konsantre kısmına doğru itilmektedir. Besleme malzemesini konsantre çıkışına doğru iten bu kuvvetlerin yanı sıra, birde eğim açısı ile aynı yönde etki eden ve daha hafif olan taneleri artık kenarına doğru iten yıkama suyu akışı vardır.

MGS ile yapılan deneylerde, kullanılan ürüne göre konsantre kısmı değiştirilmektedir. Örneğin; Kromit cevherinin zenginleştirilmesinde aletin konsantre kısmı açık olan taraftaki ve yoğun olan tanelerin alındığı ön kısımdır. *Fakat kömür gibi bir ürün ile çalışıldığında, konsantre kısmı olarak aletin arka tarafındaki ve hafif olan tanelerin alındığı yer kabul edilir.*

Deneylerde kullanılan laboratuvar ölçekli MGS'nin genel çalışma değişkenleri Çizelge 4'deki gibidir.

Çizelge 4. MGS'nin genel çalışma değişkenleri [6]

Çalışma Değişkenleri	Değişim Aralıkları
Kapasite (kuru bazda)	0,2 ton/saat (ağır mineraller) 0,6 ton/saat (kömür)
Besleme boyutu	1-500 mikron
Pülp yoğunluğu	%10-50 ağırlıkça
Tambur hızı	100-280 devir/dakika
Frekans	4,0 – 4,8 – 5,7 salınım/saniye
Genlik	10 – 15 – 20 mm
Eğim açısı	0-9 derece
Yıkama suyu miktarı	0-10 litre/dakika

MGS ile yapılan çalışmada, GLİ Tunçbilek 0-18 mm Lavvar tüvenan kömürünün kül ve piritik kükürt içeriğinin azaltılarak kalite yükseltilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla -420 mikron boyutundaki kömürün en iyi zenginleştirilme şartlarını belirlemek için tambur hızı, tambur eğim açısı, yıkama suyu miktarı, genlik ve frekans gibi çalışma değişkenleri denenmiştir. Her deney sonunda Konsantre-1, Konsantre-2 ve Artık olmak üzere üç ürün alınmıştır.

Besleme süresince aletin artık kısmından toplanmış olan düşük yoğunluklu katıları (temiz kömür) içeren ürüne KONSANTRE-1, yine bu kısımdan yıkama süresince alınmış düşük yoğunluklu katıları içeren ürüne KONSANTRE-2, besleme ile yıkama süresince aletin konsantre çıkışından toplanmış ve deney tamamlandıktan sonra MGS'den yıkanarak alınmış olan yüksek yoğunluklu katıları içeren ürüne de ARTIK adı verilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

III.1. Tambur Hızının Etkisi

En iyi tambur hızını belirlemek amacıyla Çizelge 4'de verilen tambur hızları denenmiştir. Tambur hızının 250 devir/dakika'nın altında olduğu durumlarda kömürden daha yoğun olan pirit, şist ve marn gibi inorganik maddeler yeterince merkezkaç kuvvetine sahip olamamasından dolayı ve yıkama suyunun da etkisiyle artık kısmına gitmektedir. Yapılan deneysel çalışmalardan maksimum tambur hızının ayırma için daha uygun olacağı görülmüş ve bu nedenle bundan sonraki deneylerde tambur hızı 250 devir/dakika olarak kullanılmıştır.

III.2. Tambur Eğiminin Etkisi

En iyi tambur eğimini belirlemek amacıyla Çizelge 4'de verilen tambur eğim açıları denenmiştir. Tambur eğim açısının artması ile temiz kömürün hem kül içeriğinin hem de yüzdesinin arttığı gözlenmiştir. Bu artışın nedeni, tambur eğiminin artması ile aşağıya doğru olan yıkama suyu akış hızının artması ve bunun sonucu olarak da tanelerin tambur içinde kalış sürelerinin azalmasıdır. Bu kalış süresindeki azalış, tambur içindeki ağır (pirit, şist ve marn gibi) ve hafif (kömür) taneler arasındaki ayırma zamanını azaltmaktadır. Bunun sonucu olarak kömüre göre daha yoğun olan tanelerin temiz kömür içersine gitme şansı artmakta ve sonuç olarak temiz kömürün kül içeriği yükselmektedir. Bu nedenle bundan sonraki deneylerde tambur eğim açısı sıfır derece olarak kullanılmıştır.

III.3. Yıkama Suyunun Etkisi

En iyi yıkama suyu miktarını belirlemek amacıyla yapılan deneylerde aşağıdaki çalışma şartları kullanılmış ve elde edilen deney sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir.

Tambur hızı	: 250 devir/dakika
Tambur eğim açısı	: 0 derece
Genlik	: 15 mm
Frekans	: 4,8 salınım/saniye
Numune ağırlığı	: 510 gram
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Çizelge 5. Yıkama suyu miktarına ait deney sonuçları

Yıkama Suyu Miktarı Litre/dakika	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	A.I.D (kcal/kg)	Yanıcı Kükürt (%)
1,5	Konsantre-1	40,12	24,66	5268	1,28
	Konsantre-2	45,77	38,72	4116	0,98
	Artık	14,11	66,45	1492	2,54
2,0	Konsantre-1	49,66	26,24	5148	1,23
	Konsantre-2	38,03	41,65	3815	1,00
	Artık	12,31	65,98	1630	2,67
3,0	Konsantre-1	46,46	26,76	5096	1,20
	Konsantre-2	46,17	43,46	3698	1,03
	Artık	7,37	60,87	1805	3,89

Çizelge 5 incelendiğinde, yıkama suyu miktarının artması ile temiz kömürün hem kül içeriğinin hem de yüzdesinin arttığı gözlenmiştir. Bu artışın nedeni, yıkama suyu miktarının artması ile aşağıya doğru olan yıkama suyu akış hızının artmasıdır. Bunun sonucu olarak daha fazla besleme malzemesi aletin artık kısmına (temiz kömür içersine) doğru taşınmaktadır. Bu durum yukarıda ifade edildiği gibi temiz kömürün kül içeriğinin ve yüzdesinin artmasına sebep olmaktadır.

III.4.Genliğin Etkisi

En iyi genliği belirlemek amacıyla yapılan deneylerde aşağıdaki çalışma şartları kullanılmış ve elde edilen deney sonuçları Çizelge 6 ve Çizelge 7’de gösterilmiştir.

Tambur hızı	: 250 devir/dakika
Tambur eğim açısı	: 0 derece
Yıkama suyu	: 1.5 -2 litre/dakika
Frekans	: 4.8 salınım/saniye
Numune ağırlığı	: 510 gram
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Çizelge 6. Genlik değişimine ait deney sonuçları (1,5 litre/dakika)

Genlik	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	A.I.D (kcal/kg)	Yanıcı Kükürt (%)
10	Konsantre-1	39,42	22,79	5416	1,19
	Konsantre-2	39,73	35,14	4404	1,06
	Artık	20,85	67,36	1551	2,07
15	Konsantre-1	40,12	24,66	5268	1,28
	Konsantre-2	45,77	38,72	4116	0,98
	Artık	14,11	66,45	1492	2,54
20	Konsantre-1	46,47	27,15	5069	1,18
	Konsantre-2	45,16	43,09	3694	1,04
	Artık	8,37	58,67	2201	3,60

Çizelge 7. Genlik değişimine ait deney sonuçları (2 litre/dakika)

Genlik	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	A.I.D (kcal/kg)	Yanıcı Kükürt (%)
10	Konsantre-1	41,97	22,88	5416	1,15
	Konsantre-2	38,34	38,38	4055	0,87
	Artık	19,69	64,36	1931	2,56
15	Konsantre-1	49,66	26,24	5148	1,23
	Konsantre-2	38,03	41,65	3815	1,00
	Artık	12,31	65,98	1630	2,67
20	Konsantre-1	51,23	27,73	5016	1,16
	Konsantre-2	38,12	43,17	3688	1,01
	Artık	10,65	59,39	2183	3,2

Çizelge 6 ve Çizelge 7'ye göre, genliğin artması ile temiz kömürün hem kül içeriğinin hem de yüzdesinin arttığı gözlenmiştir. Uzun genlik tarafından yaratılan kesme kuvveti ağır tanelerin sahip olduğu merkezkaç kuvvetini yenmekte ve bunun sonucu olarak ta tambur yüzeyindeki ağır tanelerin oluşturduğu tabaka tambur yüzeyinden ayrılarak aletin artık kısmına doğru taşınmaktadır. Bu durum yukarıda ifade edildiği gibi temiz kömürün kül içeriğinin ve yüzdesinin artmasına sebep olmaktadır.

III.5. Frekansın Etkisi

En iyi frekansı belirlemek amacıyla yapılan deneylerde aşağıdaki çalışma şartları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 8'da gösterilmiştir.

Tambur hızı	: 250 devir/dakika
Tambur eğim açısı	: 0 derece
Genlik	: 10 mm
Yıkama suyu	: 1,5 litre/dakika
Numune ağırlığı	: 510 gram
Pülp yüzdesi	: %30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Çizelge 8. Frekans değişimine ait deney sonuçları

Frekans	Ürünler	Ağırlık (%)	Kül (%)	A.I.D. (kcal/kg)	Yanıcı Kükürt (%)
4,0	Konsantre-1	30,49	22,17	5531	1,23
	Konsantre-2	41,91	31,71	4680	1,07
	Artık	27,60	61,39	2030	1,80
4,8	Konsantre-1	39,42	22,79	5416	1,19
	Konsantre-2	39,73	35,14	4404	1,06
	Artık	20,85	67,36	1550	2,07
5,7	Konsantre-1	48,69	24,67	5279	1,30
	Konsantre-2	36,65	40,82	3895	1,00
	Artık	14,66	68,31	1433	2,17

Çizelge 8, frekansın artması ile temiz kömürün hem kül içeriğinin hem de yüzdesinin arttığını göstermiştir. Tambur yüzeyindeki ağır tanelerin oluşturduğu tabaka, yüksek frekans tarafından yaratılan kesme kuvvetinden dolayı sahip olunan merkezkaç kuvvetini yenmekte ve tambur yüzeyinden ayrılarak aletin artık kısmına doğru taşınmaktadır.

IV. SONUÇLAR

1. GLİ Tunçbilek 0-18 mm Lavvar tüvenan kömürünün kül ve piritik kükürt içeriğinin azaltılarak kalite yükseltilmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre MGS'nin başarıyla kullanılabilceği görülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılan tambur hızı, tambur eğim açısı, yıkama suyu miktarı, genlik ve frekans gibi aletsel çalışma değişkenlerinin yıkanmış kömürün kül ve piritik kükürt içeriği üzerine etkisi belirlenmiştir.
2. Kömürün zenginleştirilme deneyleri sonucunda yanıcı kükürt miktarı %1,32'den %0,87'e azaltılmış; kül miktarı %36,99'dan %22,17'e indirilmiş ve kalori değeri ise 4208 kcal/kg'dan 5531 kcal/kg'a yükseltilmiştir.
3. MGS ile yapılan zenginleştirme deneylerinin sonuçlarına göre, zenginleştirme işleminde etkili parametreler sırasıyla tambur hızı, tambur eğim açısı, frekans, genlik ve yıkama suyu miktarı şeklindedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] G. Özbayoğlu, "Desulphurization of lignites by high gradient magnetic separation", I. Mineral Processing Symposium, 1986, Volume II, pp. 636-645.
- [2] C.E. Capes, A.E. McIlhiney, A.F. Sirianni and I.E. Puddington, "Bacterial oxidation", The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, 1973, Canada, pp. 4.
- [3] G. Önal, "Linyit kömürlerinin kükürttten arındırılması", Türkiye 1. Kömür Kongresi, pp. 651-658, 1978.
- [4] E. Nokoman, "Kömür", Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Mim. Fak., ss323, 1985.

- [5] K. Bilir, “Kömürden piritik kükürdün uzaklaştırılması, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1993.
- [6] Operating Manuel, Multi Gravity Separator, Cornwall, U.K.
- [7] İ. Yıldırım, G. Ateşok ve M. Çelik, “Laboratuvar-Pilot tip multi gravite cihazı ile kömür-su karışımları için süper düşük küllü kömür üretimi”, Türkiye 14. Madencilik Kongresi, ss. 443-448, 1995.
- [8] T. Çiçek and İ. Cöcen, “Applicability of Mozley multi-gravity separator (MGS) to fine chromite tailings of Turkish chromite concentrating plants”, *Mineral Eng.*, Vol. 15, pp. 91-93, 2002.
- [9] T. Çiçek, İ. Cöcen, V.T. Engin and H. Cengizler, “An efficient process for recovery of fine from tailings of coal washing plants”, *Energy Sources*, Part A:30, Vol. 16, pp. 1716-1728, 2008.