

TUNÇBİLEK LAVVARI TIKNER ALTI İRİ
ATIK KÖMÜRLERİN MODİFİYE FLOTASYON
KOLONU İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Hüseyin SÖNMEZ

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran – 2007

TUNÇBİLEK LAVVARI TIKNER ALTI
İRİ ATIK KÖMÜRLERİN MODİFİYE FLOTASYON KOLONU İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Hüseyin SÖNMEZ

DUMLUPUNAR ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman : Prof.Dr. Bahri ÖTEYAKA

Haziran – 2007

KABUL ve ONAY SAYFASI

Hüseyin SÖNMEZ'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Tunçbilek Lavvarı Tikner Altı İri Atık Kömürlerin Modifiye Flotasyon Kolonu ile Zenginleştirilmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../.....

(Sınav tarihi)

Üye : Prof.Dr. Bahri ÖTEYAKA

Üye : Yar.Doç.Dr. Ali UÇAR

Üye : Yrd.DoçDr. Bülent YILMAZ

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. M. Sabri ÖZYURT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**TUNÇBİLEK LAVVARI TIKNER ALTI
İRİ ATIK KÖMÜRLERİN MODİFİYE FLOTASYON KOLONU İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

Hüseyin SÖNMEZ

Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2007

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Bahri ÖTEYAKA

ÖZET

Bu çalışmada Tunçbilek Lavvarı tikner altı atıklarından modifiye flotasyon kolonu ile iri boyuttaki (-1.18 + 0.106 mm) kömürlerin kazanılması amaçlanmıştır. Numunedeki iri boyutlu fraksiyonun miktarı % 20.23' tür. - 0.106 + 0.038 mm boyut aralığının miktarı ise % 5.46 olup, geriye kalan -0.038 mm ise %74.31 dir. Flotasyona tabi tutulan iri boyutun kül içeriği % 49.91, kalorisi ise 2742.24 Kcal/kg dir. Tunçbilek Lavvarı, Tunçbilek kömürleri ve modifiye flotasyon kolonu hakkında ayrıntılı literatür bilgileri verilmiştir.

Flotasyon çalışmalarında -1,18 + 0,425 mm ve -0,425 + 0,106 mm boyut fraksiyonları ayrı ayrı zenginleştirilmeye çalışılmıştır. Toplayıcı olarak gazyağı, mazot ve gazyağı + mazot karışımları ayrı ayrı kullanılmıştır. Uygun reaktif miktarı bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca iri boyuttaki mineralleri flotasyonunda etkili olan hold-up çalışma parametresinin etkileri araştırılmıştır. Uygun hold-up değeri her fraksiyon için belirlenmeye çalışılmıştır.

Uygun toplayıcı olarak %80 gazyağı + %20 mazot karışımı tespit edilmiş olup, miktarı ise 25 kg/ton dur. Uygun hold-up değerine gelince; -1,18 + 0,425 mm boyut fraksiyonu için uygun hold-up % 7 tespit edilmiştir. - 0,425 mm + 0.106 mm boyut fraksiyonu için uygun hold-up ise % 20 dir.

Yukarıda belirtilen koşullarda numunenin % 20.23' nü oluşturan 0.106 mm. üst boyutun iki ayrı kademedeki zenginleştirilmesi sonucunda (gazyağı+mazot); toplam kömürden % 8.39 konsantre elde edilebilmektedir. Bu durumdaki konsantrenin kül içeriği yaklaşık olarak % 18.98 ve kalorisi de 5823.94 Kcal/kg olmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Gazyağı, Hold-up, Kalori, Kül, Lavvar, Mazot,Modifiye Flotasyon Kolonu,

**BENEFICIATION OF TAILING OF THICKENER UNDER
FLOW OF TUNÇBILEK WASHERY BY USING
THE MODIFIED FLOTATION COLUMN**

Huseyin Sonmez

Mining Engineering, Master of Science Thesis, 2007

Super Visor : Prof. Dr. Bahri OTEYAKA

ABSTRACT

The aim of the study is to obtain clean coal whose size is between -1.18 and + 0.106 millimetres from waste of Tunçbilek washery by the use of modified flotation column. The amount of the coarse sized fraction in the sample is 20.23 %. The amount of the -0.106 + 0.038 millimetres coal is 5.45 % and the remaining -0.038 is 74.31 %. The content of ash of the coarse size of coal that is subjected to flotation is 49.91 % and is calorific value is 2742.24 Kcal/kg. It was given the literature information about Tunçbilek washery and Tunçbilek coal an modified flotation column.

It is tried to beneficiate the -1.18+0.425 and -0.425+0.106 millimetres sized fraction separately in the flotation works. Gas oil, fuel oil and mixture of them were used as a collector. It is tried to find the proper reactive amount. Moreover it is searched the effects of the parameters of the hold-up that is effective in the flotation of the coarse sized minerals. It is tried to determine the effective hold-up for each fraction .

The mixture of gas oil (80%) and fuel oil (20%) was determined as a suitable collector mixture, and its dosage was found 25 kg/t. It is determined that the proper hold-up is 7 % for the -1.18+0.425 millimetres sized fraction and the proper hold-up is 20 % for the -0.425+0.106 sized fraction.

As told above, it can be gained 8.39 % concentrate from the whole coal the result of the beneficiation in the two separate rank of the upper size of the 0.106 millimetres sized that forms the 20.23 % of the sample. The amount of the ash is about 18.98 % and its calorific value is 5823.94 Kcal/kg in this respect.

Keywords : Gas Oil, Hold-up, Calorific Value, Ash, Washery, Fuel Oil, Modified Flotation Column,

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yoğun uğraşlar sonucunda ortaya çıkan bu tez çalışması boyunca her türlü desteği benden esirgemeyen, üstün bilgi ve birikimiyle yol göstererek, çalışmanın başarıyla sonuçlanmasını sağlayan değerli danışmanım **Prof.Dr. Bahri ÖTEYAKA**'ya şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarımın deneysel kısmında ve analizlerin yapılmasında yaptıkları yardımlar nedeniyle **Yar.Doç.Dr.Ali Uçar**, **Araş.Gör. Ugur Demir** ve **Araş.Gör. Oktay ŞAHBAZ**'a, **Enis HOT'a** teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Son olarak, bugünlere gelmemi sağlayan sevgili annem **Zahide SÖNMEZ** ve babam **Emin SÖNMEZ**'e, rahmetli dedem, **Ahmet SÖNMEZ** ve ninem **Ayşe SÖNMEZ**'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin SÖNMEZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
1.1. Sorun ve Öneri	1
1.2. Tezin İçeriği	2
2. FLOTASYON KOLONU	3
2.1. Flotasyon Kolonunun Tanımı ve Çalışma Prensipleri	3
2.2. Kolon Çeşitleri	5
2.3. Modifiye Flotasyon Kolonu	5
2.3.1. Zenginleştirme Bölgesindeki Temel Mikro Olaylar	6
2.3.2. Verime Etki Eden Parametreler	8
2.3.2.1. Hacimsel hava miktarı	8
2.3.2.2. Bias	9
2.3.2.3. Akış hızları	9
2.3.2.3.1. Kesitsel hava hızı	9
2.3.2.3.2. Kesitsel besleme hızı	10
2.3.2.3.3. Kesitsel su hızı	10
2.3.2.3.4. Taşıma kapasitesi	10
2.4. Flotasyon Kololarının Avantajları	11
2.5. Flotasyon Kolonlarının Dezavantajları	12
3. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	13
3.1. Kömürün Tanımı ve Oluşumu	13
3.2. Kömürün Özellikleri	13
3.3. Kömür Hazırlama	13
3.4. Kömür Zenginleştirme Yöntemleri	15
3.4.1. İnce kömürün zenginleştirilmesi	17
3.4.2. Kömür Flotasyonu	17

İÇİNDEKİLER(devam)

	<u>Sayfa</u>
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	21
4.1. Malzeme ve Yöntem	21
4.1.1. Malzeme	21
4.1.2. Zeta potansiyeli çalışması	22
4.2. Deney Seti	25
4.3. Deneysel Çalışma Koşulları.....	26
4.4. Deneysel Sonuçlar	29
4.4.1. Uygun toplayıcı miktarı	29
4.4.1.1. -1,18 + 0,425 mm boyut aralığı	29
4.4.1.2. -0,425 + 0,106 mm boyut aralığı	35
4.4.2. Sonuçlar	41
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	Sayfa
2. 1. Flotasyon Kolonunun şematik Görünüşü	3
2.2. Kolonlarda hava hızı ve hacimsel hava miktarı arasındaki ilişki	9
4.1. Tunçbilek kömürü ve kilinin zeta potansiyeli değerleri	22
4.2. Modifiye Flotasyon kolonu	23
4.3. Numunenin elek analizi	24
4.4. DPÜ Müh. Fak. Maden Müh. Laboratuvarında bulunan flotasyon kolonu.....	27
4.5. Köpük-taşma bölgesi	28
4.6. Yüzen kömür tanelerinin taşması	28
4.7. Flotasyon Kolonunda Kabarcık Boyunun Ölçülmesi	28
4.8. Hold-up % 9'da toplayıcı miktarının kül ve yanabilir verime etkisi	30
4.9. Gazyağı 25 kg/ton'da hold-up artışının kül ve yanabilir verime etkisi	31
4.10. Gazyağı 20 kg/ton'da hold-up artışının kül ve yanabilir verime etkisi	32
4.11. Hold-up % 7,5'de mzaot miktarının kül ve yanabilir verime etkisi	33
4.12. Toplayıcı olarak gazyağı + mazot kullanıldığında hold-upın kül ve yanabilir verime etkisi.....	34
4.13. Hold-up %10,5 iken toplayıcı artışının yanabilir verim ve kaloriye etkisi	36
4.14. Hold-up %10,5'te toplayıcı artışının kül ve yanabilir verime etkisi	37
4.15. Hold-up %10,5 iken toplayıcı artışının yanabilir verim ve kaloriye etkisi	37
4.16. Hold-up %10,5'te toplayıcı artışının kül ve yanabilir verime etkisi	38
4.17. Hold-up %20 iken toplayıcı artışının yanabilir verim ve kaloriye etkisi	38
4.18. Hold-up %20'de toplayıcı miktarının kül ve yanabilir verime etkisi	39
4.19. Hold-up % 25'de toplayıcı miktarının yanabilir verim ve kaloriye etkisi	39
4.20. Hold-up % 25'de toplayıcı miktarının kül ve yanabilir verime etkisi	40
4.21. Toplayıcı 25 kg/ton'da hold-up artışının yanabilir verim ve kaloriye etkisi ...	40
4.22. Toplayıcı 25 kg/ton'da hold-up artışının kül ve yanabilir verime etkisi	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kömürün külünden ve kükürdünden temizlenmesi için kullanılan zenginleştirme yöntemleri	16
4.1. Tikner altı numunenin elek,kükürt ,kül ve kalori analizi	21
4.2. -1,18 + 0,425 mm. tane boyutlu numunenin flotasyonuna gazyağı miktarının etkisi.....	29
4.3. -1,18 + 0,425 mm. de gazyağı 25 kg/ton iken hold-up ın etkisi	30
4.4 -1,18 + 0,425 mm. de, gazyağı 20 kg/ton iken hold-up artışının etkisi	31
4.5. -1,18 + 0,425 mm. de, hold-up % 7,5 iken mazotun etkisi	33
4.6. Toplayıcı olarak gazyağı ve mazot karışımının etkisi	34
4.7. - 0,425 + 0,106 mm. Boyut aralığı için yapılan deney sonuçları	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
L	Yükseklik
D	Çap
P	Tane Yüzebilirlik Olasılığı
P _ç	Tane-Kabarcık Çarpışma Olasılığı
P _y	Tane-Kabarcık Yapışma Olasılığı
P _k	Tane-Kabarcık Kopmama Olasılığı
k	Flotasyon Hız Sabiti
J _h	Yüzeysel Hava Hızı
d _k	Kabarcık Çapı
d _t	Tane Çapı
R _{jk}	Flotasyon Kolonunun Verimi
R _t	Toplama Bölgesinin Verimi
R _k	Köpük Bölgesinin Verimi
ε _h	Hacimsel Hava Miktarı
J _b	Yüzeysel Besleme Hızı
J _a	Yüzeysel Artık Hızı
J _B	Bias Hızı
J _{YS}	Yüzeysel Yıkama Hızı
C	Taşıma Kapasitesi
J _x	Hacimsel Akış Hızı
Q _x	Debi
A _c	Kolon Kesit Alanı
A	Sabit Bir Sayı
Q _h	Hacimsel Hava Akış Hızı
P _t	Tanecik Özgül Ağırlığı
B	Paketlemeyi Tanımlayan Parametre
D ₈₀	Tanelerin %80'nin Geçtiği Elek Açıklığı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
MAED	Model for analsis of energy demand
G.L.İ.	Garp Linyitleri İşletmesi
E.L.İ.	Ege Linyitleri İşletmesi
A.I.D.	Alt Isıl Değer
MW	Megawatt
M.T.A.	Maden Tetkik ve Arama
XRD	X Işın Difraktometresi
ASTM	American Socitiei For Testing Materials
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
SSCB	Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
ASH	Air Sparged Hyhrcyclone
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
MIBC	Metil İso Bitul Carbinol

1. GİRİŞ

Enerji kaynakları su, rüzgar, güneş, gelgit, jeotermal gibi “yenilenebilir” ve petrol, doğalgaz, uranyum, kömür, vs. ”yenilenemeyen” olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Başta kömür olmak üzere “yenilenemeyen” enerji kaynaklarının en büyük özelliği, kullanımlarının tek bir defaya özgü ve bir daha yerine konulamayacak olmasıdır [1]. Bu nedenle, tüketimlerinde ekonomik, çevre sağlığı açısından en az zarar verecek şekilde kullanılmalıdır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının bilinçli kullanımıyla topluma ve gelecek nesillere karşı olan büyük sorumluluğumuzu da yerine getirmiş olacağız. Bunun için enerji kaynaklarının ekonomik üretimi ve tüketimi üzerine günümüzde bilimsel araştırmalar ve çalışmalar hızla ve artarak sürmektedir. Bireyler olarak bize düşen görev ise; enerji tüketimini en aza indirmenin yollarını arayıp, gerekeni yapmamızdır.

1.1. Sorun ve Öneri

Kömür, ülkemizde rezervi en büyük ve dolayısıyla da tüketimi en çok olan yenilenemeyen enerji kaynağıdır. Ülkemizdeki kömürlerin büyük bir çoğunluğu linyit olup, kül içeriği yüksek ve haliyle kalorisi düşük kömürlerdir. Linyitler, sert ve yumuşak linyitler olmak üzere iki gruba ayrılır. Sert linyitler, açık havada parça sağlamlığını koruyan, nem oranları % 25’den daha az olan ve ısıl değerleri yüksek olan kömürlerdir. Bu özelliklerinden dolayı ev ve sanayi yakıtı olarak kullanılmaktadır. Bunlara da örnek Tunçbilek linyitleridir ve ülkemiz için önemli bir enerji rezervidir [2]. Bu kömürler doğal oluşumu, üretim yöntemi, çevre sağlığı zorunlulukları ve kullanım yerinin istekleri nedeniyle genellikle kömür hazırlama işlemine tabii tutulur. Bu işlemlerden biri de yıkama işlemi olup, GLİ Tunçbilek kömür yıkama tesisleri (lavvar) bulunmaktadır ve verimli olarak ta çalışmaktadır.

GLİ Tunçbilek lavvarında diğer kömür yıkama tesislerinde olduğu gibi bilinen teknolojik nedenlere bağlı olarak kömürün boyutuna göre farklı kömür yıkama aletleri kullanılmaktadır. Sonuçta temiz yıkanmış kömür, iri ve ince artık tesisten çıkmaktadır. Tiknerden (susuzlandırma) atılan ince artık, artık barajına gönderilmekte olup, ortalama 2 mm altı kömürler içermektedir. Bu atık’ın ortalama kalorisi de 1350 ile 1400 arasında değişmektedir. Bu atıklar çevre sağlığı ve enerji hammaddesi kaybı açısından önemli bir sorundur. Bu problemin çözümü için araştırmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Günümüzde çözüm bulunması gerekli önemli bir problemdir. Atıktaki bu ince boyutlu kömürlerin kazanımı için gravite yöntemi ve flotasyon yöntemi uygun olabilir.

Günümüzde flotasyon ince tane boyutundaki minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Bunun nedeni ise; özellikle son kırk yılda işlenen cevher yataklarının tenörlerinin düşmesi, kıymetli minerallerin ince tane boyutlarda serbestleşmesi, seçicilik problemlerinin ortaya çıkması ve diğer yöntemlerin zenginleştirmede ekonomik olmamasıdır. Diğer fiziksel yöntemlere göre birim maliyeti yüksek olan flotasyon tekniğinde, flotasyon verimini artırabilmek amacıyla aletler bazında son yirmi yılda önemli araştırmalar yapılmış ve sorunlu olan çok ince taneli minerallerin flotasyon verimini artırıcı aletler ortaya çıkmıştır. Bunlar; flotasyon kolonları ve Jameson flotasyon hücresidir. Günümüzde bu aletler zenginleştirme tesislerinde yoğun olarak kullanılmaktadır [3]. Performans ve ekonomiklik açısından klasik flotasyon hücrelerine göre daha üstündür. Flotasyon kolonları da kendi aralarında çalışma prensibi olarak ikiye ayrılmakta olup, Yaklaşık 100 mikron altı minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılan klasik kolon, 100 mikron üstü boyuttaki mineralleri zenginleştirilmesinde kullanılan ve bias sistemi negatif olan modifiye kolonlardır [4].

Bu çalışmanın amacı; GLİ Tunçbilek Açık İşletmeleri ve Yer altı İşletmelerinde üretilen, GLİ Lavvarında yıkanan kömürün tikner altı atığındaki 1.18 mm - 106 mikron boyut arası kömürlerin modifiye flotasyon kolonu ile kazanabilirliğinin araştırılmasıdır.

1.2. Tezin İçeriği

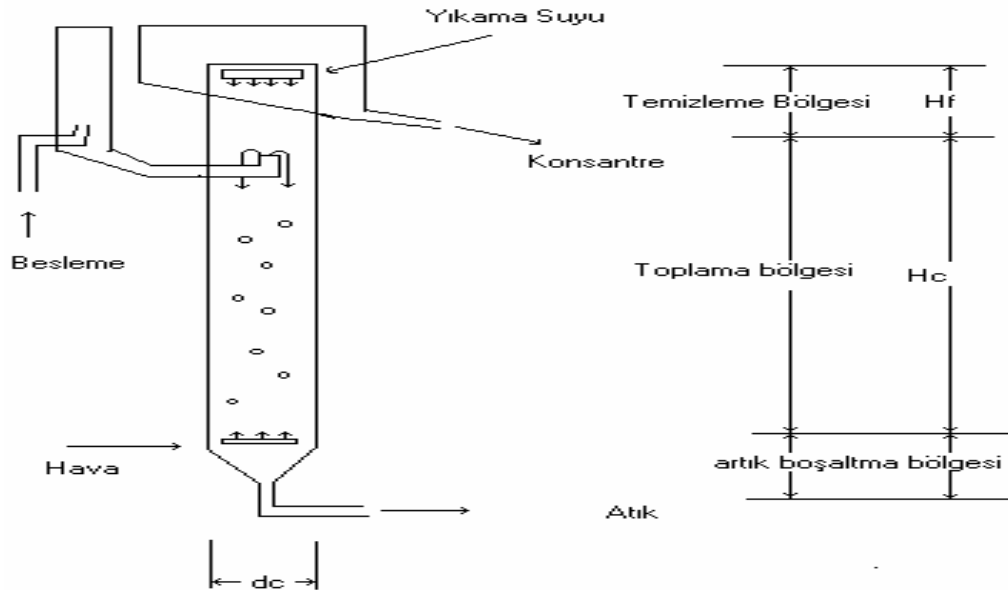
Yapılan bu çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; birinci bölüm giriş olup, bu tez kapsamında kullanılan yeni teknolojinin, modifiye flotasyon kolonunun tanıtıldığı ikinci bölüm, kömür ve kömürlerimiz hakkında genel bilginin verildiği üçüncü bölüm, deneysel çalışmaların anlatıldığı ve sonuçlarının tartışıldığı dördüncü bölüm ve son olarak ta genel sonuçların sunulduğu beşinci bölümdür.

2. FLOTASYON KOLONU

2.1. Flotasyon Kolonunun Tanıtımı ve Çalışma Prensipleri

Flotasyon kolon yöntemi ilk olarak 1960'lı yıllarda Kanada'da ortaya çıkmıştır. Bu nedenle ilk kolon "Kanada Kolonu" olarak adlandırılmıştır [5]. Flotasyon kolonlarının fikir babası olan Pierre Boutin, mekanik flotasyon hücrelerindeki türbülansın, ince gang tanelerinin konsantreye sürüklenmesine neden olarak, konsantreyi kirlettiği sonucundan yola çıkmış, tanelerin türbülansın olmadığı bir ortamda askıda kalmaları için, uzun ve yüksekçe bir hücreye yukarıdan beslenmesi gerektiğini düşünmüştür. Hava ise hücrenin tabanından verilerek kabarcıklar ve tanelerin zıt akımlı olarak karşılaşabilmesi sağlanacak, böylece ara ürünler ve gang taneleri için bu akış fiziksel bastırıcı görevini görecek, iri gang mineralleri ise yüksek çökme hızları nedeniyle hücreden hızlı bir şekilde ayrılacaktır. Kabarcıkları izleyen ince gang mineralleri ise hücredeki kalın köpük tabakasında yıkama suyunun da etkisi ile geriye kolona dönecek ve böylece yüksek tenörlü konsantre elde edilebilecektir [6].

Flotasyon kolonları ile ilk çalışmalar Opemiska tesisinde (Kanada) yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [7]. O dönemde flotasyon kolonları ile ilgili çalışmaların sadece Kanada ile sınırlı kalmadığı, Çin'de de flotasyon kolonlarının kullanımının 1961 yılına dayandığı ve eski SSCB'de farklı tasarımlarda flotasyon kolonlarının kullanıldığı da belirlenmiştir [6].



Şekil 2.1 Flotasyon Kolonunun Şematik Görünüşü

Şekil 2.1’de tipik bir flotasyon kolonunun şematik görünüşü verilmektedir. Flotasyon kolonları temel olarak iki bölgeye ayrılır [5].

Birinci bölgede hava kabarcıklarının kabarcık üretici sistemi (sparger) yardımıyla kolona verildiği ve tanelerin hava kabarcığı ile karşılaştığı ve hidrofobların yapıştığı toplama bölgesidir (collector zone). Besleme genellikle kolon yüksekliğinin 3/4 'ünden yapılır. Besleme noktasının üstünde kalan kısmın tamamı köpükten meydana gelmez. Köpük/pülp ara yüzeyi ile besleme noktası arasında tane yüklenmiş kabarcıklar, köpükten geri düşen taneler ve kabarcıklardan meydana gelen bir ara bölge bulunmaktadır. Beslemedeki taneler hem çökme hızları hem de kolonun tabanındaki atık akış hızına bağlı olarak aşağı doğru süzülürler. Hava, kolon atık çıkış noktasının hemen üzerindeki kabarcık üreticiden (sparger) kabarcıklar halinde kolona verilmektedir. Besleme ile kabarcıklar zıt akımlı olarak toplama bölgesinde karşılaşırlar ve taneler hava kabarcıkları ile çarpışarak bağlanırlar. Kolonda mineral ile hava kabarcıkları arasında oluşan mikro olaylar bu bölgede oluşur.

İkinci bölge ise, besleme noktasını üst bölümünde, tane yüklü hava kabarcıklarının meydana getirdiği temizleme (köpük) bölgesidir (froth zone). Temizleme bölgesi kalınlığı endüstriyel uygulamalarda 1,5 m kadar olabilmektedir. Köpük, kolonun konsantre taşma seviyesinin üzerinden veya içinden yıkama suyu ile yıkanarak kararlı ve dengeli olması sağlanır. Köpükten aşağı doğru süzülen yıkama suyu köpük içerisine hidrokinamik yolla sürüklenen gang tanelerini toplama bölgesine geri dönmesini sağlar. Bu iki bölge dışında toplama ve köpük bölgeleri arasında ara yüzey bulunur. Ara yüzey iki bölgenin ayrılma sınırındadır.

Kolonlar genel olarak klasik ve modifiye olmak üzere ikiye ayrılırlar. Klasikler ince taneler içindir (yaklaşık olarak 100 mikron altı). Yukarıda anlatıldığı gibi çalışırlar. Modifiye kolonlar ise iri tanelerin flotasyonu içindir (yaklaşık olarak -1000 + 100 mikron). Modifiye flotasyon kolonunda bias negatif olduğu için köpük zonu yoktur. Yıkama suyu kullanılmaz. Boyları kısadır (4 - 5 metre). İri tanelerin flotasyonunda kullanıldığından hold-up % 5-15 arasında olması tercih edilir. Bunun anlamı; kolona verilen hava debisi az ve sonuçta kolon içinde türbülans da küçük olur (hava kabarcıklarının yarattığı mikro türbülans toplamı).

Endüstriyel boyutta kolonlar, paslanmaz sacdan yapılır ve geometrik şekilleri silindirikdir. Çapları 1-3 metre arasında değişir. Kolon içinde kullanılan hava kabarcığı üreticisi

paslanmaz çelikten ve poroz yapılıdır. Laboratuarlarda kullanılan deneysel amaçlı kolonlar, kolon içindeki olayların rahatlıkla gözlenebilmesi için şeffaf malzemedendir [8].

Flotasyon kolonunu mekanik hücreden ayıran üç temel özelliği vardır. Bunlar;

- Köpük bölgesine verilen yıkama suyu,
- Mekanik karıştırmanın olmaması,
- Kabarcık üretici bir sistemin olması.

Flotasyon kolonları yükseklik/çap (L/D) oranı mekanik flotasyon hücrelerinden daha büyüktür ($L/D > 10$). Hava kabarcıklarının ve taneciklerin homojen dağılımını sağlamak için daire kesitli kolonlar tercih edilir. Genellikle endüstride kullanılan kolon çapı 1-3 m ve yüksekliğin de 8-12 m'dir [9].

2.2. Kolon Çeşitleri

Flotasyon kolonu genelde temel çalışma ilkeleri aynı olmak koşulu ile ikiye ayrılır. Bunlar:

1. Klasik flotasyon kolonu
2. Modifiye flotasyon kolonu

Bu iki flotasyon kolonu arasındaki farklılıkları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Modifiye kolonda köpük zonu yoktur.
- Klasik kolonda artık çıkışının debisi (D_a) ile besleme debisi (D_b) arasındaki fark ($Bias = D_a - D_b$) pozitifdir. Diğerinde ise negatiftir.
- Klasik kolonda yıkama suyu ilave edilir, diğerinde zorunlu değildir.
- Modifiye flotasyon kolonu iri tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılır ($+100\mu m$).
- İri taneli minerallerin flotasyon kinetiği yüksek olduğundan dolayı kolon boyu oldukça kısadır.

2.3. Modifiye Flotasyon Kolonu

Klasik kolona göre köpük bölgesi olmayan, iri tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılan modifiye flotasyon kolonunda sadece zenginleştirme (toplama) bölgesi vardır (Şekil 4.2). Bu bölgede mineral ile hava kabarcıkları arasında flotasyonun mikro olayları gerçekleşir. Oluşan tane (ler) – kabarcık agregaları kolonun üst kısmına çıkar ve kolonu terk eder. Hidrofil taneler ise kolonun alt kısmından alınır. Zenginleştirme bölgesindeki ortaya çıkan mikro olaylar detaylı olarak aşağıda verilmiştir.

2.3.1. Zenginleştirme Bölgesindeki Temel Mikro-olaylar

Zenginleştirme bölgesi, hidrofob taneler ile kabarcıklar arasında flotasyonun mikro olaylarının gerçekleştiği bölgedir. Bu bölgede gravite etkisiyle tabana doğru düşen hidrofob bir tanenin, yükselen bir hava kabarcığına yapışabilmesi ve yüzmesi, flotasyonun temel mikro-olaylarının sırasıyla gerçekleşmesine bağlıdır. Bu olaylar sırasıyla :

- Hidrofob tane yolunun hava kabarcığı tarafından kesilmesi (tane- kabarcık karşılaşması),
- Karşılaştığı tane için gerekli serbest yüzeye sahip kabarcık ile tanenin çarpışması,
- Taneciğin kabarcığa yapışması (tane-kabarcık agregasının oluşumu),
- Tane-kabarcık agregasının kesme (parçalama) kuvvetlerine karşı yeterli direnci göstermesi (stabilite),
- Ve son olarak ta agreganın yükselmesi (yüzmesi) dir.

Tane-kabarcık karşılaşması olayı bu bölgedeki hold-up (ϵ_g) değerine bağlı olup, tane-kabarcık karşılaşma olasılığı (P_K) aşağıdaki formülle hesaplanabilmektedir[4]:

$$P_K = 1.209 (\epsilon_g)^{2/3}$$

Tane – kabarcık çarpışması olayı tanenin boyuta ve kabarcığın çapına bağlıdır. Bu olayın olabilirliği (P_C) tane boyutu (d_p) ile doğru, kabarcık çapı (d_b) ile ters orantılıdır [4]. Bu alanda yapılan araştırmalar sonucunda çarpışma olasılığı aşağıda verilen genel formül yardımıyla hesaplanabilir:

$$P_C = k (d_p / d_b)^n$$

Formüldeki k ve n değerleri araştırmacılara göre değişmektedir.

Taneciğin kabarcığa yapışma olayı, yüzdürülmek istenen tanenin hidrofobitesine bağlıdır. Bununla ilgili pratik, kullanılabilir formül henüz geliştirilmemiştir. Ancak teorik ve ölçülemeyen parametreler içeren formüller vardır [10]. Geliştirilecek formülde temel parametre, kabarcık ile yapışan tane arasındaki temas açısı olabilir. Yeteri kadar hidrofob olan tanenin hava kabarcığına yapışması mümkündür. Pratikte minimum temas açısı 30^0 ve daha büyüktür [11]. Genel olarak $50^0 - 70^0$ arası temas açısı idealdir.

Tane-kabarcık agregasının stabilitesi (parçalanmaması), ortam içindeki kesme (parçalama) kuvvetlerine karşı tane-kabarcık agregasının yeterli direnci göstermesine bağlıdır. Burada agreganın stabilitesine etkili olan genel parametreler; sistemde oluşan türbülans, tanenin boyutu ve kabarcık çapıdır. Türbülans, tane boyutu ve kabarcık çapı arttıkça agreganın stabilitesi azalır. Bu alanda yoğun bilimsel araştırmalar yapılmış olup, teorik olarak stabiliteyi bozucu kuvvetleri hesaplamaya çalışmışlardır ve bu çalışmalarında türbülanssız ortamda yüzdürülebilecek maksimum tane boyutunu hesaplamışlardır [12,10]. Agreganın parçalanmama olasılığı (P_S) üzerine çalışma yapan Öteyaka (1993), bu olasılığı hesaplayabilen aşağıdaki formülü geliştirmiş ve bulunduğu teorik sonuçlarla pratik sonuçlar birbiriyle örtüşmüştür.

$$P_S = [1 - (d_p / d_{max})]^3$$

Yukarıdaki formülde d_p ; yüzdürülmek istene tanenin boyutu olup, d_{max} ise; o ortamda teorik olarak yüzdürülebilecek en büyük tane boyutudur. Bu teorik olarak, parçalama ($F_D = m \cdot a$, burada ; m: tanenin kütlesi ve a: tanenin ivmesi) ve yapışma kuvvetlerinin ($F_Y = 2 \pi r_o \sigma \sin\theta$, burada; r_o : tane –kabarcık arasındaki temas yüzeyinin yarıçapı, σ : suyun yüzey gerilimi, θ : temas açısı fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Yapışma kuvvetini hesaplayan ($F_Y = 2 \pi r_o \sigma \sin\theta$) formül 1950 yılında Morris tarafından geliştirilmiş olup, bu alanda da birçok formül vardır.

Mikro olayların sonucusu ise oluşan agreganın yüzmesidir. Bu olayın oluşmasında herhangi bir sorun yaşanmamaktadır. Kabarcık çapı kendisine yapışan tanecikleri yüzdürebilecek çapta, yani oluşan agreganın yoğunluğu suyun yoğunluğundan küçük olması gerekir.

Yukarıda açıklanan tüm mikro olayların ışığında hidrofob bir tanenin yüzebilirlik olasılığı (P_F) aşağıdaki formülle hesaplanabilir[4];

$$P_F = P_K \cdot P_C \cdot P_Y \cdot P_S \cdot D_s$$

Formüldeki D_s ise ; hidrofob tanenin serbestleşme derecesidir.

Yukarıdaki formül yardımıyla arzu edilen verime ulaşabilmek için modifiye flotasyon kolonunun boyutu hesaplanabilir. Bu alanda geliştirilmiş model de mevcuttur [4].

2.3.2. Verime Etkili Parametreler

Flotasyon kolonunun çalışma mekanizmasının mekanik flotasyon hücresinden oldukça farklı olması, kolonlardaki işlem parametrelerini ifade eden yeni bir terminoloji kullanımı zorunlu kılmıştır. Bunlar;

- Hacimsel Hava Miktarı (Hold-up; ϵ_g),
- Bias,
- Akış hızları;
 - Kesitsel hava hızı (Superficial air rate – J_g),
 - Kesitsel besleme hızı (Superficial feed rate – J_b),
 - Kesitsel su hızı (bias negatif, j_s)
- Taşıma kapasitesi (Carrying rate- C_a),

Hacimsel hava miktarı (hold-up - ϵ_g):

Kolon içinde tane-kabarcık karşılaşma olasılığına etki eden önemli değişkendir. Bu, Kabarcık çapına, hava debisine bağlıdır (Şekil 2.2).

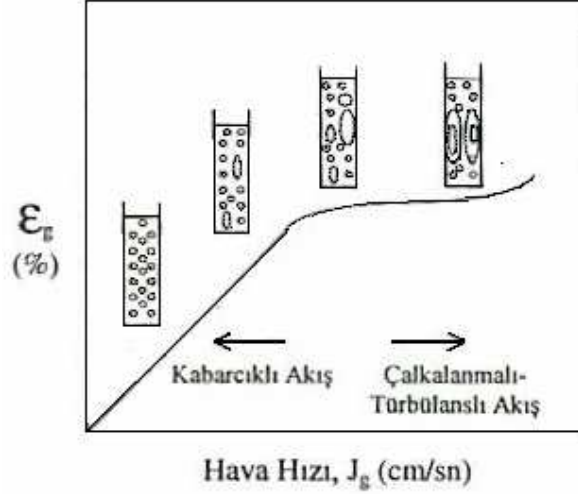
Kolon içinde her hava kabarcığı belli bir değerde mikro türbülans yaratır. Toplam türbülans ise hold-up değerinin artışı ile artar. Belli bir hacimsel gaz yüzdesinden itibaren yüzdürülen tanelerin stabilitesi düşer (negatif etki). Bu 100 mikrondan büyük tanelerin flotasyonunda olumsuz etki yaratır. Genel olarak hacimsel gaz yüzdesinin verim üzerine iki etkisi vardır:

- Tane- kabarcık karşılaşma olasılığının artışı (pozitif etki),
- Belli bir değerden sonra agrega stabilitesini düşürür (negatif etkisi).

Modifiye kolonlarda gaz tutunum yüzdesi genelde % 5-20 arasında olmalıdır. Bu değişken şu yöntemlerden biri ile ölçülebilir:

- Basit ölçüm yöntemi (İkili faz; su ve hava, ile tekli faz; sadece su, arasındaki seviye farkından yararlanarak),
- Basınç farkı yöntemi (tüp manometre yardımıyla),

- Elektriksel iletkenlik yöntemi.



Şekil 2.2. Kolonlarda hava hızı ve hacimsel hava miktarı arasındaki ilişki [5].

Bias(B):

Köpük bölgesinin varlığını belirleyen değişkendir. Optimum kesitsel bias hızı 0,1 – 0,2 cm/saniye dir (klasik kolonlarda bias pozitifdir). Modifiye kolonlarda bias negatiftir ve köpük zonu yoktur. İnce tanelerin yüzdürülmesinde gang minerallerinin sürüklenmesini engellemek amacıyla (köpük derinliğini artırmak) bias değeri artırılır. İri tanelerin flotasyonunda ise tam tersidir.

Akış hızları:

Kesitsel hava hızı (Superficial air rate – J_g): Hava debisinin, kolon kesit alanına oranıdır. Aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$J_g = \frac{Q_g}{A_c} = \frac{\text{cm}^3/\text{sn}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{cm}}{\text{sn}}$$

Burada: Q_g = Hava debisi,

A_c = Kolon kesit alanı.

Hava, hidrofob taneleri kolon içinde toplayıp konsantreye doğru taşınmasını sağlayan üçüncü fazdır. Hava debisi, hava kabarcıklarının çapını (hold-up) belirleyen ve kolonun taşıma kapasitesini ($C_a = \dots \text{gr/cm}^2/\text{s}$) etkileyen önemli bir değişkendir. Hava debisinin artışı belli bir değere kadar verimi artırır. Daha sonra verim düşer. Bunun nedeni ise; hava debisine bağlı olarak sayısı artan kabarcıkların oluşturduğu mikro türbülanstır. Bu, haliyle iri agregaların stabilitesini azaltır ve parçalanmaya neden olur. Hava debisinin artışının diğer bir etkisi de kabarcık boyutunu artırmasıdır. Bu da çarpışma olasılığını (tane-kabarcık) azaltır ve verim düşüklüğüne neden olur. Genelde optimum değerde olması gerekir ve yaklaşık hava kesitsel hızı da (J_g) 1-3 cm/s dir.

Kesitsel besleme hızı (Superficial feed rate – J_b): Pülp besleme debisinin (Q_b), kolon kesit alanına oranıdır.

$$J_b = \frac{Q_b}{A_c} = \frac{\text{cm}^3/\text{sn}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{cm}}{\text{sn}}$$

Besleme debisinin artışı belli bir değere kadar verimi artırabilir. Daha sonra azalır. Nedenine gelince; Sistemdeki hava kabarcıklarının taşıyabileceği miktara kadar maksimum besleme yapılabilir. Bu durumda ortamın yoğunluğu artar, bu ise ortamdaki ince ve artık olan taneleri de konsantre içine sürükleyebilir. Sonuçta konsantre miktarı artar, haliyle verimi de etkiler. Aşırı besleme durumunda yeteri kadar hava kabarcığı olmayacağından hidrofob taneler yüzdürülemez.

Kesitsel su hızı (Superficial water rate – J_s): Besleme debisinden (Q_b) artık debisi (Q_a) çıkartıldıktan sonra elde edilen debinin, kolon kesit alanına oranıdır. Bu oran yaklaşık olarak 0.13 m/ saniye civarındadır. Fazla olması durumunda ince taneli gang mineralleri konsantre içine sürüklenir ve tenör düşer [4].

$$J_s = \frac{Q_b - Q_a}{A_c} = \frac{\text{cm}^3/\text{sn}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{cm}}{\text{sn}}$$

Taşıma kapasitesi (carrying rate, C_a):

Flotasyon kolonunda birim zamanda birim kesit alanında yüzen mineral ağırlığı olarak tanımlanmaktadır ($\text{gr/cm}^2/\text{sn}$ veya $\text{ton/m}^2/\text{saat}$). Bu parametre bir anlamda kolonda

kazanılabilecek maksimum katı miktarını, diğer bir ifadeyle kabarcık yüzeyinin maksimum miktarda tane ile kaplanmasını ve tane toplama sürecinin üst limitini ifade etmektedir.

$$C_a = a \cdot Q_g \cdot d_t \cdot \rho_t \cdot \beta / d_k$$

$a =$ Bir sabit,

$Q_g =$ Hacimsel hava akış hızı,

$d_p =$ Tanenin çapı,

$\rho_p =$ Tanenin yoğunluğu,

$d_b =$ Köpükteki kabarcık çapı

$\beta =$ Tanelerin kabarcık yüzeyine yapışarak yüzeyde birikmesi sonucu meydana gelen paketlenmeyi tanımlayan bir parametre

Eşitlikten de görüldüğü gibi C_a hava hızının artışı ve köpükteki kabarcık çapının küçülmesi ile yükselmektedir. Hava hızının artışı ile taşıma kapasitesi yükselerek maksimum taşıma kapasitesine ulaşır. Maksimum taşıma kapasitesinde çalışan bir kolonun kapasitesi yalnızca d_t , ρ_t ve β 'nın fonksiyonudur. Literatürdeki verilerden yararlanarak taşıma kapasitesi için aşağıdaki veriler önerilmiştir.

$$C = a \cdot d_{80} \cdot \rho_t$$

Burada d_{80} konsantrenin %80'nin geçtiği tane boyutudur. Yalnızca verilerin elde edildiği aralık için geçerli olduğu unutulmamalıdır. Taşıma kapasitesi tanımındaki kolondan kazanılan maksimum katı miktarı, toplam kabarcık yüzey alanından bağımsız olarak ele alınmıştır. Gerçekte konsantre miktarı tanelerle kaplanacak kabarcık yüzey alanı ile doğrudan ilişkilidir ve bu nedenle de gerçek değer deneysel olarak belirlenen taşıma kapasitesi değerinden daha yüksek olabilir. Flotasyon kolonu tasarımı da amaçlandığı taşıma kapasitesinin deneysel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Taşıma kapasitesi deneysel olarak, sabit besleme hızında, besleme pülp katı içeriğinin artırılması ile yapılan ve en yüksek konsantre akış hızına erişilmesi hedeflenen bir seri deney ile belirlenir.

2.4. Flotasyon Kolonlarının Avantajları

1. Flotasyon kolonlarında diğer flotasyon hücrelerine göre daha iyi laminar akış sağlanabilmekte, türbülans akışlar (girdaplar) daha az olmaktadır. Böylece mekanik flotasyon hücrelerinden daha iyi performans elde edilebilmektedir.

2. Düşük yatırım maliyeti; kolonlar genellikle tesis olanakları ile inşa edilebilmekte ve yalnızca kabarcık üretici ile otomatik kontrol birimlerinin üreticilerden satın alınması tercih edilmektedir.
3. Düşük işletme maliyeti; enerji, reaktif harcaması ve hava yerine azot kullanıldığında azot harcamasının azaldığı belirtilmiştir. Hareketli birimlerin olmaması nedeniyle mekanik flotasyon hücrelerindeki gibi karıştırıcının bakım ve değiştirme maliyeti ile karıştırma gücüne ihtiyaç yoktur.
4. Tek bir biriminden oluşması ve çalışma sisteminin basitliği nedeniyle kararlı ve düzenli kontrol ve çalışma imkanına sahiptir.
5. Mekanik flotasyon, randımanı ve tenörü düşürdüğü için çok ince tanelerin flotasyonuna imkan vermez. Kolon flotasyonu ise bu ince taneciklerinde flotasyonuna olanak sağlamaktadır.
6. Endüstriyel uygulamalarda flotasyon hücrelerinin kapladığı alan oldukça geniş olduğundan birkaç hücrenin gördüğü işi tek bir kolon hücresi yeterli olabilmektedir. İşlem aşamasında azalma ve daha az alan işgal etmesi nedeniyle tesislerde yer kazanımına olarak sağlayabilir.
7. İnce tanelerin zenginleştirilmesinde önemli bir avantaj olan sakin akış koşullarında küçük kabarıkların kullanılması, kalın köpük yapısı ve köpüğün su ile yıkanması nedeniyle yüksek tenörlü konsantre elde edilebilmesi; mekanik flotasyon hücrelerinde çeşitli nedenlerle (pülp/köpük ara yüzeyindeki türbülans, ince tanelerin yükselen kabarcıkların türbülanslı dümen suyuna kapılmasıyla köpüğe taşınmaları, şlam boyutundaki mineral tanelerinin konsantreye besleme suyu ile birlikte taşınması) kirlenen konsantre, pülpün seyreltilerek tekrar tekrar temizlenmesi ile yükseltilir. Bu da ekipman maliyeti, güç, reaktif harcaması anlamına gelen çok aşamalı flotasyon işlemi demektir. Flotasyon kolonları bu sorunların ortadan kalkmasına olanak sağlayabilecek özelliklere sahiptir [6,13].

2.5. Flotasyon Kolonlarının Dezavantajları

1. Tesislerde yüksekliğinin sorun olması
2. Yıkama suyu maliyeti
3. Artığın seyrelmesi
4. Büyük çaplı kolonlarda zayıf karıştırma sonucu düşük verim.

3. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

3.1. Kömürün Tanımı ve Oluşumu

Havanın oksijeni ile doğrudan doğruya yanabilen, %55-95 arasında serbest veya bileşim halinde karbon içeren katı, organoklastik, sedimanter kökenli kayaç olarak tanımlanan kömürler, yandıklarında değişik miktar ve bileşimde kül bırakırlar. Kömürler sert, yumuşak, mat veya parlak olabilirler. Renkleri kahverengiden, siyaha kadar değişirler [14].

Belli bir bölgede birikmiş bitkilerin sızdırmaz bir tabakayla kaplanması sonucunda mikro organizmalarla, hava ve rutubet yardımıyla çürümeye başlayarak bozuluşuyla ilk önce turbalar, ve daha sonra tektonik hareketler, ısı, basınç, kimyasal ve fiziksel değişikliklerle kömürler oluşur. Kömürleşme olayı ilerledikçe oksijen ve uçucu madde oranları azalmakta, buna karşın karbon oranı artmaktadır. Böylece alt bitümlü kömür, bitümlü kömür daha sonra antrasit meydana gelir.

3.2. Kömürün Özellikleri

Kömürleşme sırasında fiziksel ve kimyasal değişimlerin binlerce, hatta milyonlarca yıl sürdüğü ve bu süreç içerisinde yatağı oluşturan bitki türleri ve ortam koşullarının çok değişik olduğu göz önüne alındığından farklı yapıda kömür yatakları oluşacaktır. Bu nedenle, dünyada bulunan kömür yatakları birbirinden farklı yapıdadır. Hatta kömür aynı yatağın değişik bölgelerinde de farklı fiziksel, kimyasal ve petrografik özelliklerde olabilir.

Kömürün fiziksel özellikleri olarak; rutubet, özgül ağırlık, kırılma kırılma tane boyutu dağılımı, sertlik, mukavemet, ufalanabilirlik gibi özellikleri sayılabilir. Kimyasal özellikleri ise kül, kükürt, uçucu madde oranlarıdır. Petrografik özellikler olarak da kömürün mikroskobik olarak içerdiği yapı ve doku özellikleridir [14].

3.3. Kömür Hazırlama

Kömürün sınıflandırılması, yıkanması, kurutulması ve belli bir kullanım için hazır hale getirilmesi gibi işlemler “kömür hazırlama” adı altında toplanmaktadır. Kömürler fiziksel özellikleri, damarların yapısı ve üretim metoduna bağlı olarak farklı boyut ve safsızlıklar içerirler. Ancak tüketim sektörünün talebine uygun olarak kömürlerin belirli ısı değer ve parça

büyüklüğüne getirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle kömür teknolojisi içinde kömür hazırlama, birikitleme, kurutma ve karbonizasyon işlemleri kömürün yapısı ve karakteristiğine bağlı olarak değişir. Yıkabilen linyitlere uygun belirlenecek yıkama teknolojilerinden amaç, linyitlerden kül ve nemi uzaklaştırarak çevre kirliliğini ve korozyonu önlemek ve tüketiciye uygun parça büyüklüğünde standart tip kaliteli linyit üretmektedir.

Kömürün (özellikle sert linyitlerin) genel olarak kullanımı öncesinde, mevcut safsızlıkların giderilmesi ve özellikle belirli tane sınıflarında piyasaya arz edilmeleri gerekir. Günümüzde çeşitli kullanım alanlarında farklılıklar göstermekle beraber, genel olarak kömürde aşağıdaki özellikler istenmektedir.

- Düşük kül oranı,
- Düşük nem içeriği,
- Düşük kükürt, fosfor ve alkali içeriği,
- Belirli tane iriliği, kalorifik değer,
- Uçucu kısım oranı,
- Koklaşma yeteneği.

Kömür hazırlama işlemleri; “lavvar” adı verilen kömür yıkama tesislerinde uygulanır. Kömür hazırlama işlemlerine geçmeden önce, kömürün yıkanabilme özelliğini saptamak üzere bazı laboratuvar deneyleri yapılır [2].

Kömürlerin yıkanabilme özellikleri laboratuvarda yapılan yüzdürme-batırma deneyleri ile saptanır. Bu deneyler kömür ve şist yoğunlukları arasında seçilen değişik yoğunluklarda hazırlanmış, ağır sıvı banyolarında yapılır. Deney öncesinde, kömürün kullanım alanları dikkate alınarak, ASTM veya TSE standartlarına uygun eleklerle boyuta göre sınıflandırma yapılır. Çeşitli boyut gruplarına ayrılan kömürlerin ayrı ayrı yüzdürme-batırma deneyleri yapılır. Ağır sıvı olarak genelde farklı konsantrasyonlarda hazırlanan çinko klorür çözeltileri kullanılır. Hazırlanacak yoğunluklar kömürün cinsine ve deneylerin özelliğine göre seçilir. Çinko klorür ile $1,90 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa kadar ağır sıvı yapmak mümkündür. Bunun üzerindeki yoğunluklarda karbon tetra klorür, bromoform gibi ağır organik sıvıların karışımı kullanılır. İnce boyutlu kömürle yapılacak yüzdürme- batırma deneylerinde, yalnızca yoğunluğun etkin olmayacağı, viskoz hareketlerinin ve flokülasyonun sonuçları değiştirebileceği dikkate alınmalıdır. Bu boyut grubu ile deney yapmak gerekiyorsa tercihen viskozitesi düşük olan organik ağır sıvılar kullanılmalıdır [15].

Farklı boyutlarda elenen kömür düşük yoğunluktan yükseğe doğru hazırlanan banyolarda, ayrı gruplar halinde yüzdürülür. İlk banyoda yüzen kömür ayrılarak batan kısım bir sonraki banyoya beslenir. Böylece bütün banyolarda yüzen ve son banyoda batan kısım olmak üzere elde edilen ürünler yıkanıp kurutulduktan sonra tartılır ve kül analizleri yapılarak her bir boyut grubu için ayrı ayrı yüzdürme – batırma çizelgeleri oluşturulur. Yüzdürme-batırma deneyleri sonunda, kullanılan ağır sıvı adedinden bir fazlası kadar ürün elde edilmiş olur [16].

3.4. Kömür Zenginleştirme Yöntemleri

Kömür yıkama yöntemleri, kömürün özelliğine ve yıkanacak kömürün tane iriliğine bağlı olarak değişir. Kömürde bulunan kül ve kükürdün temizlenmesi için kullanılan yöntemler çizelge 3.1’da gösterilmektedir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere, kömür zenginleştirmede kuru yöntemlerin yaş yöntemlere nazaran daha az tercih edildiği görülmektedir [17]. Kömür flotasyonu, kömürün ayıklanması, yoğunluk yöntemleriyle kömürün değerlendirilmesi günümüzde pratik olarak kullanılan geçerli yöntemlerden sayılabilir. Kömürün kimyasal liçi, manyetik zenginleştirilmesi gibi çeşitli özel konular da pratik hale getirilmeye çalışılmaktadır. Kömür zenginleştirme yöntemleri bazen flotasyon, fakat genel olarak yoğunluk farkına göre zenginleştirme yöntemine bağlı olarak yapılan işlemlerdir. Kömür zenginleştirme tesislerinin gelişimiyle ekonomik ve teknolojik nedenlerden dolayı değerlendirilemeyen kül ve kükürt oranları yüksek olan çok sayıdaki kömür yatakları değerlendirme imkanı bulacaktır [18].

Özellikle gelişmiş ülkelerin uyguladığı çevre kanunlarında, doğanın kirlenmesini önleyecek bir takım kısıtlamalar vardır. Temiz yakıt tüketiminin zorunlu kılındığı bu yöntemler kömür yıkamanın önemini artırmıştır. Dünyada son 15 yılda temiz kömür üretimi konusunda çalışmalar yoğunlaştırılmış ve yeni teknolojilerin arayışına gidilmiştir. Kömür yıkama yöntemleri iri ve ince kömürde olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Kömür hazırlamada ince kömür deyimini 0,5 mm’in altındaki boyutlardaki kömürler için kullanılır. Diğer bir sınıflama ise, - 0,6 mm ince, 6-0,6 mm orta boy, + 6 mm ise iri kömür olarak adlandırılmıştır [19].

Çizelge 3.1. Kömürün külünden ve kükürdünden temizlenmesi için kullanılan zenginleştirme yöntemleri [20]

Fiziksel Yöntemler	Yoğunluk farkına göre	İri tane boyutlu (+20 mm)	Yaş yöntemler	-Jig -Ağır ortam -oluk
			Kuru yöntemler	-Havalı jig
		Orta tane boyutlu (-20+2mm ve -2+0,5 mm)	Yaş yöntemler	-İnce kömür jigi -Ağır ortam jigi -Oluk -Sallantılı masa -Su siklonu -Hidroseparator
			Kuru yöntem	-Havalı jig -Sallantılı masa
	Manyetik ve elektrostatik özelliklere göre	-Manyetik ayırma -Elektrostatik ayırma		
Fiziko kimyasal yöntemler	Yüzey özelliklerinden yararlanarak ayırma	Toz kömür (-0,5+0mm)	-Flokülasyon -Flotasyon -Selektif aglomerasyon	
Kimyasal yöntemler	-Kömürün kostik liçi	NaOH, KOH ile		
	-Oksitleme liçi			

Linyitlerin zenginleştirilmesinde; yoğunluk farkına göre, mekanik özellik farkına göre zenginleştirme ve tavuklama yöntemleri kullanılmaktadır. Tavuklama, 10 cm'den büyük iri parçaların (yankayaçların) kömürden bir bant üzerinden elle ayıklanarak uzaklaştırıldığı, işçiliğin ucuz olduğu yörelerde tercih edilir.

Kömürlerin, yankayaçlara göre daha kırılabilir olmasından yararlanan mekanik özellik farkına dayalı zenginleştirmede, linyitler ızgaralı-döner-boru kırıcılardan geçirilirken, kömür

ufalanıp ızgara altına geçmekte, ufalanmayan iri parçalı yankayaç ise şist olarak kırıcıdan dışarı atılmaktadır. Böylece linyitlere üretim anında karışan yankayaçlar ve ara kesme kayalar kömürden uzaklaştırılıp kül oranları düşürülebilmektedir.

% 70-90 sabit karbon veya ısı verimiyle % 10-15 küllü lave üretmeye, uygun yoğunluk ve serbestleşme davranışları gösteren linyitler, yoğunluk farkına göre zenginleştirilen lavvarlarda da zenginleştirilebilmektedir. Kömürlerin gravite yöntemleri ile zenginleştirilebilirlikleri, yüzdürme-batırma deneyleri ve Henry- Reinhard diyagramları ile bulunur.

3.4.1. İnce kömürlerin zenginleştirilmesi

İnce kömür (6, 8, ve 10 mm elek altı) feldspatlı jig, sarsıntılı masa, oluk ve ağır ortam siklonları ile zenginleştirilir. Bazı durumlarda iri kömürleri yıkayan devrelerin mikstleri de kırılarak ince kömürlerle birlikte değerlendirilebilir. Feldspatlı jigler, elek üzerinde feldspat parçalarından oluşmuş suni yatak bulunan su veya basınçlı hava ile çalışan cihazlardır. Kömürde kullanılan sarsıntılı masalar, metal madenciliğinde kullanılanlara göre daha geniş yüzeyli ve daha yüksek eşiklidir. Oluklar ise düz veya dairesel olabilir. Ağır ortam siklonları, kömürün manyetik süspansiyonuyla birlikte siklona basılması ile alt akımdan şistin üst akımdan ise temiz kömürün alınmasını sağlayan cihazlardır. Günümüzde bazı yapısal değişikliklerle bu siklonların 40 mm'den ince kömürlerin temizlenmesinde kullanılmaları da mümkün olmaktadır. Ayrıca, kömürün kendisi veya şist malzeme ile çalışan otojen siklon ince kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır.

Süzme eleklerinin altına geçen su, genellikle ince kömürle birlikte kil içerir. Çevre kirliliği veya proses için gerekli suyun sağlanması amacı ile bu su içindeki katı malzemenin çöktürülmesi gerekmektedir. Bu işlem için çöktürme tankları, koniler veya dekantasyon kuleleri kullanılır. Çöken katılar içinde bulunan çok ince boyutlu kömürün kazanılması, multisiklon bataryaları ve flotasyon ile mümkün olur. Multisiklon bataryalarında şlam küçük çaplı çok sayıda siklona basılır. Şlam içindeki killi mineraller genelde kömüre oranla daha küçük boyutlu olduğundan, bunların üst akımla ayrılması sağlanarak, alt akımda yanabilir kömür oranı yükseltilmiş bir ürün elde edilebilir [19].

3.4.2. Kömür flotasyonu

Flotasyonla zenginleştirme, minerallerinin kırılma yüzeylerinin fiziko-kimyasal özelliklerinin farklı oluşu, yada bu özelliklerini bazı kimyasal reaktifler kullanarak değiştirilmesine dayalı olarak geliştirilmiştir. Bu oluşumda başlıca üç faz mevcuttur. Flotasyon

esnasında birbirine yakın etkisi olan bu fazlar, katı-gaz, katı-sıvı ve sıvı-gaz fazlarıdır. Flotasyon çok ince boyutlu mineralleri zenginleştiren bir yöntemdir. Bu yöntemde ayırma bazı minerallerin hava kabarcıklarına yapışarak yüzmesi ile sağlanır. Bu mineraller yüzey özelliklerine veya çeşitli reaktiflerle yüzey özelliklerinin değiştirilmesine bağlı olarak hava kabarcığına ilişirler. Bu özellikleri göstermeyen diğer mineraller ise su içinde ıslanarak batarlar. Flotasyon işlemi sırasıyla şu işlemleri içerir.

- Cevherin maksimum 0,5-0,2 mm gibi bir boyutun altına öğütülmesi,
- % 15-35 arasında katı içerecek şekilde sulandırılması
- Pülpe, bir veya bir kaç çeşit inorganik kontrol reaktifinin çok az miktarda ilavesi,
- Mineral yüzeyini kaplayarak köpüğe yapışmasını sağlayacak toplayıcı reaktifin ilavesi,
- Dayanıklı hava kabarcığı oluşturan köpürtücü reaktifin ilavesi,
- Karıştırma yolu ile veya basınçlı hava vererek hava kabarcığının oluşturulması,
- Mineral taşıyan köpük zonu ile, köpüğe yapışmayan mineralleri bulunduran pülpün birbirinden ayrılması.

Bu işlemler birbirini takip etmek yerine, bir arada da uygulanabilir. Örneğin birinci işlemi oluşturan öğütme sırasında 3. ve 4. işlemler yani reaktiflerin ilavesi yapılabilir veya pülpde katı oranının ayarlanması öğütme sonrası siklon ve klasifikatör devrelerinde sağlanabilir [21]. Genellikle organik maddeler, inorganik maddelere nazaran suda daha az ıslanma özelliğine sahiptirler. Bu nedenle kömürlerin flotasyonu diğer metalik cevherlere nazaran çok daha kolaydır. Suya ilave edilecek hidrokarbon yağı ve köpürtücü sayesinde kömür parçacıkları yüzeyindeki atomlar, su moleküllerine affinitesi olmaksızın, yüzeyleri ince bir hidrokarbon tabakası ile kaplanır. Böylece hava kabarcıklarına yapışarak köpükle birlikte su yüzeyine toplanırlar.

İnorganik mineral yüzeyleri ise daha çok iyonik, diğer bir deyimle iyonlarla kaplı olduğundan, suda bulunan molekül ve iyonlara karşı daha hassas oluşu nedeniyle daha fazla ıslanmaya yöneliktirler.

Flotasyon, mineral endüstrisi dışında, bazı ince şist maddelerle çevre kirlenmesine karşı ve bazı endüstriyel ürünlerin saflaştırılmasında da uygulanabilir. Bunlar içinde kolloidal atık suların temizlenmesi, lavvar atık sularının temizlenmesi, atık fotoğraf çözeltilerinden gümüş kazanılması, tohumların flotasyonla ayrılması gibi uygulamalardan bahsedilir. Flotasyon, 0,5

mm'den mikron boyutuna kadar değişen cevhere uygulanabilir. 0,2 mm'den daha iri parçalarda, özgül ağırlık fazla ise, köpükle taşınma zorlaşabilir. İnce taneli malzemelerin yüksek oranda bulunması ise, flotasyonu güçleştirebilir ve bazen imkansız hale getirebilir [21]. Bir katı maddenin diğer katı maddelerden ayrılmasını sağlayan flotasyon yönteminde diğer kimyasal usullerden farklı olarak üç faz bulunur. Bunlar; yüzdürülen katı fazı, muhtelif elektrotları bulunduran sıvı veya genellikle su fazı, hava kabarcığı meydana getiren gaz veya hava fazıdır. Her flotasyon sisteminde bu üç faz temas halindedir. Flotasyon sistemlerinin anlaşılmasında, bu üç faz arasındaki ara yüzeylerin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmelidir.

Bazıları dışında inorganik katıların yüzeyleri su içinde ıslanırlar. Bunun sebebi, katı yüzeyindeki iyonların, su içindeki hidrate iyonlarla bağlantı kurmalarıdır. Bu hidrate iyonlar, suda bulunan hidrojen ve hidroksil iyonları olabildiği gibi, su içinde bulunan diğer elektrolitlerde olabilir. Flotasyonda ilk kademe, yüzdürölmek istenen mineralin yüzeyinde su-katı ara yüzeyi yerine, katı-hava ara yüzeyi meydana getirmektir. Bu, su fazına uygun kimyasal maddelerin ilavesi ile meydana getirilir. Bu reaktiflerle mineral yüzeyi arasındaki reaksiyon neticesinde, mineral yüzeyinde suyu iten (hidrofil) bir tabaka meydana gelir. Mineral yüzeyi ile kimyasal madde arasındaki reaksiyonun tarifi ve tayini termodinamik prensiplerle mümkündür.

Flotasyon kömürün zenginleştirilmesinde kullanılan bir diğer yöntemdir. Flotasyon kil ve piritin uzaklaştırılmasında en etkin yöntem olarak görünmektedir. Bu nedenle, ince kömür temizlemede en fazla geleceği olan bir yöntemdir [22]. Kömür flotasyonunun yaygın bir şekilde günümüzde kullanımı aşığıda belirtilen sebeplerden kaynaklanmaktadır.

- Kömürün yıkanması gün geçtikçe önem kazanmaktadır.
- Külü düşük kaliteli kömürlerin üretilmesi,
- Açığa çıkan toz kömürün ekonomik değer taşımasıdır.

Kömürün flotasyon ile kazanılması pratikte en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur. Günümüzde çoğu tesiste ince toz kömür (-1 mm) bu yöntemle değerlendirilmekte ve hatta bazen kül ve kükürt içeriği bu yöntemle düşürölmektedir. Kömür flotasyonunda optimum tane boyutu 0,1-0,3 mm' dir. Kömür flotasyonunda iri (yaklaşık +250 μm) ve ince yaklaşık (- 20 μm) oranının aşırı miktarda artması bu boyut gruplarının zayıf yüzebilirliklerinden dolayı flotasyon işlemini zorlaştırdığı ve sonuçları etkilediği belirlenmiştir [23]. Kömürün hidrofob özelliği mineralojik yapısına,

petrografik yapısına, kömürün oksitlenme derecesine, bünyesindeki gang mineraline bağlı olarak değişir.

Kömür genelde doğal olarak hidrofobdur ve suda yüzer. Oksitlenmiş kömürler daha az hidrofobdur. Çünkü oksitlenmiş kömür yüzeyinde karbonil ve karboksil grupları meydana gelir. Bu da kömürün su ile reaksiyona girmesine neden olarak kömürü hidrofil yapar. Kömür tanelerinin yüzeyi çok rahatlıkla ve çabucak oksitlenebilir. Ayrıca, gözenekli yapı kömür yüzeyliliğine tek yönde etki yapar. Gözeneklilik arttıkça kömür tanesi, bünyesine su alacağından, kömür hidrofob bile olsa flotasyon hücresinde hidrofil bir tane gibi davranır.

Yoğunluğa göre ayrılamayan kül, mineral madde içeriği, kömür flotasyonu ile giderilebilir. Bu nedenle kömür flotasyonu kömürün kalitesini (özellikle kül mineral madde içeriği yönünden) arttıran bir yöntemdir. Günümüzde çok yaygın olarak toz kömürün temizlenmesinde kullanılır. Yöntemin etkinliğini artıran parametreler sırasıyla;

- Kömürün cinsi ve kömürleşme derecesi,
- Kömür tane iriliği,
- Pülp yoğunluğu,
- pH ve su karakteristiği,
- Reaktiflerdir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Malzeme ve Yöntem

4.1.1. Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzeme Kütahya ilinin Tavşanlı ilçesine bağlı Tunçbilek bölgesinde bulunan Tunçbilek Lavvarının tikner altından alınmıştır. Numune 50 kg.lık plastik ve hava almaz kaplara konularak Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'na getirilmiştir. Kimyasal ve elek analizi için uygun numune ayırma yöntemi ile örnekler alınmıştır. Elek fraksiyonlarına göre yüzde ağırlıklar ve kimyasal analizi sonuçları (% kükürt, kül ve kalori) tablo halinde çizelge 4.1'de verilmiştir. Ayrıca seçilen temiz kömür ve kil örneklerinde zeta potansiyeli ölçülmüş ve şekil 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Tikner altı numunenin elek,kükürt ,kül ve kalori analizi

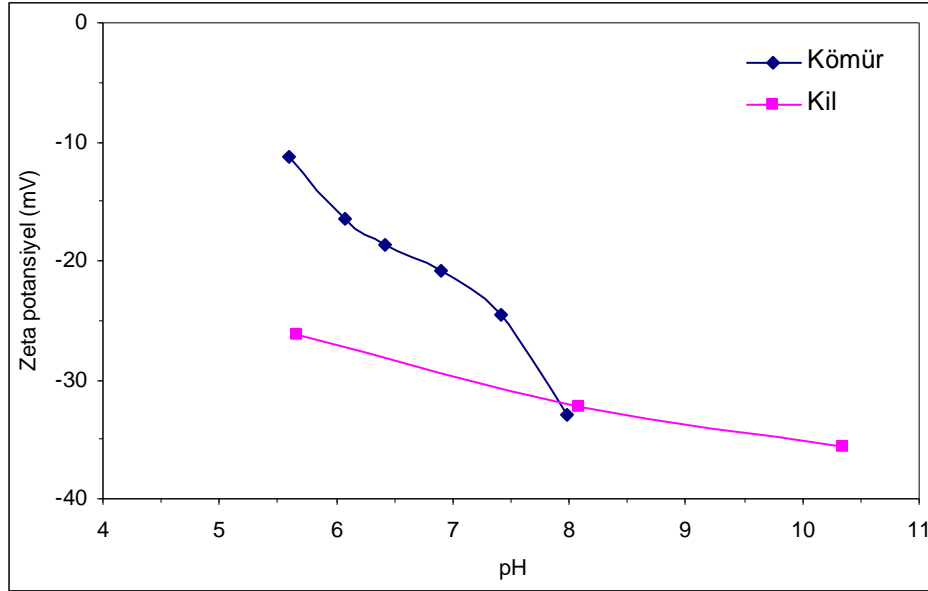
Tane Boyu (mm.)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Kümülatif Elek Altı (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kalori (Kcal/kg)
+2,36	7	1,59	100,00	5,15	58,60	2498
-2,36 + 1,18	7	1,59	98,41	2,77	49,30	3278
-1,18 + 0,850	6	1,36	96,82	2,80	53,80	2901
-0,850 + 0,425	17	3,87	95,46	3,31	46,20	3539
-0,450 + 0,250	19	4,32	91,59	3,20	46,55	3509
-0,250 + 0,180	14	3,18	87,27	3,01	50,25	3199
-0,180 + 0,125	12	2,73	84,09	2,97	51,35	3106
-0,125 + 0,106	7	1,59	81,36	2,84	52,85	2980
-0,106 + 0,075	11	2,5	79,77	2,00	54,70	2825
-0,075 + 0,053	9	2,05	77,27	2,71	59,35	2435
-0,053 + 0,038	4	0,91	75,22	2,90	58,80	2481
-0,038	326	74,31	74,31	1,74	79,10	777
Toplam(tüvenan)	439			2,07	71,70	1398

Çizelge 4.1'e göre; numunenin büyük bir bölümü 38 mikronun altındadır (%74.31). Toplam kükürt % 2.07, kül miktarı % 71.70 ve kalorisi ise 1398 Kcal/kg dır. En çok kül içeren fraksiyon ise 38 mikronun altıdır (%79.1). Bu fraksiyonun kalori değeri de oldukça düşüktür (777 Kcal/kg). Bu çalışmada 106 mikron boyut üstü zenginleştirilmeye çalışılmıştır. Bu da numunenin % 20.23 oluşturmaktadır. Alt boyut, yani 106 mikronun altı klasik flotasyon kolonu

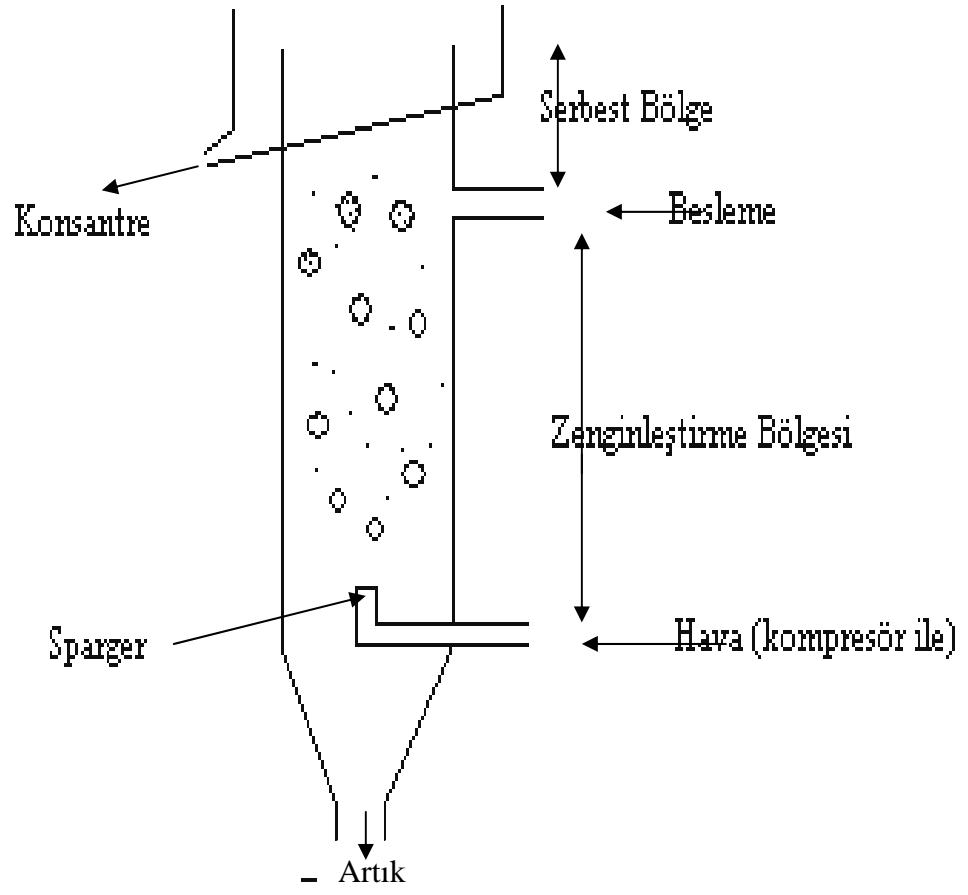
veya Jameson flotasyon hücresi ile zenginleştirilmesi gerektiğinden bu çalışmada üzerinde durulmamıştır. İri boyutlara uygun olan modifiye flotasyon kolonu bu çalışmada kullanılmıştır (Şekil 4.3).

4.1.2. Zeta potansiyel çalışması

Zeta potansiyel çalışmalarında mikroskopta seçilen temiz kömür ile kömür içerisinde bulunan kil numuneleri kullanılmıştır. Zeta potansiyel ölçümleri elektroforez tekniği ile çalışan zeta+ cihazında yapılmıştır. Ölçümler, 0,5 gr numune 50 ml'lik beherde 10 dakika belirli pH'larda (saf suya eklenen numunelerin pH'ları NaOH ve HCl ile ayarlanmıştır) şartlandırıldıktan sonra 5 dakika dinlendirilmesi ve iri taneciklerin çökmesi sağlanmış ve daha sonra cihazın hücresine konularak yapılmıştır. Her seferde 10 ölçüm yapıp cihazın mikro işlemcisinden ölçümlerin ortalaması alınmış ve zeta potansiyel değerleri cihazdan okunarak kaydedilmiştir.

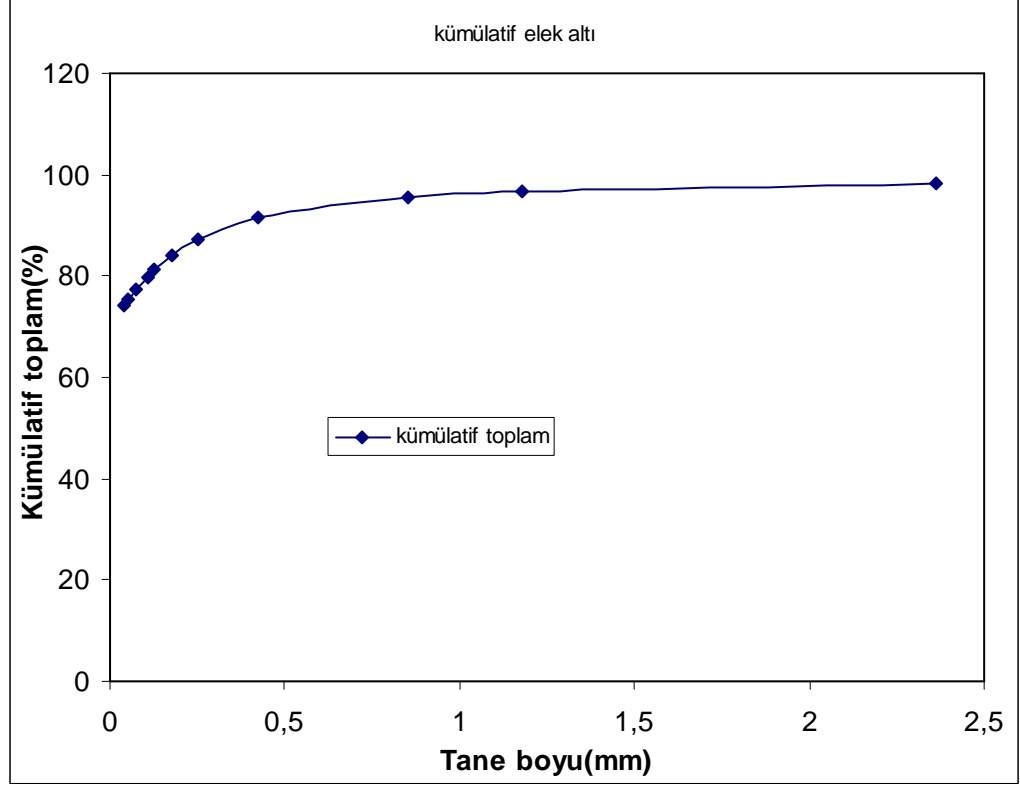


Şekil 4.1. Tunçbilek kömür ve kilinin zeta potansiyeli değerleri.



Şekil 4.2 Modifiye flotasyon kolonu.

Numunenin kumulatif elek altı sonuçları Şekil 4.3'e sunulmuştur. Bu şekilde de görüldüğü gibi malzemenin % 74.32'si 38 mikronun altındadır.



Şekil 4.3. Numunenin Elek Analizi

Flotasyon çalışmalarında malzeme iki fraksiyona ayrılarak zenginleştirilmeye çalışılmıştır. Bu fraksiyonlar $-1,18 + 0,425$ mm ve $-0,425 + 0,106$ mm boyut gruplarıdır (+1.18 fraksiyon az olduğu için boyut küçültme ile flotasyon numunelerine katılmıştır). $-1,18 + 0,425$ mm boyut fraksiyonu beslemenin kül içeriği % 49.05 ve $-0,425 + 0,106$ mm boyut grubu beslemenin kül içeriği % 50.21 dir. Her deney için yaklaşık olarak 100 gram örnek kullanılmıştır. Deneyden önce kolonun aşağıda açıklanan önemli parametreleri ayarlanmıştır;

- Kolonu doldurmak için karıştırma düzeneğine sahip 30 litrelik kova çeşme suyu ile doldurulmuş ve içine gerekli miktarda köpürtücü ilave edilerek 2 dakika karıştırılmış,
- Sonra köpürtücülü su kolona beslenerek kolon doldurulmuş,
- Kolona hava verilerek kabarcık çapları fotoğraf yöntemiyle ölçülmüş,
- Hava debisi değiştirilerek arzu edilen hold-up direkt ayarlanmaya çalışılmış,
- Son olarak ta besleme ve artık pompasının debileri ayarlanmıştır.

Yukarıda açıklanan parametreler ayarlanıp, kolon çalışır duruma getirilmiştir. Numune flotasyon hücresinde 2 dakika karıştırıldıktan sonra şlamı atılmıştır. Daha sonra % 30 katı oranına getirilip, toplayıcı ilave edilmiştir (toplayıcı olarak kullanılan gazyağı, mazot ayrı ayrı ilave su ile, ayrıca % 80 gazyağı ve %20 mazot karışımı yine ilave su ile mikserde emülsiyon haline getirilerek ortama ilave edilmiştir). Numune 10 dakika koşullandırılmıştır ve % 10 katı oranına getirilmek için çeşme suyu ilave edilmiştir. Koşullandırılan numune kolona pompa ile beslenmiştir. Konsantre ve artık ayrı ayrı kovalarda toplanmış, filtre edilmiş ve daha sonra kurutularak miktarlarını belirlemek için tartımları alınmıştır. Konsantre ve artıklardan kimyasal analiz için örnekler alınmış, kükürt, kül ve kalori analizleri yapılmıştır.

4.2. Deney seti

Flotasyon deneyleri 6 cm çapında, 5,23 m uzunluğunda modifiye flotasyon kolonunda yapılmıştır. Kolon pleksiglastan yapılmış olup, içinde ve alt kısmında paslanmaz çelikten sparger (kabarcık üretim sistemi) bulunmaktadır. Kolonda hold-up'ın direkt olarak ölçümü, kolonun alt tarafından kolona doğrudan bağlı ve kolon boyunca yukarıya doğru uzanan şeffaf ince boru yardımıyla yapılmıştır. Deney setini tamamlayıcı olarak iki adet pompa; besleme pompası, artık pompası, hava debisini ölçen flowmetre ve otomatik basınç kontrol cihazı, kompresör, besleme kabı kullanılmıştır. Koşullandırma işlemi laboratuvar tipi bir litrelik flotasyon hücresinde yapılmıştır. Kolon içindeki hava kabarcıklarının çapını belirlemek için dijital kamera ve kolon içine sarkıtılmış şerit metre (mm taksimatları bulunan) kullanılmıştır. Alınan fotoğraflar üzerinden kabarcık çaplar ölçülmüştür (Şekil 4.7.). Ayrıca yüzen kömür taneciklerinin (konsantre) fotoğrafı da kolon üzerinden çekilmiştir (Şekil 4.5 ve 4.6).

Kullanılan modifiye kolonunda;

- Yıkama suyu kullanılmamış,
- Haliyle köpük bölgesi yoktur.
- Kolonun üst kısmında (besleme noktasının üstü) yaklaşık olarak 85 cm. ölü zon (köpük bölgesi yok) bulunmaktadır.

4.3. Deneysel Çalışma Koşulları

- Tane boyutu: - 1.18 + 0.425 mm.
 - 0.425 + 0.106 mm.
- Hold-up: % 5 ile % 25 arası,
- Katı oranı: % 10
- Besleme debisi: 1,2 l/dak.
- Artık debisi : 0,980 l/dak.
- Kesitsel su hızı (bias negatif): 0.13 cm/saniye,
- Hava debisi istenilen hold-up değerine göre: 1000-2500 cm³/ dak.
- Kolşullandırma süresi: 10 dakika,
- Katı oranı: %10,
- Köpürtücü: MIBC (25 ppm),
- Toplayıcı olarak gazyağı ve mazot ayrı ayrı 15, 20, 25, 30 ve 35 kg/ton, ayrıca %80 gazyağı ve % 20 mazot karışımı 25 kg/ton kullanılmıştır.
- Kabarcık çapı: 1 – 1.5 mm arası.



Şekil 4.4 DPÜ Müh.Fak.Maden Müh. Laboratuvarında bulunan flotasyon kolonu



Şekil 4.5 Köpük-taşma bölgesi



Şekil 4.6 Yüzen kömür tanelerinin taşması



Şekil 4.7 Flotasyon Kolonunda Kabarcık Boyunun Ölçülmesi

4.4. Deneysel Sonuçlar

Deneysel çalışmalarda farklı iki boyut (-1,18 + 0,425 mm ve -0,425 + 0,106 mm) numune kullanılmış ve her boyut için aşağıdaki parametrelerin etkisi araştırılmıştır;

- Uygun toplayıcı miktarı,
- Uygun hold-up değeri.

Yukarıdaki parametrelerin etkileri çizelgelerde ve şekillerde sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

4.4.1. Uygun toplayıcı miktarı

Kömürlerin flotasyonunda kullanılan toplayıcı cinsleri belli olduğundan, ayrıca toplayıcı tipinin araştırmasına gerek duyulmamıştır. Deneysel çalışmalarda gazyağı, mazot ve gazyağı + mazot karışımı kullanılmıştır. Bu çalışmalarda sadece toplayıcı miktarı belirlenmeye çalışılmıştır.

4.4.1.1. -1,18 + 0,425 mm Boyut Aralığı

Bu çalışmada hold-up sabit tutularak (%9) gazyağı miktarı denenmiştir. Sonuçları çizelge 4.2' de ve şekil 4.8'da verilmiştir. Uygun gazyağı miktarı belirlendikten sonra, bu değere göre uygun hold-up değeri araştırılmıştır. Bununla ilgili sonuçlar çizelge 4.3' de ve şekil 4.9'de sunulmuştur.

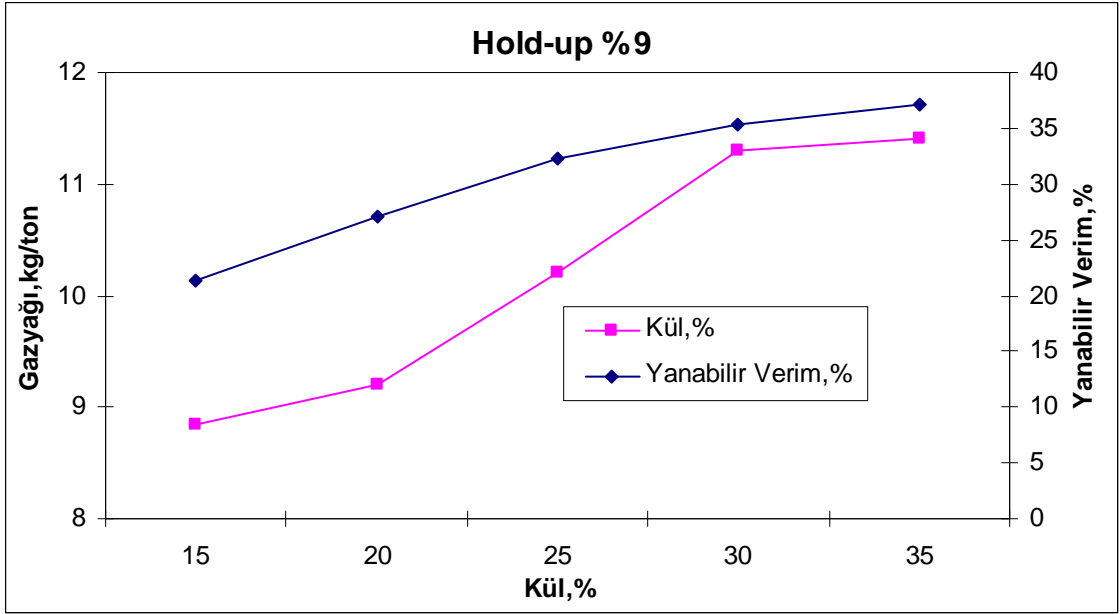
Çizelge 4.2. -1,18 + 0,425 mm tane boyutlu numunenin flotasyonuna gazyağı miktarının etkisi

Hold-up	Gazyağı (kg/t)	Konsantre (%)	Artık (%)	Besleme (%)	Yanabilir Verim(%)	Kül (%)	Kalori (Kcal/kg)
9	15	11,91	88,09	100	21,31	8,85	6674
9	20	15,2	84,8	100	27,09	9,20	6644
9	25	18,3	81,7	100	32,25	10,20	6560
9	30	20,27	79,73	100	35,29	11,30	6468
9	35	21,4	78,6	100	37,21	11,40	6460

Çizelge 4.2 ve şekil 4.8 incelendiğinde;

- Gazyağı miktarı arttıkça yanabilir verim ve % kül miktarı artmakta, bu nedenle de kalori miktarı azalmaktadır.

- Gazyağı miktarı ton başına 30 – 35 kg civarında kullanıldığında kül ve kalori değerlerinde fazla değişiklik görülmemektedir. Sonuç olarak; toplayıcı miktarı 25, 30 veya 35 kg/ton kabul edilebilir. Ancak ortamın türbülansına etkisi olan hold-up'ın araştırılması gerekir. Düşük gazyağı miktarında ve düşük hold-up değerlerinde yüksek yanabilir verim ve uygun kalori elde edilebilirse bu gazyağı miktarı yeterlidir denebilir.



Şekil 4.8 Toplayıcı miktarının kül ve yanabilir madde verimi üzerine etkisi.

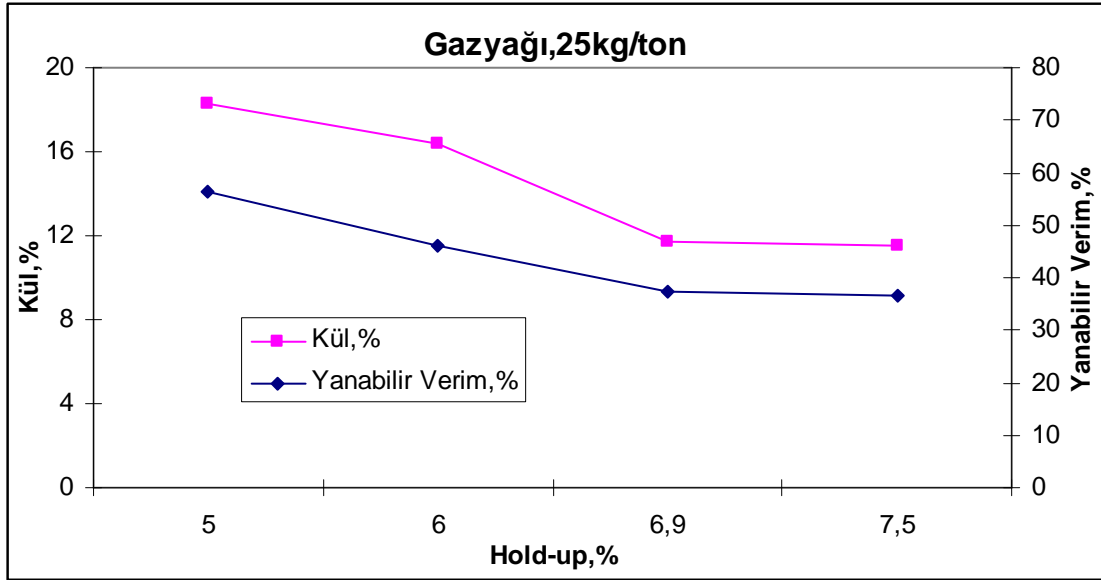
Yukarıdaki sonuçlar ışığında gazyağı miktarı 25 kg/ton alınarak hold-up'ın farklı değerlerinde flotasyon deneyleri yapılmış ve sonuçları çizelge 4.3 ve şekil 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.3. -1,18 + 0,425 mm boyutu üzerine hold-up'ın etkisi.

Hold-up	Gazyağı (kg/t)	Konsantre (%)	Artık (%)	Besleme (%)	Yanabilir Verim(%)	Kül (%)	Kalori (Kcal/kg)
5	25	35,20	64,80	100	56,44	18,30	5681
6	25	28,18	71,42	100	46,24	16,40	6040
6,9	25	21,65	78,35	100	37,52	11,70	6435
7,5	25	21,07	78,93	100	36,60	11,50	6451

Hold-up'ın flotasyon verimi üzerine etkisini gösteren çizelge 4.3 ve şekil 4.9'deki sonuçlar incelendiğinde;

- Hold-up artışı ile yanabilir verim ve % kül düşmekte, böylece kalori miktarı artmaktadır. Hold-up % 9 'da ve 35 kg/ton toplayıcı ile elde edilen değerler (çizelge 4.2 ve şekil 4.8), hold-up % 6.9 da ve 25 kg/ton toplayıcı ile de elde edilmiştir. Burada en önemli sorun ortamın türbülansıdır. Hold-up azaldıkça ortamın türbülansı da azalmakta ve iri kömür taneleri kolaylıkla yüzmektedir.
- % kül ve kalori miktarına bakılınca; hold-up % 7 civarı uygun hold-up olup, kül miktarı yaklaşık % 11.70 ile 11.50 civarında ve kalori ise 6435 ile 6451 aralığında olmaktadır.



Şekil 4.9. Hold-up artışının kül ve yanabilir madde verimi üzerine etkisi.

Gazyağı miktarı biraz daha düşürülerek, yani 20 kg/ton olarak alınarak hold-up'ın etkisi araştırılmıştır. Yukarıda elde edilen yanabilir verim, kül ve kalori değerleri daha az gazyağı tüketimi ile yakalanabilir mi amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Sonuçları çizelge 4.4 ve şekil 4.10'da sunulmuştur.

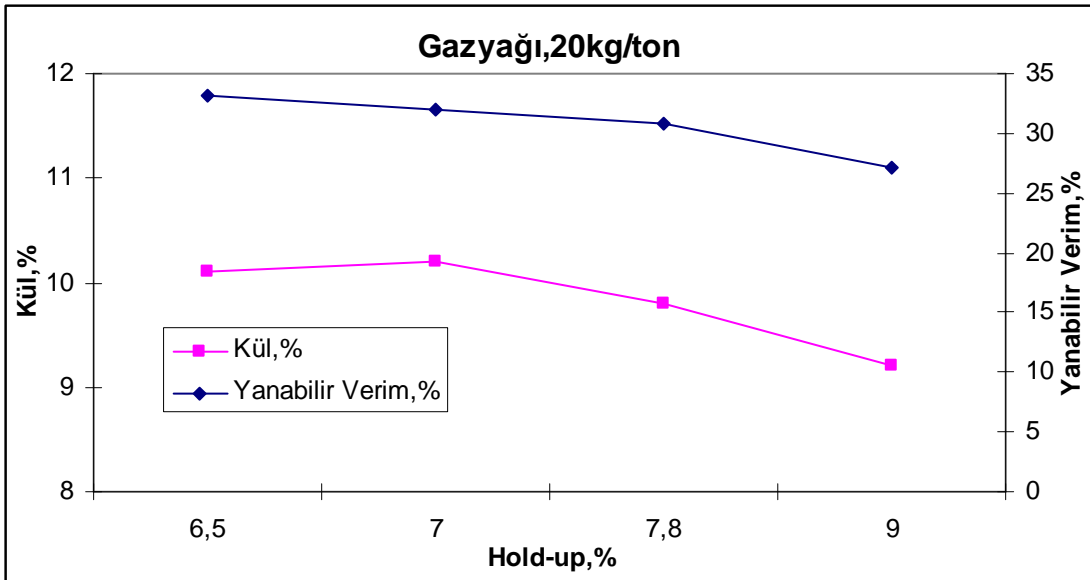
Çizelge 4.4. -1,18 + 0,425 mm boyutu üzerine hold-up'ın etkisi

Hold-up	Gazyağı (kg/t)	Konsantre (%)	Artık (%)	Besleme (%)	Yanabilir Verim(%)	Kül (%)	Kalori (Kcal/kg)
6,5	20	18,78	81,22	100	33,13	10,11	6568
7	20	18,16	81,84	100	32,01	10,20	6560
7,8	20	17,4	82,60	100	30,80	9,80	6594
9	20	15,2	84,80	100	27,09	9,20	6644

Gazyağı miktarı 20 kg/ton durumunda; hold-up % 6.5'den başlamak üzere yapılan dört flotasyon sonucuna göre (Çizelge 4.4 ve şekil 4.10);

- Yanabilir madde verimi maksimum %33.13 olup, 25 kg/ton gazyağı miktarına göre düşüktür.
- 25 kg/ ton gazyağı miktarına göre % kül düşük ve kalori değerleri ise yüksektir. Bu da normaldir. Çünkü kömürleşme derecesi yüksek kömürler az toplayıcı ile yüzme eğilimindedir.
- Bu sonuçlara göre; gazyağı miktarı ton başına 25 kg ve hold-up'ın da % 7 civarında olması idealdir.

Kolon için belirlenen uygun gazyağı değerinde (25 kg/ton) flotasyon hücresinde de flotasyon deneyleri yapılmış ve % 12.34 kül içeren 6400 Kcal/kg kalorili % 18 konsantre elde edilmiştir. Yanabilir verimi ise % 31 olup, kolona göre performansı düşüktür.



Şekil 4.10. Hold-up'ın % kül ve yanabilir madde verimi üzerine etkisi.

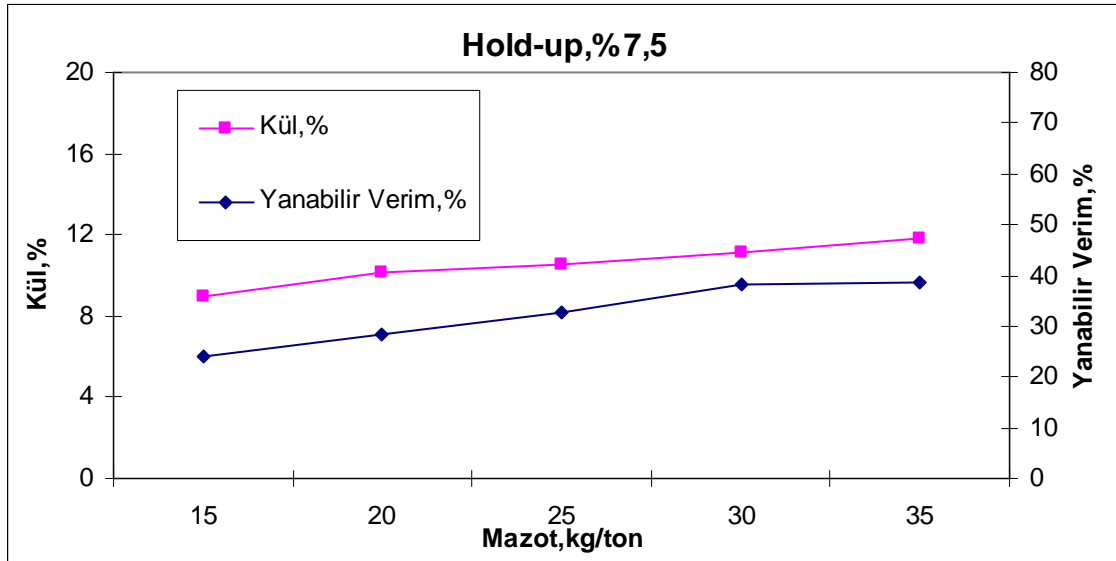
Toplayıcı olarak mazot kullanımında, flotasyon sonuçları çizelge 4.5 ve şekil 4.11'da verilmiştir. Çizelge 4.5 ve şekil 4.11'da verilen sonuçlar; hold-up'ın % 7.5'te sabit tutulduğu ve mazot miktarının değiştirildiği ortamdaki flotasyon değerleridir.

Çizelge 4.5. -1,18 + 0,425 mm boyutu üzerine mazotun etkisi.

Hold-up	Mazot (kg/t)	Konsantre (%)	Artık (%)	Besleme (%)	Yanabilir Verim(%)	Kül (%)	Kalori (Kcal/kg)
7,5	15	13,51	86,49	100	24,13	9,00	6661
7,5	20	16,14	83,86	100	28,48	10,10	6569
7,5	25	18,52	81,48	100	32,53	10,50	6535
7,5	30	21,93	78,07	100	38,26	11,10	6485
7,5	35	22,42	77,58	100	38,81	11,80	6426

Toplayıcı olarak mazot kullanımında elde edilen sonuçlara göre;

- Toplayıcı artışı ile verim ve % kül değerleri artmakta, kalori ise azalmaktadır.
- Elde edilen değerlerle gazyağının kullanıldığı flotasyon değerleri karşılaştırıldığında; gazyağı mazota göre daha etkili toplayıcı olduğu görülmektedir. Örneğin; Çizelge 4.3'te; hold-up: %7.5 ve gazyağı miktarı: 25 kg/ton; yanabilir madde verimi: %36.60, kül:% 11.50 ve kalori: 6451 Kcal/kg.

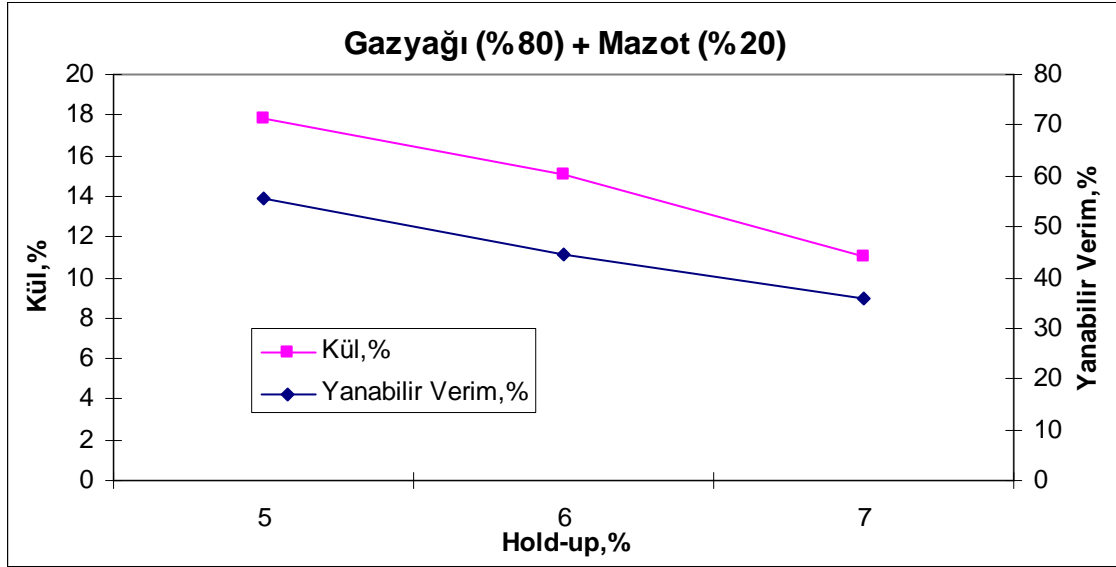
**Şekil 4.11.** Mazot miktarının kül ve yanabilir madde verim- üzerine etkisi.

Gazyağı ve mazot karışımı ile hazırlanan (% 80 gazyağı ve % 20 mazot) toplayıcının etkisini araştırmak amacıyla yapılan flotasyon deneylerinin sonucu çizelge 4.6 ve şekil 4.12' de sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Gazyağı ve mazotun karışımı toplayıcının etkisi.

Hold-up, %	%80 Gazyağı + % 20 Mazot					Kül %	Kalori (Kcal/kg)
	Gazyağı ve mazot (kg/t)	Konsantre %	Artık %	Besleme %	Yanabilir Verim,%		
5	25	34.50	65.50	100	55.66	17.80	5918
6	25	26.80	73.20	100	44.65	15.12	6230
7	25	20.49	79.51	100	35.78	11.02	6460

Gazyağı ve mazot karışımı toplayıcı kullanımında elde edilen yanabilir verim sadece gazyağı kullanımındaki koşullarda elde edilen sonuçlara göre (Çizelge 4.3) biraz düşük. Ancak ekonomik açıdan gazyağı ve mazot karışımı bu artıklar için toplayıcı olarak kullanılmasında yarar vardır. Konsantrenin % kül ve kalori açısından hold-up % 7 daha uygundur. Ekonomik nedenlerden dolayı - 0,425 mm + 0.106 mm boyut aralığı için toplayıcı olarak %80 gazyağı + % 20 mazot karışımı kullanılmıştır.



Şekil 4.12. Toplayıcı olarak gazyağı+mazotun kullanıldığında hold-up'ın % kül ve yanabilir madde verim üzerine etkisi

4.4.1.2. - 0,425 mm + 0.106 mm Boyut Aralığı

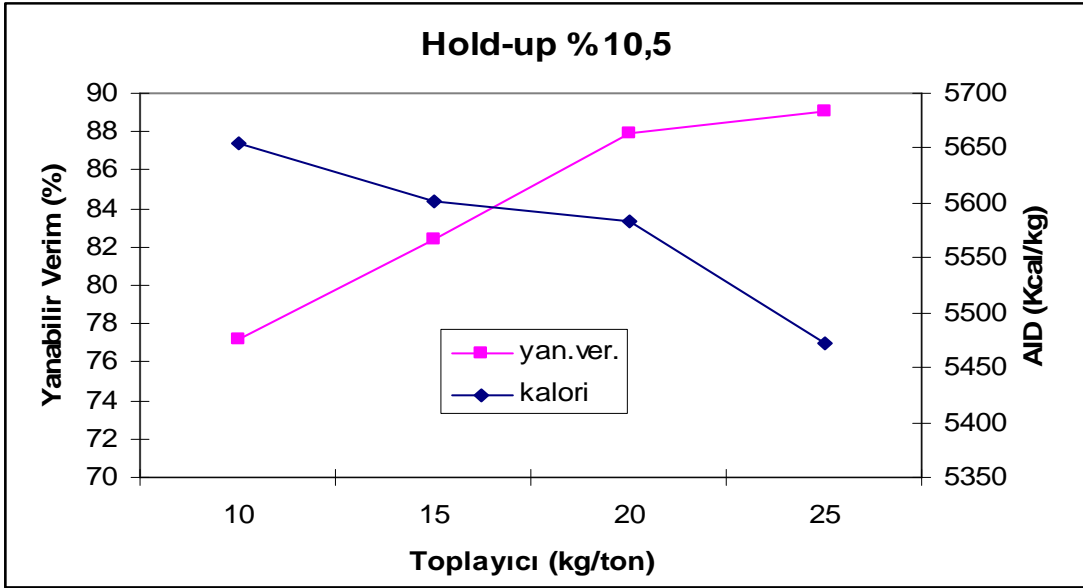
Bu boyut grubu için 17 adet flotasyon deneyi yapılmıştır. Önce sabit hold-up'lar da toplayıcı miktarının (% 80 gazyağı + % 20 mazot) verim, % kül ve kalori üzerine etkisi araştırılmış ve bu sonuçlar ışığında uygun toplayıcı miktarı belirlenmiştir. Daha sonra uygun hold-up tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan flotasyon çalışmalarında gang minerallerinin uzaklaştırılması işlemi yapılmamıştır. Nedeni ise; alt boyutun ince olmasıdır (0.106 mm). Sonuçlar tablo halinde çizelge 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.13 - 4.22'de ise grafiksel olarak sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4.7. -0,425 + 0,106 mm boyut aralığı için yapılan deney sonuçları

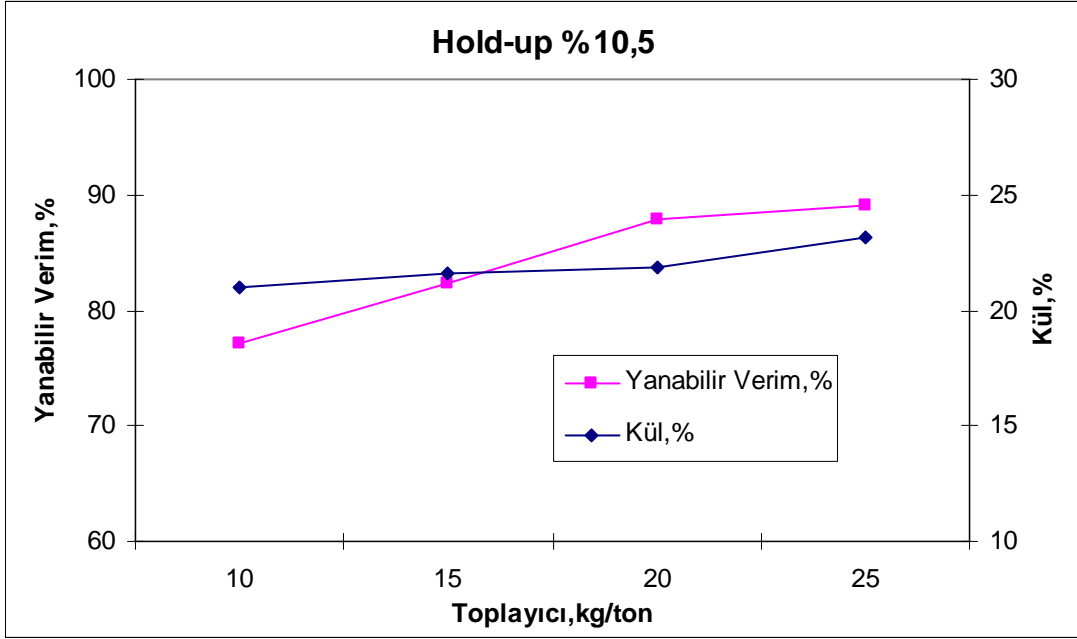
Hold-up, %	425+106 Mikron %10 Katı Oranı						
	Toplayıcı (%80 gazyağı + %20 mazot) (kg/t)	Konsantre (%)	Artık %	Besleme %	Yanabilir Verim(%)	Kül %	Kalori (Kcal/kg)
10,5	10	48,62	51,38	100	77,14	21,00	5654
10,5	15	52,36	47,64	100	82,42	21,63	5601
10,5	20	56,02	43,98	100	87,95	21,83	5584
10,5	25	57,71	42,29	100	89,05	23,17	5472
15	10	47,62	52,38	100	75,85	20,69	5680
15	15	49,66	50,34	100	77,80	22,00	5570
15	20	55,15	44,85	100	85,93	22,42	5535
15	25	56,69	43,31	100	87,20	23,41	5452
20	10	36,05	63,95	100	59,37	18,00	5906
20	15	42,29	57,71	100	68,37	19,50	5780
20	20	49,44	50,56	100	77,33	22,12	5560
20	25	50,8	49,2	100	79,07	22,50	5528
25	10	35,75	64,25	100	59,45	17,20	5973
25	15	41,56	58,44	100	67,61	19,00	5822
25	20	48,8	51,2	100	77,23	21,20	5637
25	25	50,1	49,9	100	78,49	22,00	5570
10,5	25	57,71	42,29	100	89,05	23,17	5472
15	25	56,69	43,31	100	87,20	23,41	5452
20	25	50,8	49,2	100	79,07	22,50	5528
25	25	50,1	49,9	100	78,49	22,00	5570

Deneysel sonuçların sunulduğu çizelge 4.7 incelendiğinde;

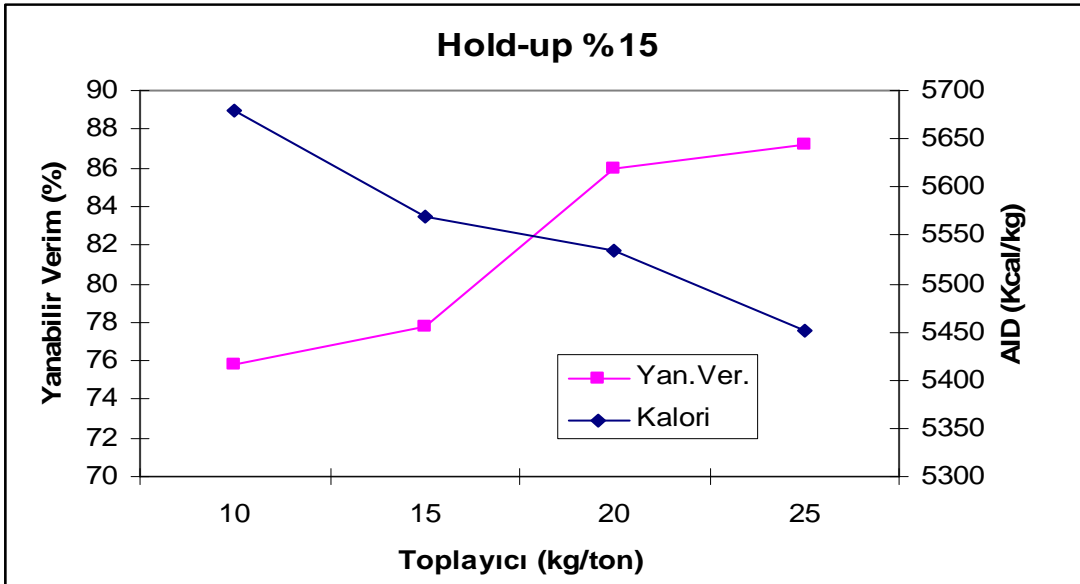
- Dört farklı hold-up grubunda (% 10,5, 15, 20 ve 25) ve farklı toplayıcı miktarlarda toplayıcı artışıyla verim ve % kül artmakta, kalori değeri ise azalmaktadır.
- Bu değerlere göre en uygun toplayıcı miktarı 25 kg/t görünmektedir.
- Belirlenen 25 kg/ton toplayıcı miktarına göre de en uygun hold-up değeri ise % 20 görünmektedir. Bu durumda; yanabilir verim % 79.07, konsantrenin külü; % 22.50 ve kalorisi; 5528 Kcal/kg dır. Flotasyon işleminden önce gang minerallerinin uzaklaştırılması işlemi yapılırsa % kül değeri daha da düşebilir.



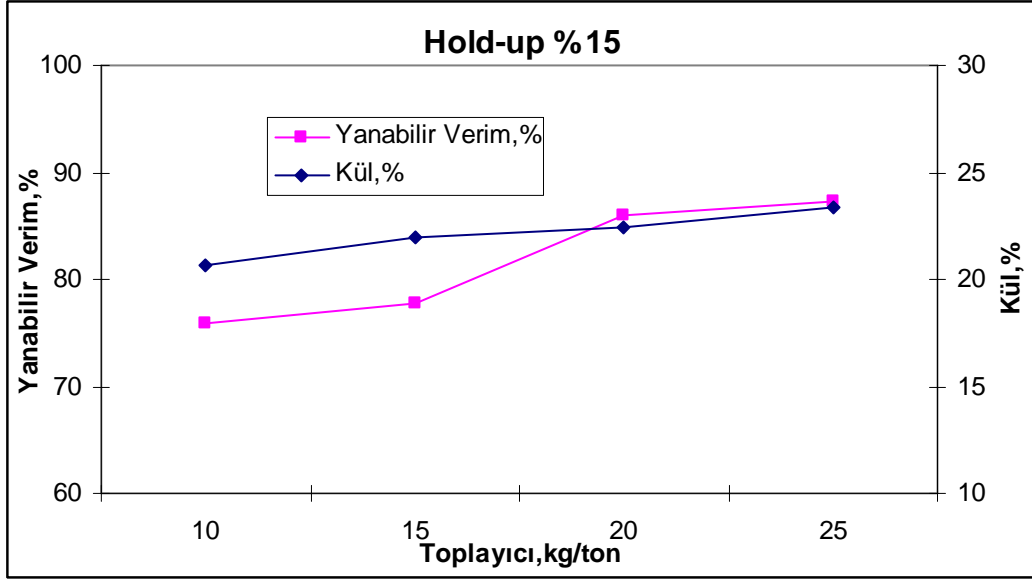
Şekil 4.13. Hold-up % 10,5 iken toplayıcı miktarının yanabilir verim ve kaloriye etkisi.



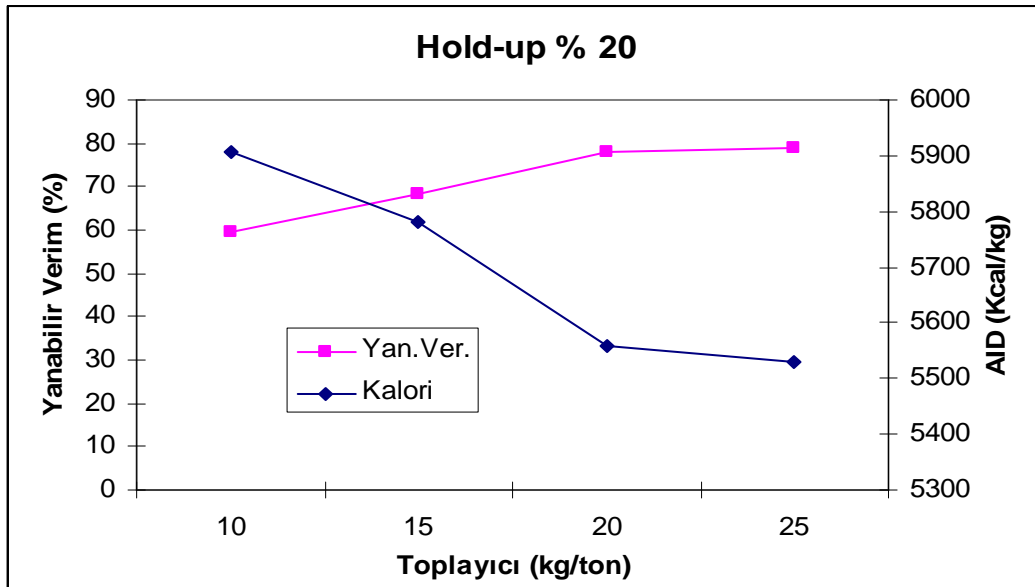
Şekil 4.14. Hold-up % 10,5'te toplayıcı artışının kül ve yanabilir verime etkisi



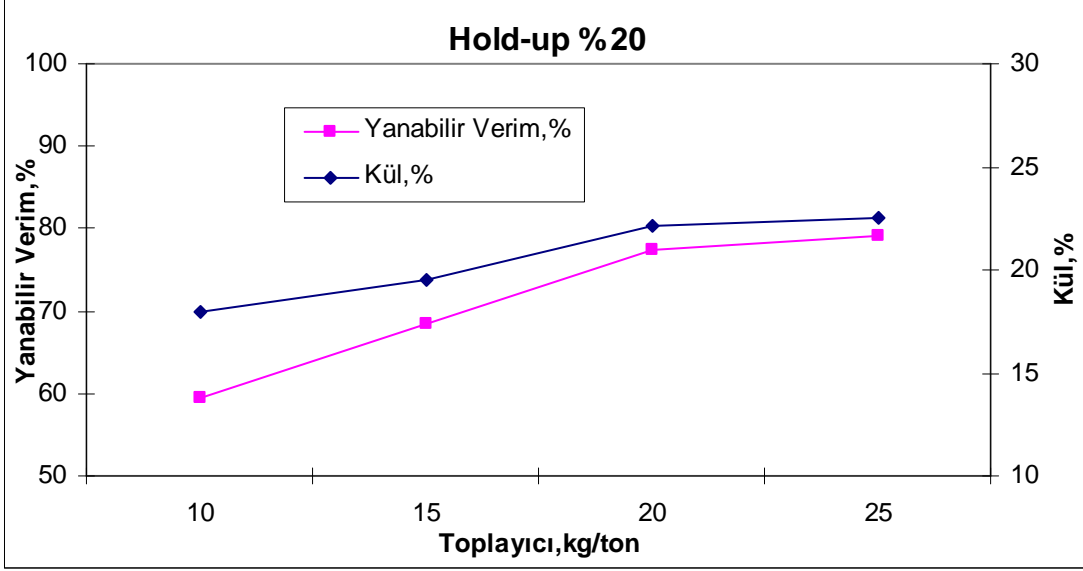
Şekil 4.15. Hold-up % 15 iken toplayıcı miktarının yanabilir verim ve kaloriye etkisi



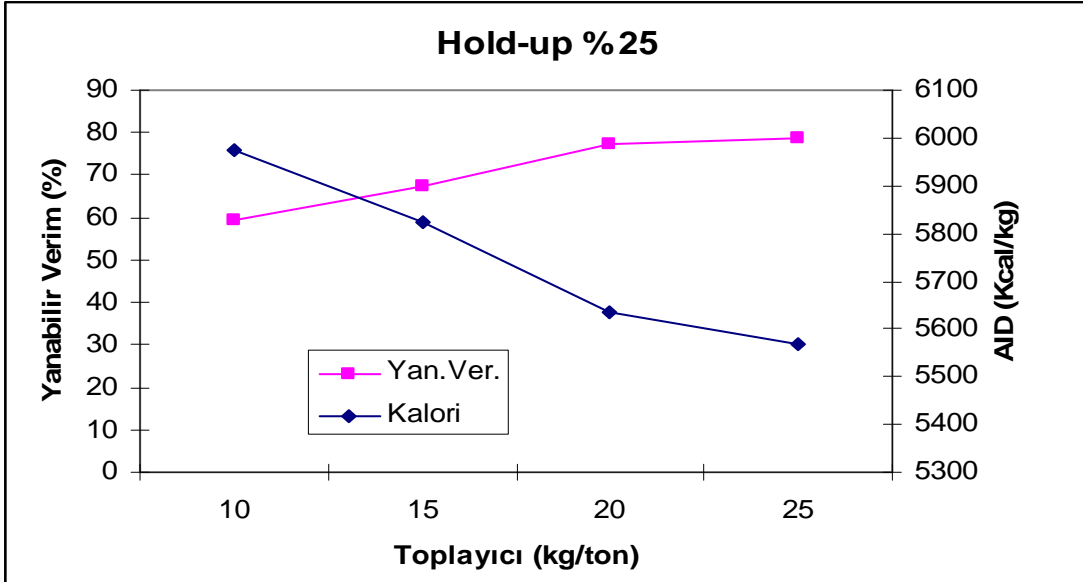
Şekil 4.16. Hold-up % 15 iken toplayıcı miktarının yanabilir verim kül üzerine etkisi



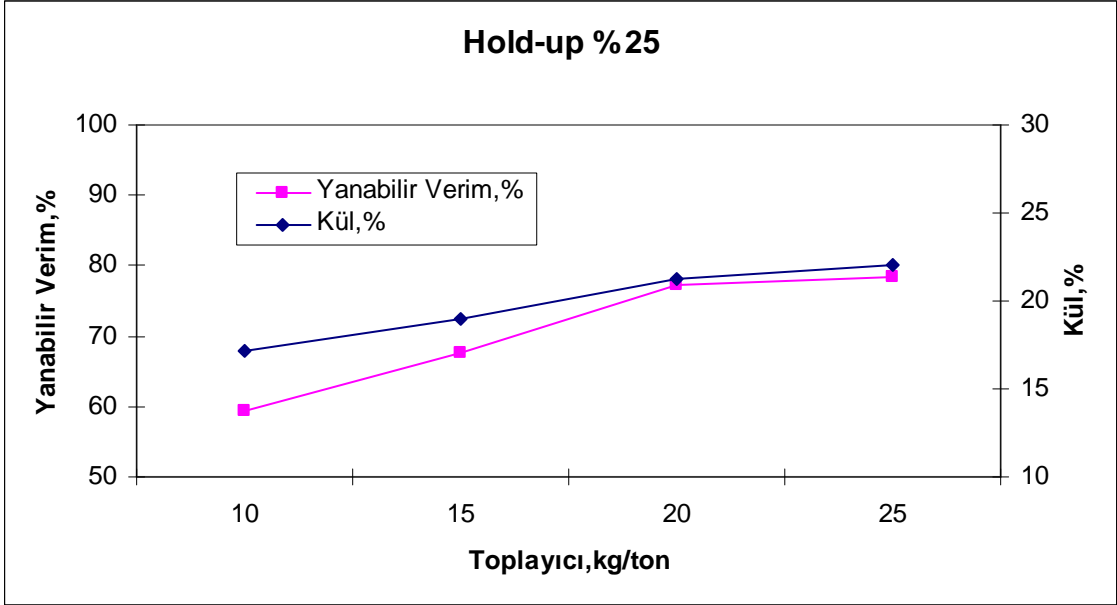
Şekil 4.17. Hold-up %20 iken toplayıcı miktarının yanabilir verim ve kaloriye etkisi



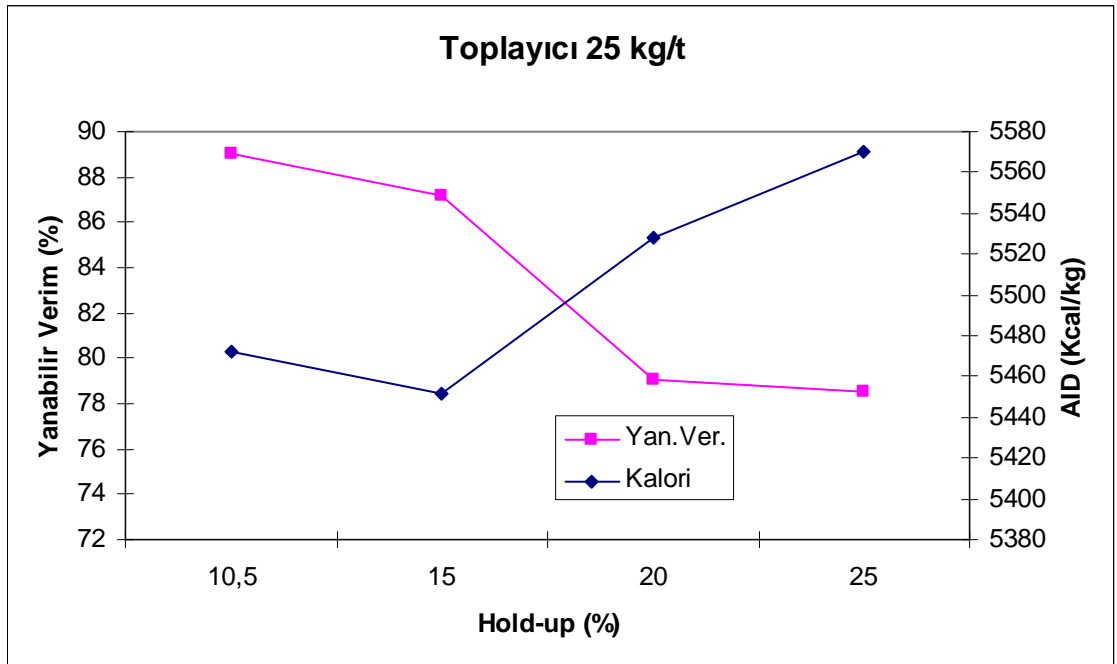
Şekil 4.18. Hold-up %20 iken toplayıcı miktarının yanabilir verim ve % kül üzerine etkisi.



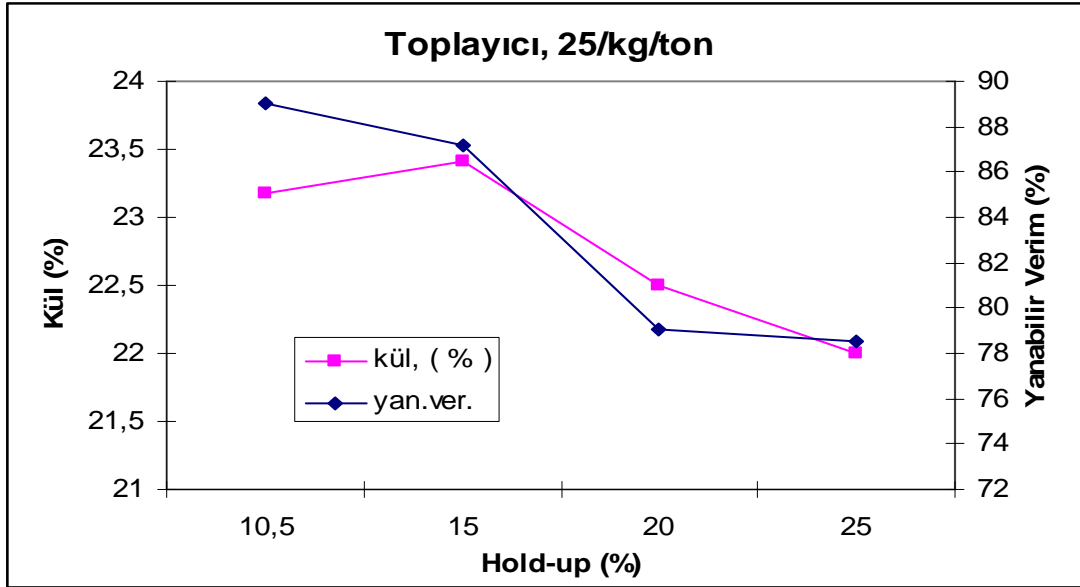
Şekil 4.19. Hold-up %25 iken toplayıcı miktarı artışının yanabilir verim ve kaloriye etkisi



Şekil 4.20. Hold-up % 25 iken toplayıcı miktarının % kül ve yanabilir verim üzerine etkisi.



Şekil 4.21. Toplayıcı 25 kg/ton iken hold-up artışının yanabilir verim ve kaloriye etkisi



Şekil 4.22. Toplayıcı miktarı sabit iken (25 kg/ton) hold-up'ın % kül ve yanabilir verim üzerine etkisi

4.4.2. Sonuçlar

Tunçbilek lavvarı tikner atığı $-1,18 + 0,425$ mm ve $-0,425$ mm $+ 0,106$ mm boyut aralığı fraksiyonları modifiye flotasyon kolonunda gazyağı veya gazyağı + mazot karışımı toplayıcılarla zenginleştirilebilmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalara göre uygun toplayıcı miktarı 25 kg/ton olup, bu da hem iri hem de kül içeriği yüksek olan linyitler için normaldir. Kömürlerin kül içerikleri arttıkça, yani kalorileri azaldıkça hidrofobluğu artırmak için kullanılacak polar olmayan yağların miktarı artar.

İri tanelerin flotasyonunda hold-up etkili parametredir. Nedeni ise; hold-up artışı ile ortamdaki türbülans artar. Bu ise istenmeyen durumdur ve kabarcığa bağlı iri taneleri kopartır. Haliyle verim düşer. İri tanelerin flotasyonunda hold-up'ın düşük olması doğaldır. Bu çalışmada da $-1,18 + 0,425$ mm boyut fraksiyonu için uygun hold-up % 7 tespit edilmiştir. $-0,425$ mm $+ 0,106$ mm boyut fraksiyonu için uygun hold-up ise % 20 dir.

Tüvenanın % 20.23'nü oluşturan 0.106 mm. üst boyutun ayrı ayrı iki ayrı kademede zenginleştirilmesi sonucunda; toplam kömürden % 8.39 konsantre elde edilebilmektedir. Bu durumdaki konsantrenin külü yaklaşık % 18.98 ve kalorisi de 5823.94 Kcal/kg olmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tunçbilek Lavvarı tikner altından çıkan atık kömürün yeniden kazanılıp değerlendirilebilmesi amacıyla modifiye flotasyon kolonunda deneyleri yapılmıştır. İri boyut olarak görünen $-1,18 + 0,425$ mm ve $-0,425 + 0,106$ mm fraksiyonlar modifiye flotasyon kolonunda başarıyla yüzdürülmüş ve zenginleştirilmiştir. 0.106 mm boyut altı üzerine herhangi bir işlem yapılmamıştır. Bu boyut grubu farklı çalışma sistemine ait klasik kolonda veya Jameson kolonunda zenginleştirilmesi mümkündür.

Numune üzerinde yapılan deneysel çalışmalara göre;

- Tikner altı artıkların % 20.23'ü 0.106 mm nin üstündedir. 1.18 mm fraksiyonun üstü dağıtıldığında; $- 1.18 + 0.425$ mm fraksiyonu yaklaşık olarak % 6.21'i, $- 0.425 + 0.106$ mm fraksiyonu yaklaşık olarak %14.02'yi oluşturmaktadır. Bu fraksiyonların kül içerikleri ise; $- 1.18 + 0.425$ mm fraksiyonu yaklaşık olarak % 49.05 kül, $- 0.425 + 0.106$ mm yaklaşık olarak % 50.22 kül içermektedir.
- Numunenin %74.31'i 0.038 mm'nin altındadır ve kül içeriği oldukça yüksektir (% 79.10). Kalorisi de düşüktür (777 Kcal/kg). $-0.106 + 0.038$ mm fraksiyonu ise numunenin yaklaşık % 5.46'sı kadardır.
- Tikner altı atığın $-1,18 + 0,425$ mm ve $- 0,425$ mm + 0.106 mm boyut aralığı fraksiyonları modifiye flotasyon kolonunda gazyağı veya gazyağı + mazot karışımı toplayıcılarla zenginleştirilebilmektedir.
- Uygun toplayıcı miktarı 25 kg/ton olup, bu da kül içeriği yüksek olan linyitler için normaldir. Kömürlerin kül içerikleri arttıkça, yani kalorileri azaldıkça hidrofobluğu artırmak için kullanılacak polar olmayan yağların miktarı artar.
- Modifiye flotasyon kolonunda hold-up etkili parametredir. Hold-up artışı ile ortamdaki türbülans artar. Bu ise iri taneli minerallerin flotasyonunda istenmeyen durumdur ve kabarcıklara bağlı iri taneleri kopartır. Haliyle verim düşer. Bu çalışmada da $-1,18 + 0,425$ mm boyut fraksiyonu için uygun hold-up % 7 tespit edilmiştir. $- 0,425$ mm + 0.106 mm boyut fraksiyonu için uygun

hold-up ise % 20 dir. Sonuçlardan görüldüğü gibi tane boyutu azaldıkça verime uygun hold-up değeri artmaktadır.

- Numunenin % 20.23' nü oluşturan 0.106 mm. üst boyutun ayrı ayrı iki ayrı kademedede zenginleştirilmesi sonucunda (gazyağı+mazot); toplam kömürden % 8.39 konsantre elde edilebilmektedir. Bu durumdaki konsantrenin kül içeriği yaklaşık olarak % 18.98 ve kalorisi de 5823.94 Kcal/kg olmaktadır.

Bu sonuçlara göre bir ton artıktan 83.9 kg temiz kömür elde edilmektedir. Bunun için de 25 kg % 80 gazyağı+% 20 mazot karışımı toplayıcı kullanılmaktadır. Ekonomik açıdan bakılırsa ekonomiklik görünmemektedir. Bu boyutlar için diğer alternatif fiziksel zenginleştirme yöntemleri düşünülmelidir. Ayrıca - 0.106 + 0.038 mm boyut aralığı (numunenin % 5.46'sı) için zenginleştirme araştırmalarının yapılmasında yarar vardır. Ekonomik analizi de yapılmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Ahmed N., Jameson G.,J., 1985, The effect of bubble size on the role of flotation of in partciels, int 3. Miner Process, vol. 14, s195-215
- [2] Demir, U., (2004), “Tunçbilek Termik Santrali Izgara Altı Curufundan Yanmamış Karbonun Kolon Flotasyonu Yöntemi ile Kazanılması” DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya
- [3] Corbini, P., Ciccu, R., Cahiani, M., Satto, Tilocca, C., (1999) “İnce Taneli Baritlerin Yeni Hidrojet Hücresi Flotasyonu” Cevher Hazırlama ve Kömür Hazırlamada Yenilikler, Yurt Madencilğini Geliştirme Vakfı, s137-141
- [4] Oteyaka, B., (1993), Modélisation D'une Colonne De Flottation Sans Zone D'ecume Pour La Séparation Des Particules Grossieres, Doktora Tezi, Université Laval, Quebec, Kanada
- [5] Dobby G.S. (1990), “Froth Flotation Systems” Course notes
- [6] Aksarı, B., 1998, Flotasyon kolonları temel çalışma prensipleri ve ayırma işlemine etki eden parametreler” Madencilik Dergisi, Haziran, s21-40
- [7] Bautin P., ve Wheeler, D., A., 1967 “Column flotation development- using an 18 in pilot unit” Canadian Mining Journal, March, s94-101
- [8] Öteyaka, B.,Flotasyon, Ders Notları, Dumlupınar Üniversitesi
- [9] Bilir K., Öteyaka B., Uçbaş Y., Bozkurt R., & Suer Ü., (1997) “Modifiye Flotasyon Kolonunda İri Taneli Feldspatların Zenginleştirilmesi” 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s253-261
- [10] Schulze, H.J., 1984, Physico-chemical Elementary Processes in Flotation, Elsevier
- [11] Barbery, G., 1987, Minéralurgie, Université Laval, Québec, Canada
- [12] Morris, T.M.,1950, “Measurement of equilibrium forces between on air bubble and attached solid in water”, Mining Engng. Trans. AIME. V.187, pp.91-95
- [13] Beyhan, S., (1998), Flotasyon makineleri dizaynı” DPÜ Müh. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü Bitirme Tezi, Kütahya
- [14] Kural, O., 2004, Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İTÜ, İstanbul, Türkiye
- [15] Gray, M.P., Harbort G.J. ve Murphy, A.S., Flotation circuit design utulising the Jameson cell, MIM Processing Technologies, Brisbane, Queensland, www.mim.com.au
- [16] Önal, G., 1980, Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışı Zenginleştirme Yöntemleri, İTÜ Matbaası, İstanbul, s68

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [17] Yamık, A., Tosun, İ.T., ve Güneş, N., (1994), Kömürden Külün ve Kükürdün Arındırılması, Türkiye 9. Kömür Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, s201-213
- [18] Deniz, V., Kibici, Y., Yamık, A., ve Çilek, E.C., 1996, Çivril(Denizli) Linyitlerinden Flotasyon İle Kükürdün Uzaklaştırılması, Türkiye 10. Kömür Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, s93-103
- [19] Doruöz, A., (2002) “Tunçbilek Termik Santrali Curuflarındaki Yanmamış Karbonun Flotasyon Yöntemi İle Kazanılması” DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya
- [20] Kemal, M., Arslan, V., 1999, Kömür Teknolojisi, D.E.Ü. Müh. Fak., M/MAD 87 EY 033, İzmir,82,161s.
- [21] Atak, S., (1994), Flotasyon, İTÜ Vakfı,İsatanbul, s142
- [22] Tefek, M., (1984), “İnce Kömür Flotasyonunda Parçacıkların Davranışları, Türkiye 4. Kömür Kongresi, s261-269
- [23] Englund, E.J., and Heravin.,(1992), Conditional Similation, Practical Application For Sampling Optimization, İn Soares, A.,ed., Geostatistics, Vol2, Kluwer, Dordrecht, s613-624