



**İNCE KÖMÜRLERİN TEMİZLENMESİNDE KÖPÜK FLOTASYONU
VE AĞIR ORTAM SİKLONLARININ ENTEGRASYONU**
**(AN INTEGRATION OF FROTH FLOTATION AND DENSE MEDIUM
CYCLONING FOR FINE COAL CLEANING)**

Haluk ÇELİK*

ÖZET/ABSTRACT

Bu araştırmada, Tunçbilek Lavvarı ağır ortam siklonu devresinin alt ve üst akımlarına ait süzme-yıkama elekleri altı ürünleri manyetik ayırıcıya gönderilmeden önce flotasyona tabi tutulmuştur. Burada amaç; manyetik ayırıcıya giden malzemedeki manyetik olmayan fraksiyonun miktarının azaltılarak manyetik ayırıcının geri kazanım oranının yükseltilmesi ve süzme-yıkama elekleri altına geçen malzemedeki ince kömürün temiz kömür olarak kazanılması olarak özetlenebilir. Sonuçlar göstermektedir ki, ağır ortam siklon devresi süzme-yıkama elekleri altı ürünleri flotasyona tabi tutulduğunda, % 6.7 kül ve yaklaşık 6300 kcal/kg ısı değere sahip son derece temiz kömür elde edilebilmektedir. Aynı zamanda, şu anda mevcut lavvarda manyetik ayırıcıya gönderilen üründe manyetik olmayan ürün oranı % 18 iken, flotasyon sonundaki artıkta bu oran % 7.8'e düşürülmüştür. Bu durumda manyetik ayırıcıda oluşan manyetit kayıpları da büyük oranda azalacaktır.

In this study, the undersize products of the drain-wash screens for over and under flows of the heavy medium cyclone circuit, Tunçbilek Coal Preparation Plant were subjected to froth flotation before they were fed to magnetic separator. Purposes of the investigation were summarized as increasing the recovery rate of magnetic separator by decreasing the amount of non-magnetics in the feed to the magnetic separator and recovering the fine coal as a clean product from the drain-wash screen underflows. The results show that, floating the undersize products of the drain-wash screens of the heavy medium cyclone circuit produces an extremely clean coal product with 6.7 % ash, having a calorific value of about 6300 kcal/kg. In addition, the non-magnetics content of the material that would go to the magnetic separators decreases to 7.8 % from 18 %. This should decrease the magnetite losses in the magnetic separation circuit substantially.

ANAHTAR KELİMELER/KEY WORDS

Kömür flotasyonu, Ağır ortam ayırması, Manyetik ayırıcılar
Coal flotation, Heavy medium separation, Magnetic separators

* Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksekokulu, Soma, MANİSA

1. GİRİŞ

Kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılan en yaygın yöntem, kömür ile mineral maddeler arasındaki özgül ağırlık farkına dayalı yoğunluğa göre zenginleştirme yöntemidir. Bu yöntemde ayırma ortamı su ya da su ile ağır bir katının karışımından oluşan ağır bir ortam olmaktadır. Giderek popüleritesi artan diğer bir yaygın yöntem, kömür madenciliğinde artan mekanize kazı yöntemleri nedeniyle, miktarları yükselen çok ince kömürlerin zenginleştirilmesinde uygulanan flotasyondur.

Ağır ortam yöntemiyle zenginleştirilecek kömürün tane boyutu genel olarak, statik ayırıcılarda 6 mm' den iri ve dinamik ayırıcılarda 6 mm'den ince olması istenir. Ağır ortam malzemesi olarak genelde tane boyutu yaklaşık olarak 45 mikronun altında olan manyetit kullanılmaktadır. İşletme giderlerinin yükselmemesi açısından manyetitin ağır ortam ayırıcısı ürünleri olan temiz kömür ve artık ürünlerinden geri kazanılması gerekmektedir. Bunun sağlanması için bu ürünler bir seri elek üzerinden geçirilmektedir. Bu elekler yay elek ve süzme-yıkama elekleri olup, genelde yay elek altına geçen ürün çok yüksek oranlarda manyetit içerdiğinden devreye geri beslenmektedir. Ürünler üzerine yapışmış olan manyetit taneleri ise yıkama eleği üzerinde basınçlı su ile yıkanmakta, bu esnada manyetit ile birlikte, ürünler içerisinde bulunan ince malzemeler de elek altına geçmektedir. Yıkama eleği altı bu malzeme manyetik ayırıcılardan geçirilerek, geri kazanılan manyetit devreye beslenmektedir.

Yukarıda değinilen işlemler esnasında yıkama elekleri ve manyetik ayırıcılarda manyetit kayıpları oluşmakta ve büyük kapasiteli kömür zenginleştirme tesislerinde manyetit kaybı işletme giderlerini önemli derecede arttırmaktadır. Ağır ortam olarak ferro-silis kullanılan lavvarlarda ağır ortam maliyetinin işletme giderlerinin % 8-39'u olduğu Dardis ve yedi tesis üzerinde yapılan çalışmalarda tüvenan kömür başına manyetit kaybının 0.27-0.90 kg/ton değerlerinde değiştiği belirtilmektedir (Dardis, 1989; Deurbrouck vd., 1972). Statik ağır ortam ayırıcılarında 0.1-0.2 kg/ton ve dinamik ağır ortam ayırıcılarında 0.3-0.6 kg/ton olan toplam ağır ortam kaybının $\frac{3}{4}$ 'ü manyetik ayırıcılardan kaynaklanmaktadır (Srinivasa, 1981).

İdeal şartlar altında manyetik ayırıcılar ile ağır ortamın % 99.8'i geri kazanılmaktadır. Ancak, manyetik ayırıcıya beslenen malzemedeki manyetit içeriği 0.1 kg/litre den az ve manyetik olmayan ürün miktarı manyetik miktardan fazla ise geri kazanım oranı düşmektedir (Burt, 1984).

Polat vd. tarafından bitümlü kömürlerle yapılan bir çalışmada ise ağır ortam siklonları ile flotasyonun yönteminin bir kombinasyonu kullanılmıştır (Polat vd., 1993). Bu sayede, manyetitin geri kazanım oranının yükseltilmesi ve aynı zamanda sistemden ilave temiz kömür kazanılması amaçlanmıştır. Bu yöntemde yay elek ve süzme-yıkama elekleri altına geçen manyetit ile kömür karışımından kömür flotasyonla kazanılırken, manyetik ayırıcının yükü azaltılmakta ve dolayısıyla manyetik ayırıcıda manyetitin geri kazanım oranı yükseltilmektedir. Bunun yanında kullanılan flotasyon yöntemi ile elek altı ürünlerinden temiz kömürün eldesi mümkün olmaktadır.

Polat vd. tarafından bitümlü kömürlerle yapılmış olan bu araştırma, bu çalışmada flotasyon özellikleri farklı olan linyitlere uyarlanmıştır (Polat vd., 1993). Bu amaçla, Tunçbilek Lavvarı ağır ortam siklon devresi, yay ve süzme-yıkama elekleri altına geçen ürünlerden kömürü flotasyon ile yüzdürüp, manyetik malzemedden ayırmak suretiyle manyetik ayırıcının yükünün ve dolayısı ile manyetit kayıplarının azaltılması için en uygun şartlar belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda, flotasyon işlemiyle elek altı ürünlerinden kömür yüzdürülüp temiz kömür elde edilmiştir. Bu çalışmada belirlenen en uygun koşullar için Tunçbilek Lavvarı örnek alınarak maliyet analizi yapılmıştır.

Sonuç olarak, lavvardaki mevcut sistemde süzme-yıkama elekleri altına geçen ve manyetik ayırıcıya gönderilen üründe manyetik olmayan ürün oranı % 18 iken, bu üründeki

ince kömürü flotasyon yöntemi ile yüzdürüp artığı ayırıcıya gönderdiğimizde oran % 7.8'e düşürülmektedir. Bu durumda manyetik ayırıcının yükü azaltılmış olmakta ve dolayısıyla ayırıcıda geri kazanılacak olan manyetit miktarında artış sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte, lavvardaki mevcut sistemde elek altına geçen kömür 9.51 t/h miktarında ve kuru kömür bazında % 39 kül oranı ve yaklaşık 4000 kcal/kg ısı değerinde elde edilirken, flotasyon sonunda 5.83 t/h miktarında ve % 6.7 kül oranı ve 6300 kcal/kg ısı değerinde (kuru bazda) temiz kömür konsantresi elde edilmiştir.

Flotasyon deneylerini tamamlanmasından sonra, en uygun flotasyon parametrelerinde elde edilen veriler kullanılarak maliyet hesaplanmıştır. Son olarak lavvardaki mevcut sistem ve bu sisteme flotasyon entegre edildiğinde elde edilen veriler kıyaslanmış ve karşılaştırmalı maliyet analizi yapılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Flotasyon Besleme Malları

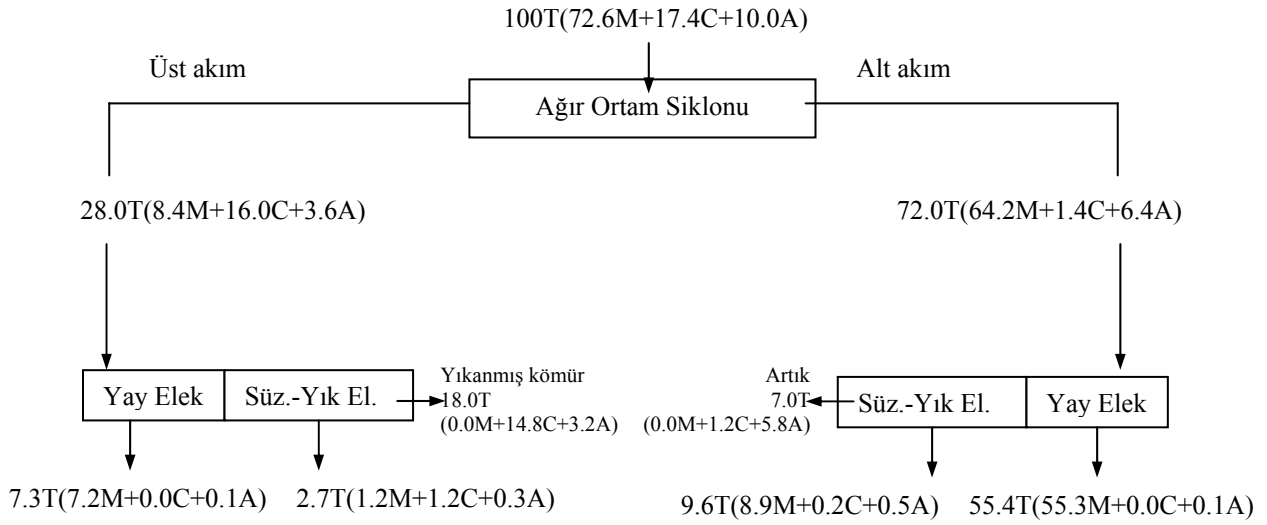
Çalışmalarda kullanılan numuneler Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Tunçbilek Lavvarı'ndan sağlanmıştır. Lavvara beslenen tüvenan kömür ve ağır ortam siklon (A.O.S.) devresi üst ve alt akımları ve bu akımlara ait yay ve süzme-yıkama elekleri altı ürünlerinden numuneler alınmıştır.

Linyit kömürünün en uygun flotasyon parametrelerinin belirlenmesi maksadıyla öncelikle tüvenan kömür ile flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında tüvenan kömüre belirli oranlarda manyetit karıştırılarak simüle karışımlar elde edilmiş ve flotasyon ile kömürün manyetitten ayrılma durumu belirlenmiştir. Çalışmaların bu döneminde kullanılan tüvenan kömür havada kuru bazda % 9.27 nem, % 43.36 kül ve 2933 kcal/kg alt ısı değerine sahiptir. Manyetitin tane boyutu % 80'i-30 µm'dir.

Tüvenan kömür ile ön çalışmaların tamamlanmasından sonra, ağır ortam siklon devresinden alınan numuneler ile araştırmalara geçilmiştir. Bu numunelerin alımı sırasında akış miktarı tespit edilmiştir. Malzemelerin % katı oranları ve Davis tüpü yardımı ile manyetit oranları saptanıp, tüpün manyetik olmayan ürünü kullanılarak da numunelerin kül oranları belirlenmiştir. Şekil 1'de manyetit, yanıcı madde ve külün siklon devresindeki dağılımı gösterilmiştir. Şekil 1'den görüldüğü üzere ağır ortam siklonuna beslenen katı malzeme % 72.6 manyetit ve % 27.4 kömür (gang dahil) içermektedir. Siklona beslenen kömür ve yanıcı maddenin yaklaşık olarak % 8'i ve manyetitin % 14'ü her iki süzme-yıkama elekleri altından alınmaktadır.

2.2. Reaktifler

Gerek kolay bulunabilir olması ve gerekse ucuz olmasından dolayı gazyağı flotasyon deneyleri süresince kollektör olarak ve MERCK marka (104-76-7) isooktanol köpürtücü reaktif olarak seçilmiştir. Flotasyon deneylerinde ayrıca, kömürün selektif yüzdürülebilirliğinin arttırılması maksadıyla pluronik L-64, P-104 ve 10R-8 olmak üzere üç tip polimer kullanılmıştır. Ticari adı "Pluronik" olan PEO/PPO/PEO tipi blok kopolimerler, su içinde çözülebilen ve propilen oksit zincirine, polietilen oksit zincirinin bağlanmasıyla oluşur. Pluronik L-64 ve Pluronik P-104 bu gruba giren polimerlerdir. Ticari adı "Pluronik-R" olan PPO/PEO/PPO tipi blok kopolimerler ise yağ içerisinde çözülebilen ve etilen oksit zincirine polipropilen oksit zincirinin bağlanmasıyla oluşur. Çalışmada kullanılan Pluronik 10R-8 bu gruba girmektedir.



M:Manyetit C:Yanıcı Madde A:Kül T:M+C+A
Şekil 1. Manyetit, yanıcı madde ve külün siklon devresindeki dağılımı

2.3. Yöntem

Tüvenan kömür ve kömür+manyetit karışımları ile gerçekleştirilen flotasyon deneylerinde öncelikle numune hazırlama işlemleri ile -4.76 mm'ye indirilen kömür, bilyalı değirmende 90 d/d hızda, süzme-yıkama elekleri altı boyutu olan -0.5 mm'ye öğütülmüştür.

Tüvenan kömürle yapılan flotasyon deneylerinde öncelikle kömürün yüzdürülebilirliği gazyağı+köpürtücü ile araştırılmış daha sonra polimerler gazyağı+köpürtücüye ilave olarak selüle eklenmiştir. Polimerlerin selüle ilavesi yağdan önce ve yağla birlikte olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilmiş olup, yağda çözünebilir 10R-8 polimeri aynı zamanda gazyağında çözündürülerek de denenmiştir. Bu deneylerde pülp önce 3 dakika kömür tanelerinin dağılması için kondisyonlanmış, daha sonra sırasıyla polimer, gazyağı ve köpürtücü selüle ilave edilmiştir. Her reaktif ilavesinden sonra 3 dakika kondisyonlama süresi geçirilmiş ve 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 ve 8.0 dakika sonunda köpük toplanmıştır.

Daha sonra kömür+manyetit deneylerine geçilmiş ve öğütülmüş olan kömüre ağırlığının %1, 2, 5, 10, 25, 50, 75 ve 100'ü oranında manyetit karıştırılarak, manyetit kömür flotasyonuna olan etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerde hesaplanan miktarda manyetit önce selüle beslenmiş ve pülp 3 dakika manyetit tanelerinin dağılması için kondisyonlanmıştır. Sonrasında öğütülmüş olan kömür numunesi selüle beslenmiştir.

Tüvenan kömür ile gerçekleştirilen ön flotasyon deneyleri ile kömürün yüzdürülebilme durumu, en uygun polimer tipi (L-64) ve ilave şekli (yağla birlikte emülsifiye edilerek) ortaya konduktan sonra, ağır ortam siklon devresi alt ve üst akıma ait süzme-yıkama elekleri altı ürünleri ile flotasyon deneylerine başlanmıştır. Yay elek altı ürünlerinde kömür oranı oldukça düşük tespit edildiğinden flotasyona gerek duyulmamıştır. Çizelge 1'de siklon üst ve alt akımına ait süzme-yıkama elekleri altı ürünleri ile gerçekleştirilen temel flotasyon deneylerinin şartları ve denenen parametreler verilmiştir. Elek altı ürünleri için optimum temel flotasyon parametreleri belirlendikten sonra, bu kademedede elde edilen ön konsantreye temizleme ve artığa da süpürme flotasyonu uygulanmıştır. Çizelge 2'de temizleme ve süpürme flotasyonu kademelerinin flotasyon deneyleri şartları ve denenen parametreler verilmiştir.

Temel ve temizleme-süpürme flotasyonları öncelikle polimersiz gerçekleştirilip en uygun flotasyon parametreleri belirlenmiş, sonrasında belirlenen bu flotasyon şartları sabit tutulmak suretiyle en uygun polimer (L-64) miktarı saptanmıştır.

Çizelge 1. A.O.S. devresi üst ve alt akımına ait süzme-yıkama eleği altı ürünlerinin temel flotasyonu şartları ve denenen parametreler

Makine Tipi	:	Denver tip flotasyon makinesi
Selül Hacmi (litre):		2.5
pH	:	~7,6 (doğal)
Hava Miktarı	:	Doğal
Köpük Top. Zamanı (dak.):		0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0
Kollektör (kg/ton):		Gazyağı:0.64, 1.28, 2.56, 4.8, 9.6, 19.2, 38,4
Köpürtücü (kg/ton):		Isooktanol: 0.85, 1.7, 3.4, 6.8, 13.6
Karıştırma Hızı (rpm):		1000, 1250, 1500, 2000
%Kati (ağırlıkça):		2.33, 5.00, 8.77, 10.00, 15.00
Polimer (gr/ton):		L-64:58, 580, 5800

Çizelge 2. A.O.S. devresi üst ve alt akımına ait süzme-yıkama eleği altı ürünlerinin temizleme ve süpürme flotasyonları şartları ve denenen parametreler

Makine Tipi	:	Denver tip flotasyon makinesi
Selül Hacmi (litre):		2.5
pH	:	~7,6 (doğal)
Hava Miktarı	:	Doğal
Karıştırma Hızı (rpm):		1500
Köpük Top. Zamanı (dak.):		0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0
Kollektör (kg/ton):		Gazyağı:2.56, 4.8, 9.6
Köpürtücü (kg/ton):		Isooktanol: 1.7, 3.4, 6.8
Polimer (gr/ton):		L-64:30, 58, 580

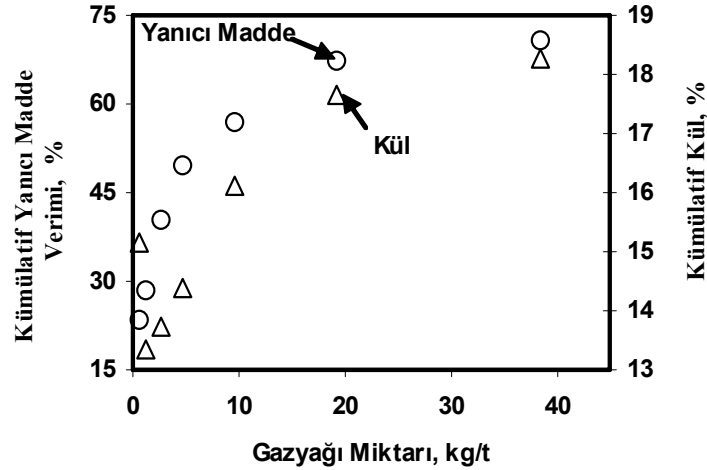
Simule kömür+manyetit deneylerinde ve tesis elek altı ürünleri ile yapılan flotasyon deneylerinde ürünlerin manyetit içerikleri Davis tüpü ile saptanmış olup, tüpün manyetik olmayan ürünü kullanılarak kül analizleri gerçekleştirilmiştir (Çelik, 2002).

3. BULGULAR

3.1. Tüvenan Kömür ve Kömür+Manyetit Karışımının Flotasyon Deneyleri Sonuçları

Şekil 2’de gazyağı miktarının değişiminin 4 dakika flotasyon süresi sonunda kümülatif yanıcı madde ve kümülatif kül etkisi birlikte verilmiştir. Görüldüğü üzere yağ miktarındaki artışa paralel olarak yanıcı madde verimi ve konsantrenin kül oranında artış kaydedilmektedir. 9.60 kg/t yağ miktarı ve daha düşük miktarlarda yanıcı madde verimi, kullanılan kollektör miktarının yetersizliğinden dolayı % 60’ın altında kalmaktadır. 9.60 kg/t gazyağı miktarından daha fazla miktarlarda ise % 70’e yakın yanıcı madde verimi elde edilebilirken, paralelinde kümülatif kül oranında yükselme olmaktadır. Şekil 3’den de görüldüğü üzere 19.2 kg/t gaz yağı miktarından daha fazla yağ miktarında yanıcı madde veriminde çok önemli yükselme sağlanamazken, kül oranında artış gerçekleşmektedir. Sonuç olarak en uygun gazyağı miktarının 19.2 kg/t olduğu söylenebilir.

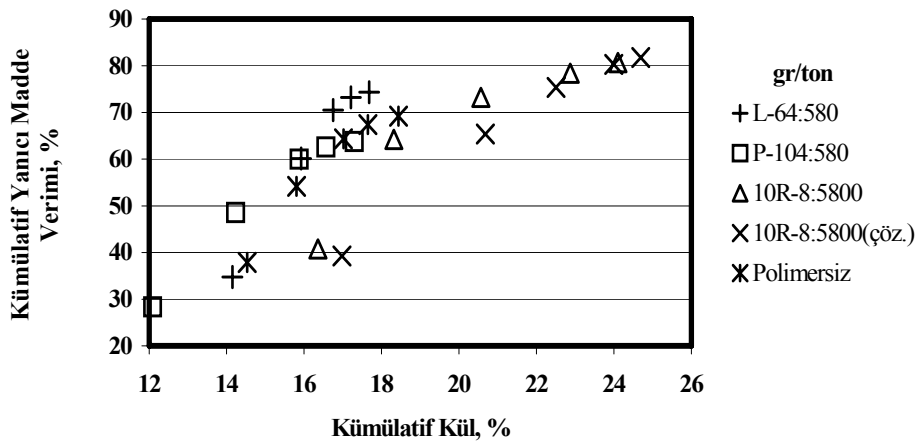
Tüvenan kömürün gazyağı+köpürtücü ile gerçekleştirilen flotasyon deneyleri ile en uygun yağ miktarının belirlenmesinden sonra, polimerin linyit flotasyonuna olan etkileri araştırılmıştır. Polimerlerin ilave şeklinin gazyağı ile birlikte emülsifiye edilerek yapılması gerektiği tespit edilmiş olup, polimersiz ve her üç polimer tipi için belirlenen en uygun sonuçlar karşılaştırmalı olarak Çizelge 3 ve Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 2. Gazyağı miktarının yanıcı madde kazanımı ve kümülatif küle etkisi

Çizelge 3. Tüvenan kömürün polimersiz ve polimer ilaveli flotasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Flotasyon Süresi: 4 dakika	Polimersiz	L-64 (580 g/t)	P-104 (580g/t)	10R-8 (5800 g/t)	
				Yağla Birlikte	Yağda Çözündürülerek
Yanıcı Madde Verimi, %	67,39	73,25	62,61	78,39	80,30
Kül Oranı, %	17,65	17,21	16,56	22,88	24,00

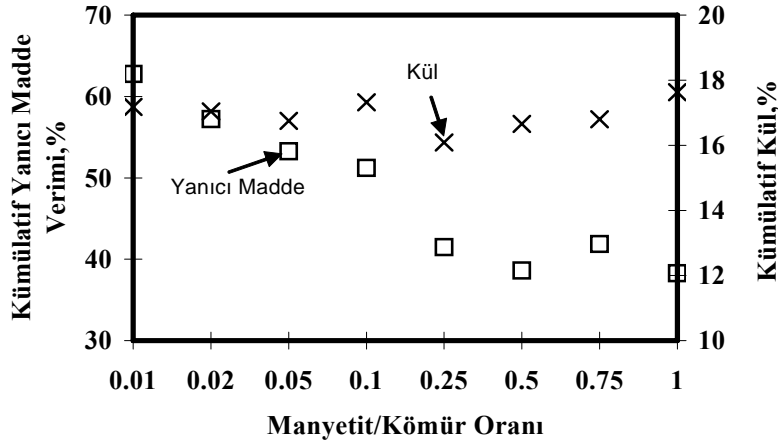


Şekil 3. Polimersiz ve polimer ilaveli flotasyonların yanıcı madde kazanımına karşın kümülatif kül oranları

Şekil 3’den görüldüğü üzere P-104 polimerinin flotasyon verimine bir katkısı yoktur. L-64 polimeri ise yanıcı madde veriminde polimersiz deneye göre yaklaşık olarak % 6 oranında artış gerçekleştirirken, konsantrenin kül oranında da azda olsa düşüş sağlanmıştır. 10R-8 polimerinin gerek yağla birlikte ilavesinde, gerekse yağda çözündürülüp ilavesinde yanıcı

madde veriminde yaklaşık % 11-13 oranında yükselme kaydedilmektedir. Ancak konsantrenin kül oranı da % 5-7 oranında artmıştır. Buradan flotasyon için en uygun polimerin L-64 olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4’de tüvenan kömüre belirli oranlarda manyetit karıştırılarak hazırlanan karışımların flotasyon deneyleri neticesinde elde edilen yanıcı madde verimleri ve elde edilen konsantrelerin kümülatif kül oranları verilmiştir. Görüldüğü üzere, karışımdaki manyetit oranı arttıkça yanıcı madde verimi azalmaktadır. Kül oranında ise artan manyetit oranı ile değişiklik gerçekleşmemektedir.



Şekil 4. Manyetit/kömür oranının yanıcı madde verimi ve küle etkisi

3.2. Süzme-Yıkama Eleklere Altı Ürünlerinin Flotasyon Deneyleri Sonuçları

Çizelge 1 ve Çizelge 2’de şartları ve denenen parametreleri gösterilen A.O.S. devresi üst ve alt akımlarına ait süzme-yıkama eleklere altı ürünlerinin temel, temizleme ve süpürme flotasyonlarında saptanan en uygun sonuçlar Çizelge 4’de gösterilmiştir.

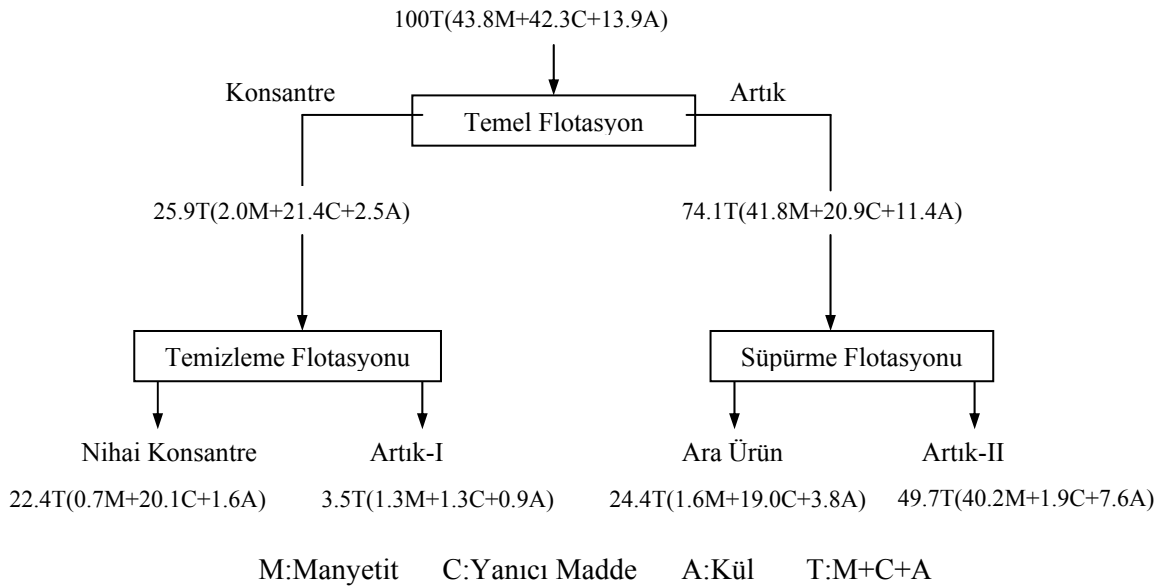
Çizelge 4. Temel, temizleme ve süpürme flotasyonlarında belirlenen en uygun flotasyon parametreleri

	Üst Akım Süzme-Yıkama Eleği Altı			Alt Akım Süzme-Yıkama Eleği Altı		
	Temel Fl.	Temiz. Fl.	Süpürme Fl.	Temel Fl.	Temiz. Fl.	Süpürme Fl.
Gazyağı, kg/ton	9,60	4,80	4,80	9,60	4,80	4,80
İsooktanol, kg/ton	6,80	3,40	3,40	3,40	3,40	1,70
Polimer (L-64), gr/ton	580,00	30,00	30,00	58,00	58,00	30,00
Karıştırma Hızı, d/d	1500			1500		
%Katı	2,33			8,77		
Flotasyon Süresi, dak.	8	8	8	8	8	8

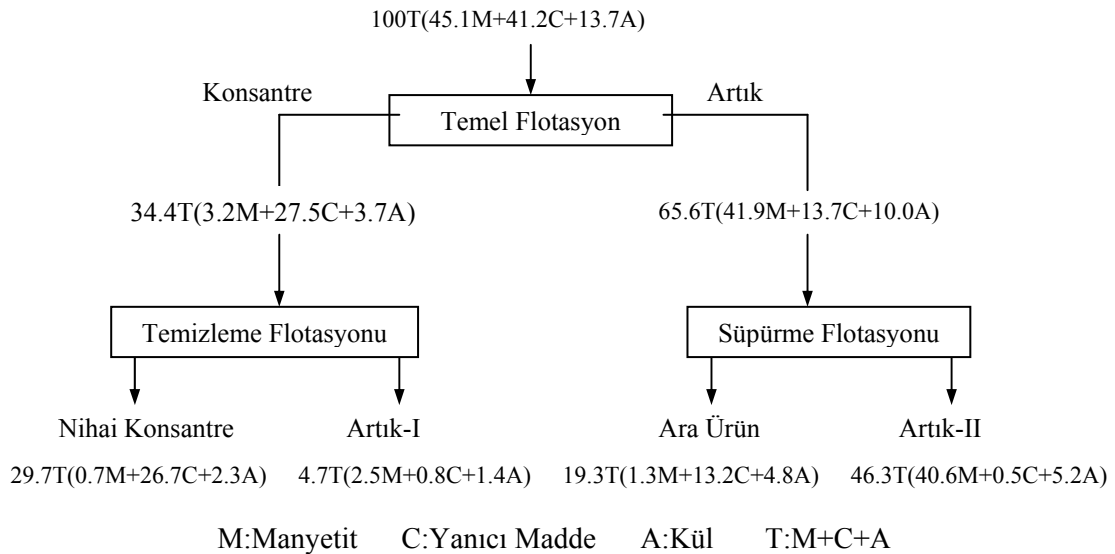
Süzme-yıkama eleklere altı ürünleri için önce temel ve temizleme-süpürme flotasyon kademelerinin en uygun parametreleri belirlenmiş, daha sonra L-64 polimeri belirlenen flotasyon parametrelerine ilave olarak uygulanmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6’da siklon üst akımına ait süzme-yıkama eleklere altı ürünlerinin polimersiz ve polimer ilaveli flotasyon deneyleri sonuçları ve Çizelge 5’de sonuçların karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 5’den görüldüğü üzere temel flotasyon kademesinde polimer kullanımı ile 8 dakika flotasyon sonunda yüzdürülen kömür ağırlığında % 14.2, yanıcı madde veriminde % 16.1 ilerleme sağlanmaktadır. Buna göre temel flotasyon kademesinde polimer kullanımının

faydalı olduğu söylenebilir. Temizleme flotasyonunda polimer kullanıldığında, temel flotasyon kademesinde elde edilen ön konsantrenin ağırlık olarak % 92.6'sı 8 dakika sonunda nihai konsantre olarak elde edilmektedir. Polimersiz temizleme flotasyonu için bu değer % 90.8'dir (Şekil 5 ve Şekil 6). Her iki durumda da nihai konsantrenin kül oranı yaklaşık % 7'dir. Nihai konsantrenin manyetit oranları ise polimerli ve polimersiz deneyler için sırasıyla % 2.4 ve % 3.1'dir. Bu sonuçlara göre temizleme flotasyonunda polimer kullanımının özellikle yanıcı madde kazanımı ve kömür ağırlığı açısından flotasyonu ilerlettiği sonucu çıkmaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6'dan hesaplanabileceği gibi temel flotasyon kademesinde elde edilen artıktaki yanıcı maddenin polimerli ve polimersiz flotasyonlar için sırasıyla % 96 ve % 90.9'u ara ürün olarak kazanılmaktadır. Elde edilen ara ürünün kül oranları ise yine sırasıyla % 26.7 ve % 16.7'dir. Buradan süpürme flotasyonunda polimer kullanıldığında yanıcı madde kazanımı açısından gerçekleşen olumlu sonucun, artan kül oranı nedeniyle ortadan kalktığı söylenebilir.



Şekil 5. Polimer ilavesiz flotasyon deneyinde manyetit, yanıcı madde ve külün dağılımı (A.O.S. üst akımı süzme-yıkama eleği altı ürünü)



Şekil 6. Polimer ilaveli flotasyon deneyinde manyetit, yanıcı madde ve külün dağılımı (A.O.S. üst akımı süzme-yıkama eleği altı ürünü)

Çizelge 5. A.O.S. üst akımı için polimersiz ve polimer ilaveli flotasyon deneyleri sonuçları

	%Kömür Ağırlığı	%Kül	%Manyetit Oranı	Isı Değeri (Kcal/kg)	%Yanıcı Madde Verimi	%Kül Dağılımı	%Manyetit Dağılımı
Polimersiz							
Temel Flot. (Konsantre)	42.6	10.5	7.7	6167	50.6	18.0	4.6
Temel Flot. (Artık)	57.4	35.3	56.4	4427	49.4	82.00	95.4
Temiz. Flot. (Nihai Kon.)	38.7	7.4	3.1	6320	47.5	11.5	1.6
Temiz. Flot. (Artık-I)	3.9	40.9	37.1	3404	3.1	6.5	3.0
Süpür. Flot. (Ara Ürün)	40.4	16.7	6.6	5902	44.9	27.3	3.7
Süpür. Flot. (Artık-II)	17.0	80.0	80.9	900	4.5	54.7	91.7
Polimer İlaveli							
Temel Flot. (Konsantre)	56.8	11.9	9.3	6052	66.7	27.0	7.1
Temel Flot. (Artık)	43.2	42.2	63.9	3390	33.3	73.0	92.9
Temiz. Flot. (Nihai Kon.)	52.6	7.9	2.4	6488	64.8	16.8	1.6
Temiz. Flot. (Artık-I)	4.2	63.6	53.2	2143	1.9	10.2	5.5
Süpür. Flot. (Ara Ürün)	32.7	26.7	6.7	5050	32.0	35.0	2.9
Süpür. Flot. (Artık-II)	10.5	91.2	87.7	803	1.3	38.0	90.0

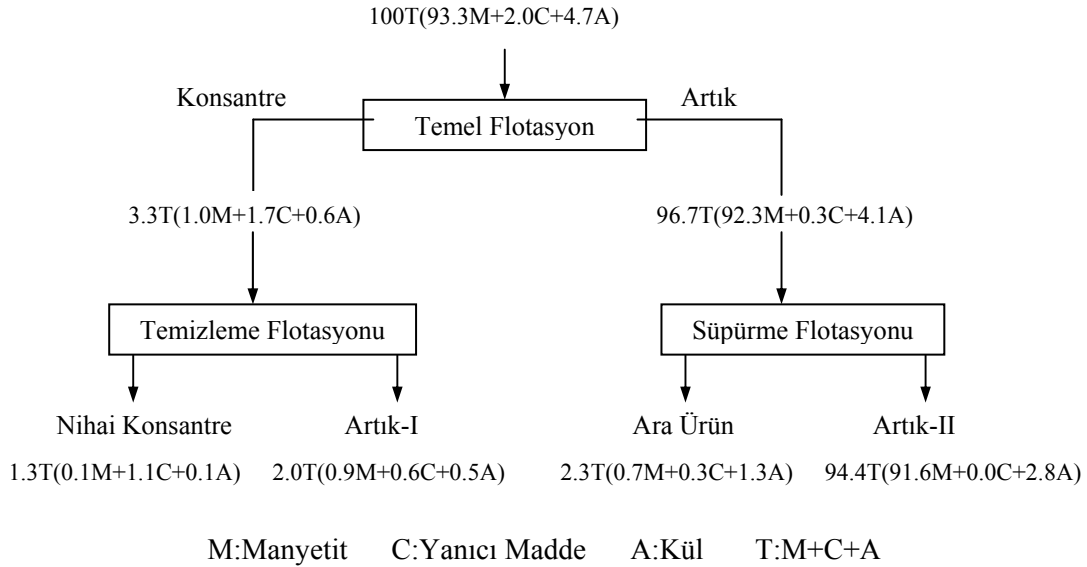
Şekil 7 ve Şekil 8'de siklon alt akımına ait süzme-yıkama elekleri altı ürünlerinin polimersiz ve polimer ilaveli flotasyon deneyleri sonuçları ve Çizelge 6'da sonuçların karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 6'dan görüldüğü üzere siklon alt akımına ait süzme-yıkama eleği altı ürünü için temel flotasyon kademesinde polimer kullanımı ile 8 dakika flotasyon sonunda yüzdürülen kömür ağırlığında % 2.8, yanıcı madde veriminde % 5 ilerleme sağlanmaktadır. Kül oranında % 3.1 ve konsantrenin manyetit oranında ise % 1.1 artış gerçekleşmektedir. Buna göre bu kademedeki polimer kullanımının uygun olmadığı sonucunu çıkartabiliriz. Temizleme flotasyonu kademesinde nihai konsantrenin kül oranında yaklaşık olarak % 7'lik ilerleme gerçekleştiği için bu kademedeki de polimer kullanımının uygun olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Polimerli ve polimersiz temel flotasyon kademelerinde elde edilen artığın kül oranları sırasıyla % 95.2 ve % 90.9'dur. Uygulanan süpürme flotasyonu işlemi ile bu değerler sırasıyla % 87.5 ve % 75.0'e indirilebilmektedir. Buradan süpürme uygulamasının gereksiz olduğu anlaşılmaktadır.

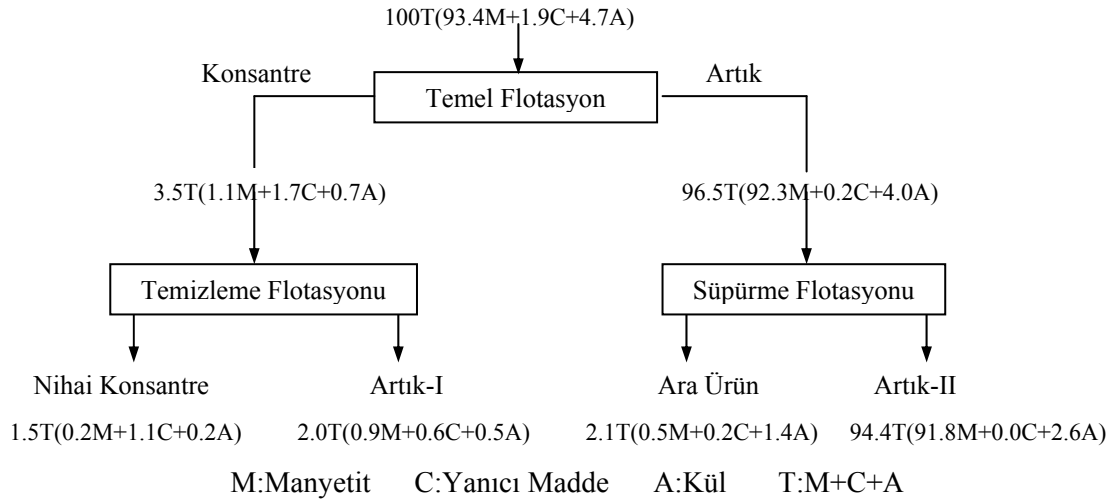
Buna göre, siklon üst akımı süzme-yıkama eleği altı ürünlerinin flotasyonunda temel ve temizleme flotasyonu kademelerinde polimer kullanımının uygun olurken, süpürme kademesinde gerek olmadığı anlaşılmıştır. Siklon alt akımı için ise temel ve temizleme kademelerinin polimersiz flotasyon ile uygulanması, süpürme kademesi uygulamasına ise gerek olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır.

4. İRDELEME

Süzme-yıkama elekleri altı ürünleri ile gerçekleştirilen flotasyon deneyleri sonuçlarından saptanan en uygun sonuçlar, lavvar gerçek değerleri üzerine uygulanmış ve temizleme-süpürme kademelerinde elde edilen ara ürünler nihai konsantre ve artığa oranlanarak dağıtılmıştır. Şekil 9'da Tunçbilek Lavvarı ağır ortam siklon devresinde mevcut koşullardaki ve bu devreye flotasyonun entegrasyonu sonucundaki malzeme balansı, gerçek rakamlar kullanılarak manyetit, yanıcı madde ve kül için verilmektedir.



Şekil 7. Polimer ilavesiz flotasyon deneyinde manyetit, yanıcı madde ve külün dağılımı (A.O.S. alt akımı süzme-yıkama eleği altı ürünü)



Şekil 8. Polimer ilaveli flotasyon deneyinde manyetit, yanıcı madde ve külün dağılımı (A.O.S. alt akımı süzme-yıkama eleği altı ürünü)

Görüldüğü üzere, mevcut durumda süzme-yıkama elekleri altına saatte toplam 43.63 ton manyetit, 9.51 ton kömür (5.79 tonu yanıcı madde) geçmektedir. Manyetik zenginleştiricilerde manyetitin ve kömürün tamamının birbirinden ayrıldığı ve manyetitin tamamının geri kazanıldığı kabul edilirse, ayırıcıdan saatte 43.63 ton manyetik ve 9.51 ton kömür (% 39 küllü) alınmaktadır. Lavvardaki mevcut duruma göre manyetik ayırıcıya beslenen malzemenin yaklaşık %18'i manyetik olmayan malzemedir.

Tunçbilek lavvarında şu anda çalışmakta olan ağır ortam devresine flotasyonu entegre ettiğimizde ise süzme-yıkama elekleri altı ürünlerinden toplam olarak saatte 5.83 ton kömür % 6.7 kül oranı ile kazanılabilecektir. Süzme-yıkama elekleri altına geçen yanıcı maddenin yaklaşık % 94'ü flotasyon sonunda temiz kömür konsantresine alınmaktadır. Flotasyon sonucundaki artık manyetik ayırıcıya gönderileceğinden dolayı, manyetik ayırıcıya gönderilecek ürünlerdeki manyetik olmayan ürün miktarı % 7.8'e düşürülmektedir.

Çizelge 6. A.O.S. alt akımı için polimersiz ve polimer ilaveli flotasyon deneyleri sonuçları

	%Kömür Ağırlığı	%Kül	%Manyetit Oranı	Isı Değeri (Kcal/kg)	%Yanıcı Madde Verimi	%Kül Dağılımı	%Manyetit Dağılımı
Polimersiz							
Temel Flot. (Konsantre)	33.8	26.1	30.3	4800	85.0	13.4	1.1
Temel Flot. (Artık)	66.2	90.9	95.4	300	15.0	86.6	98.9
Temiz. Flot. (Nihai Kon.)	17.2	8.3	7.7	5583	55.0	2.1	0.1
Temiz. Flot. (Artık-I)	16.6	45.5	45.0	3368	30.0	10.6	1.0
Süpür. Flot. (Ara Ürün)	24.2	75.0	30.4	980	15.0	27.7	0.8
Süpür. Flot. (Artık-II)	42.0	99.8	97.0	-	0.0	59.6	98.2
Polimer İlaveli							
Temel Flot. (Konsantre)	36.6	29.2	31.4	4792	89.5	14.9	1.2
Temel Flot. (Artık)	63.4	95.2	95.6	-	10.5	85.1	98.8
Temiz. Flot. (Nihai Kon.)	20.2	15.4	13.3	5531	57.9	4.3	0.2
Temiz. Flot. (Artık-I)	16.4	45.5	45.0	3366	31.6	10.6	1.0
Süpür. Flot. (Ara Ürün)	25.3	87.5	23.8	580	10.5	29.8	0.5
Süpür. Flot. (Artık-II)	38.1	99.5	97.2	-	0.0	55.3	98.3

5. SONUÇLAR

Tunçbilek Lavvarı'nda mevcut sisteme göre, ağır ortam siklon devresi üst ve alt akıma ait süzme-yıkama elekleri altı ürünleri manyetik ayırıcıdan geçirilip, manyetit geri kazanılmakta ve manyetik ayırıcının manyetik olmayan ürününden ise günde ortalama 190.2 ton/h miktarında ve % 39 kül ve yaklaşık 4000 kcal/kg ısı değerine sahip kömür elde edilmekte ve bu ürün termik santrale verilmektedir. Kömürün santrale satış fiyatı Haziran (2002) ayında 26.400.000 TL/t (16.9\$/t) dur.

Yapılan flotasyon deneyleri neticesinde süzme-yıkama elekleri altı ürününden, 5.83 t/h miktarında ve % 6.7 kül ve 6300 kcal/kg ısı değerine sahip temiz kömür elde edilebileceği saptanmıştır. Flotasyon sonundaki temiz kömüre günde ortalama 2.6 ton manyetitin karışacağı hesaplanmakta olup, manyetitin fiyatı 39.000.000 TL/t (25 \$/t) dur. Ege Linyitleri İşletmesi'nin pazarladığı toz kömürün özellikleri ve satış fiyatları (Haziran 2002) incelenmek suretiyle,

elde edilen bu temiz kömürün değerinin yaklaşık 60.000.000 TL/t (38.5 \$/t) olarak kabul edilebileceği belirlenmiştir.

Çizelge 7’de günde ortalama 20 saat çalışan lavvardaki mevcut durum ve flotasyonun entegrasyonu sonucunda elde edilen bazı sonuçlar ve maliyet analizi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Mevcut durumda süzme-yıkama eleği altı ürünlerinden ve flotasyonun entegrasyonu sistemindeki artıktan manyetitinin tamamının geri kazanıldığı kabul edilmiştir.

Çizelge 7’den görüldüğü üzere, lavvardaki süzme-yıkama elekleri altı ürünlerine flotasyon yöntemini uygulamak suretiyle, mevcut duruma göre bu ürünlerdeki kömürün kül oranı 5.8 kat azaltılmakta, kalorisi ise 1.6 kat arttırılmaktadır. Yani son derece temiz ve ısıl değeri yüksek toz kömür elde edilebilmektedir.

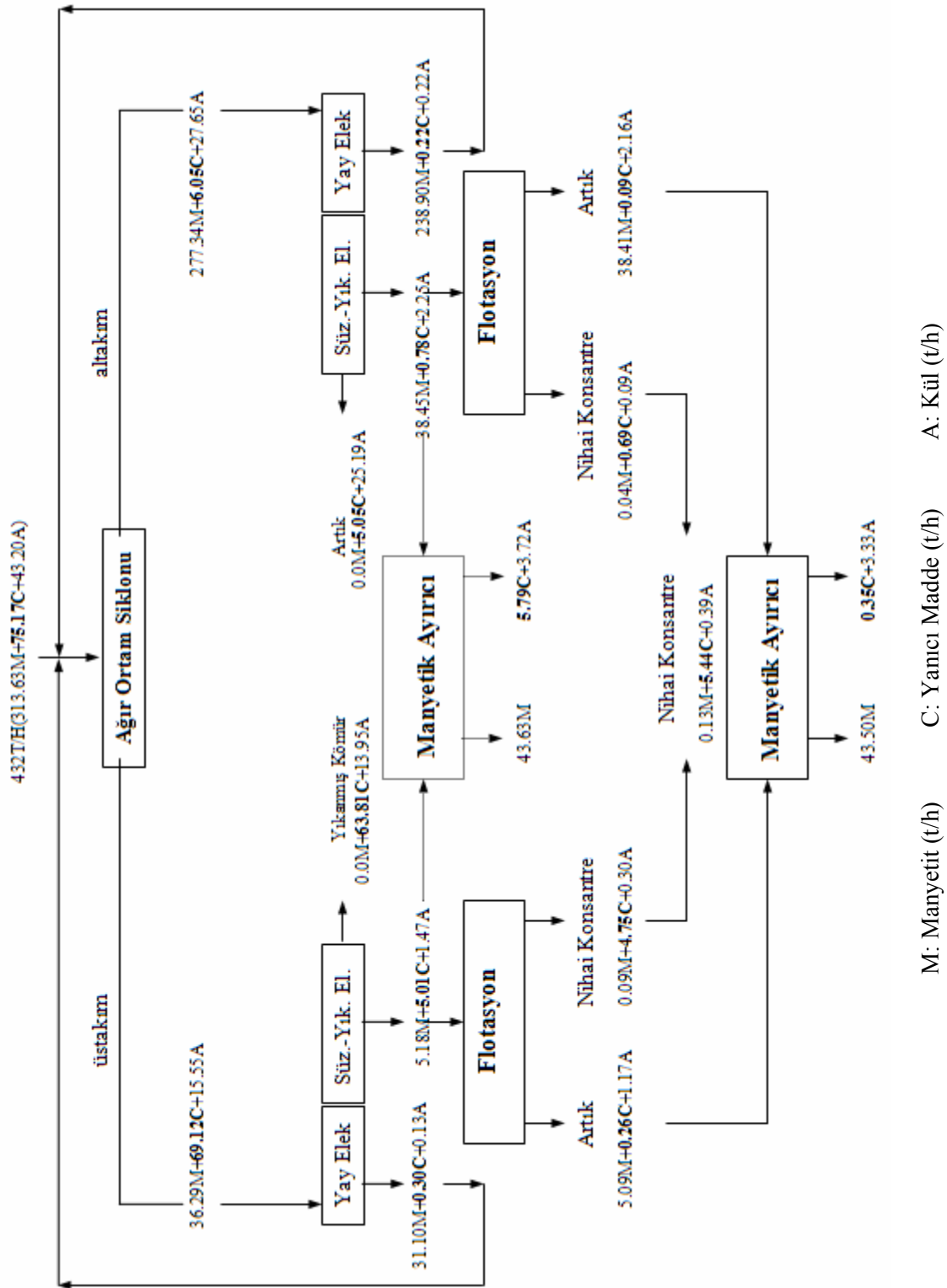
Çizelge 7. Lavvar Mevcut Durum ve Flotasyonun Entegrasyonunun Karşılaştırılması

	Mevcut Durum	Flotasyonun Entegrasyonu
Kömür Miktarı (t/gün)	190.2	116.6
Kalori (kcal/kg)/%Kül	4000/39	6300/6.7
Manyetit Miktarı (t/gün)	872.6	870.0
Man. Ayır. Bes. Maldaki Man. Olmayan Ürün Mik. (%)	18.0	7.8
Kömür Satış Geliri (\$/gün)	3214.4	4489.1
Temiz Kömüre Karışan Manyetit Kaybı (\$/gün)	-	65.0
Flotasyon Reaktiflerinin Maliyeti (\$/gün)	-	2458.0
Kar (\$/gün)	3214.4	1966.1
Manyetik Ayırıcıda Kaybedilen Man. Maliyeti (\$/gün)	315.0	-
Net Kar (\$/gün)	2899.4	1966.1

Çizelge 7’den de hesaplanabileceği üzere, flotasyonun entegrasyonu sisteminde süzme-yıkama eleği altına geçen manyetitinin % 0.3’ü temiz kömür konsantrisine karışmaktadır. Bu sonuç elek altı ürünlerinde manyetit ve kömürün birbirinden yüksek oranlarda ayrıldığı göstermektedir. Flotasyonun entegrasyonu sisteminde flotasyon sonundaki artık manyetik ayırıcıya gönderileceği için, ayırıcının yükü elek altı ürünlerinden kazanılan kömür oranında, yani % 11.2 oranında azaltılmıştır. Çizelge 7’den de görüldüğü üzere manyetik ayırıcıya beslenen malzemedeki manyetik olmayan ürün miktarı mevcut duruma göre % 10.2 azaltılmıştır. Gerek manyetik ayırıcının yükünün ve gerekse ayırıcıya beslenen malzemedeki manyetik olmayan ürün miktarının azaltılması, manyetik ayırıcılarda geri kazanılacak olan manyetit oranının yükselmesine sebep olacaktır.

Flotasyon ile elde edilen temiz kömürün satış gelirinde, mevcut duruma göre yaklaşık % 40 oranında artış sağlanmaktadır. Ancak, çizelgeden de görülebileceği üzere flotasyonda sarf edilen reaktiflerin maliyeti oldukça yüksek olup, reaktif harcamaları temiz kömür satışı ile elde edilecek karın yaklaşık olarak % 55’ini oluşturmaktadır.

Yukarıda yapılan karşılaştırmada manyetik ayırıcıdaki manyetit kaybı, kıyaslama yapılabilmesi için her iki durumda da sıfır kabul edilmişti. Ancak söz konusu kaybın flotasyonun entegrasyonu sisteminde daha az olacağı açıktır. Tunçbilek Lavvarında 2001 yılı ilk altı ayında toplam manyetit kaybı tüvenan kömür başına 1.2 kg/t dur. Bu kaybın yaklaşık olarak 0.9 kg/t’u ağır ortam siklon devresinde gerçekleşmektedir. Lavvarın günlük kapasitesi 14.000 ton olduğuna göre, ağır ortam siklon devresinde günde ortalama 12.6 ton manyetit kaybı gerçekleşmektedir. Buradan ağır ortam siklon devresinin günlük manyetit maliyeti 491.400.000 TL (315\$) olarak hesaplanır. Bu durumda mevcut sistemde net kar 2899.4 \$/gün’ e düşmektedir.



Şekil 9. Manyetit, yanıcı madde ve külün lavvar mevcut durum ve flotasyon entegrasyonu durumunda dağılımı

Sonuç olarak flotasyonun ağır ortam siklonu devresine entegrasyonu sisteminin, süzme-yıkama elekleri altı ürününden temiz kömür üretiminde ve manyetik ayırıcının yükünün azaltılmasında son derece başarılı bir proses olduğu ortaya konmuştur. Flotasyon ile yüzdürülebilme özelliği düşük olan linyitlere uygulanan yöntemin, flotasyonda sarf edilen reaktiflerin maliyetinden dolayı ekonomik olmadığı sonucuna ulaşılmış olmasına rağmen, yöntemin ekonomikliğinin, flotasyon özelliği daha yüksek olan bitümlü kömürlere uygulanması durumunda önemli oranda azalacak olan reaktif maliyetinden dolayı ve termik santral ekonomisinin de göz önüne alınarak değerlendirilme yapıldığında artacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Burt R.O. (1984): "Gravity Concentration Technology", Elsevier Publication.
- Çelik H. (2002): "İnce Kömürlerin Temizlenmesinde Köpük Flotasyonu ve Ağır Ortam Siklonlarının Entegrasyonu", Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Dardis K.A. (1989): "The Design and Operation of Heavy Medium Recovery Circuits for Improved Medium Recovery", Coal Preparation. Vol. 7, pp. 119-157.
- Deurbrouck A.W., Hudy J. (1972): "Performance Characteristics of Coal Washing Equipment:Dense Medium Cyclones", USBM Reports of Investigation, 7673.
- Polat M., Miller F.G., Chander S. (1993): "An Integrated Heavy Media Cyclone-Flotation System for Col Cleaning", Journal of Minerals and Metallurgical Processing, Vol.:November.
- Srinivasa V.P. (1981): "Heavy Media Separation", Paper Presented to AIME Annual Meeting Chicago, Feb. 15 pp.