

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZONGULDAK KÖMÜRÜNÜN KÖPÜK FLOTASYONUNA YÜZEY AKTİF
MADDELERİN ETKİLERİ

Meryem OZMAK

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

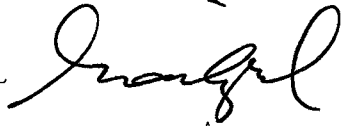
2003

Her hakkı saklıdır

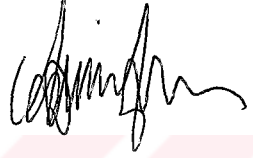
133182
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Doç. Dr. Zeki AKTAŞ danışmanlığında, Meryem OZMAK tarafından hazırlanan bu çalışma 17/12/2003 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından KİMYA MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Taner TOĞRUL



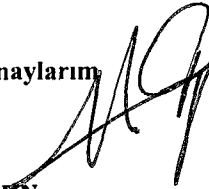
Doç. Dr. Abdülkerim KARABAKAN



Doç. Dr. Zeki AKTAŞ



Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Metin OLGUN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZONGULDAK KÖMÜRÜNÜN KÖPÜK FLOTASYONUNA YÜZEY AKTİF MADDELERİN ETKİLERİ

Meryem OZMAK

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zeki AKTAŞ

Kömürün mineral madde ve kükürt içeriği önemli bir problemdir. Kömür kullanımından kaynaklanan çevre ve işletim sorunları, kömürdeki inert yanmayan mineral maddelerin uzaklaştırılması ile azaltılabilir. Ağır ortam ayırması, küresel yağ aglomerasyonu, köpük flotasyonu kömürün iyileştirilmesi için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Düşük maliyetinden dolayı köpük flotasyonu daha çok tercih edilmektedir. Mineral maddeler, yüzey özelliklerine bağlı olarak, köpük flotasyonu ile kömürden ayrılabilirler. Hidrofobik kömür parçacıkları kabarcık yüzeyine tutunur ve köpük ile birlikte taşınırlar. Bu nedenle, köpük yapısı ve kararlılığı, köpük flotasyonu prosesinde çok önemlidir. Ancak köpük yapısı ve flotasyon performansı arasındaki ilişkiye yönelik araştırmalar kısıtlıdır.

Bu çalışmada, yüksek mineral madde içerikli Zonguldak bitümlü kömürü kullanılmıştır. Köpük flotasyonu deneyleri, Denver flotasyon hücresinde gerçekleştirilmiştir. Köpük flotasyonu performansını etkileyen en önemli faktörler yüzey aktif madde cinsi ve miktarıdır. Üç iyonik olmayan (Triton X-100, Brij-35, MIBC) ve bir anyonik (SDS) yüzey aktif madde seçilmiştir. Bu yüzey aktif maddeler sulu çözeltileri şeklinde ve/veya belirli oranlarda MIBC ile karışımları halinde kullanılmıştır. Herbir deneyin flotasyon performansı, son ürünün geri kazanımı ve kümülatif kalitesi cinsinden değerlendirilmiştir.

Kesikli flotasyon deneyleri sırasında köpüğün fotoğrafları çekilmiştir ve görüntü analizi tekniği ile incelenmiştir. Bu amaçla bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Köpük yapısı ile flotasyon performansını etkileyen parametreler arasında kuvvetli bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Deneysel sonuçlar, son ürünün kümülatif kalitesindeki azalmanın ortalama kabarcık çapının zamanla artışından kaynaklandığını göstermiştir. Küresel kabarcıklar ile düşük kalite ve yüksek geri kazanım elde edilmiştir. Köpük yapısı küreselden polihedrale değiştikçe konsantrelerin küll içeriği azalmıştır. Son ürün kalitesindeki bu artış, polihedral kabarcıklar arasında gerçekleşen seçici drenaja bağlanmıştır.

Yüzey aktif madde adsorpsiyonunun artması, geri kazanımda artışa, kümülatif kalitede azalmaya neden olmuştur. Başlangıç yüzey aktif madde miktarı artırıldığında bazı mineral parçacıklar da hidrofobik kömür parçacıkları ile birlikte flotasyona uğramıştır. Sonuç olarak, köpük flotasyonu prosesinde seçiciliği azalmıştır. Köpük yapısı ve flotasyon performansı arasındaki ilişki, yüzey aktif madde adsorpsiyonunun etkisine bağlı olarak belirlenmiştir.

2003, 183 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Kömür, köpük flotasyonu, köpük yapısı, yüzey aktif madde, yüzey aktif madde karışımı, adsorpsiyon, görüntü analizi.

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECTS OF SURFACE ACTIVE AGENTS ON FROTH FLOTATION OF ZONGULDAK COAL

Meryem OZMAK

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zeki AKTAŞ

The mineral matter and sulphur content of coal is a major problem. The environmental and operational problems caused by coal usage, can be reduced by removing inert non-combustible mineral matter from coal. Heavy media separation, spherical oil agglomeration, froth flotation are the common methods used for coal beneficiation. Because of its low capital, froth flotation is mostly preferred. The mineral matter can be separated from fine coal particles by froth flotation, depending upon particle surface properties. Hydrophobic coal particles are attached on bubble surface and then carried with froth. For this reason, froth structure and stability are very important in froth flotation process. However, the researches on the relationship between the froth structure and flotation performance are limited.

In this study, Zonguldak bituminous coal with high mineral matter content was used. Froth flotation tests were carried out in a Denver flotation cell. The type and amount of reagent are the most important factors that affect the flotation performance. Three non-ionic reagents (Triton X-100, Brij-35, MIBC) and an anionic (SDS) reagent were chosen. These reagents were used as aqueous solutions and/or as mixtures with MIBC at given ratios. Flotation performance of each test was evaluated in terms of cumulative grade and recovery of the final product.

Photographs of the froth were taken during the batch flotation tests and analysed with image analysis technique. A computer program was developed for this purpose. It was observed that there is a strong relationship between the froth structure and the parameters affecting the flotation performance. The experimental results indicated that the cumulative grade of the final product decreased due to the increase in mean bubble diameter with time. Low grade and high recovery obtained with spherical bubbles. As the froth structure changed from spherical to polyhedral, the ash content of the concentrates decreased. This increase in the grade of final product was attributed to the selective drainage, occurred between polyhedral bubbles.

The increase of reagent adsorption caused an increase in recovery and decrease in cumulative grade. When the initial reagent loading increased, some of the mineral particles floated with hydrophobic coal particles. As a result, the selectivity of the flotation process was reduced. The relationship between froth structure and flotation performance was determined depending on the effect of reagent adsorption.

2003, 183 pages

Key Words: Coal, froth flotation, froth structure, reagent, reagent mixture, adsorption, image analysis.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Zonguldak bitümlü kömürünün köpük flotasyonu yöntemiyle iyileştirilmesine yönelik yapılan bu araştırma Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından 98K120740 no'lu genişletilmiş ek proje kapsamında desteklenmiştir.

Köpük flotasyonu deneyleri Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü Cevher Hazırlama Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar için olanak sağlayan MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimlerini paylaşarak çalışmalarına yön veren danışmanım Sayın Doç. Dr. Zeki AKTAŞ'a (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) güler yüzü, içten ilgi ve desteği için teşekkür ederim.

Bu çalışmanın önemli bir bölümünü oluşturan görüntü analizinde kullanılan RADIS026 programı Çağlar ÇİTİR tarafından geliştirilmiştir. Katkılarından dolayı, başta Çağlar ÇİTİR olmak üzere, Proses Sistem Mühendisliği Araştırma Grubu'na (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) teşekkür ederim.

Köpük flotasyonu deneylerinin gerçekleştirilmesinde yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Murat EROL'a (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi), Araştırma Laboratuvarı'nda yardımlarını gördüğüm ve tatlı sohbetleri ile çalışmalarımızı eğlenceli hale getiren tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Maddi-manevi hiçbir desteği esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Meryem OZMAK

Ankara, Aralık 2003

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	The American Standarts For Testing Materials
BET	Brunauer, Emmett ve Teller Yöntemi (Brunauer et al. 1938)
BJH	Barrett, Joyner ve Halenda Yöntemi (Barret et al. 1951)
D	Ortalama Kabarcık Çapı
$D_v(d)$	Diferansiyel Gözenek Hacmi
$D_s(d)$	Diferansiyel Gözenek Yüzey Alanı
$D_v(\log d)$	Logaritmik Diferansiyel Gözenek Hacmi
$D_s(\log d)$	Logaritmik Diferansiyel Gözenek Yüzey Alanı
FID	Alev İyonlaşma Dedektörü
IPA	İzopropil Alkol
kk	Kuru Külsüz
kkt	Kuru Külsüz Temel
MIBC	Metil İzobutil Karbinol
PEG	Polietilen Glikol
SDS	Sodyumdodesil Sülfat
σ	Varyans

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Kömürün yapı modeli.....	11
Şekil 2.2.	Farklı yaşlardaki kömürlerde bulunabilecek yapı birimleri	12
Şekil 2.3.	İki fazlı köpük (foam) yapısı.....	25
Şekil 2.4.	Üç fazlı köpük (froth) yapısı.....	28
Şekil 3.1.	Ağır ortam ayırma yönteminin akım şeması.....	48
Şekil 3.2.	Aglomerasyon yönteminin akım şeması.....	51
Şekil 3.3.	Triton X-100'ün moleküler modeli.....	52
Şekil 3.4.	Brij-35'in moleküler modeli.....	53
Şekil 3.5.	MIBC'nin moleküler modeli	53
Şekil 3.6.	SDS'nin moleküler modeli.....	54
Şekil 3.7.	Köpük flotasyonu işleminin akım şeması	58
Şekil 3.8.	Denver flotasyon hücresi boyutları ve şematik gösterimi	58
Şekil 3.9.	Köpük flotasyonunda elde edilen bir köpük görüntüsü	61
Şekil 3.10.	Karşılaştırma eksenleri	62
Şekil 3.11.	Farklı arama yarıçapları ile belirlenen sınırlar	63
Şekil 3.12.	Yerel minimum yöntemiyle belirlenmiş sınırlar.....	64
Şekil 3.13.	Sınır noktasına komşu pikseller	64
Şekil 3.14.	İnceltilmiş sınırların oluşturduğu görüntü	65
Şekil 4.1.	Orijinal ve ince kömür örneklerinin parçacık boyut dağılımı.....	67
Şekil 4.2.	Kömür örneklerinin parçacık boyut dağılımları.....	68
Şekil 4.3.	Orijinal kömürün azot adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi	70
Şekil 4.4.	İnce kömürün azot adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi	70
Şekil 4.5.	Orijinal ve ince kömür örneklerinin gözenek boyut dağılımları.....	71
Şekil 4.6.	Ağır ortam yoğunluğunun kalite ve geri kazanıma etkisi.....	72
Şekil 4.7.	Orijinal besleme ve 1,45 g/cm ³ yoğunluğunda elde edilen yüzen ve çöken fraksiyonların parçacık boyut dağılımı.....	73
Şekil 4.8.	Bağlayıcı yağ miktarının kalite ve geri kazanıma etkisi.....	75
Şekil 4.9.	Orijinal besleme ve %15 (ağ) bağlayıcı yağ elde edilen aglomerat ve atık fraksiyonların parçacık boyut dağılımı	75

Şekil 4.10.	Yüzey aktif maddelerin başlangıç derişimleri ile adsorplanan miktarlarının değişimi.....	77
Şekil 4.11.	Karışımındaki MIBC oranı ile adsorplanan Triton X-100 ve MIBC miktarlarının değişimi	78
Şekil 4.12	Karışımındaki MIBC oranı ile adsorplanan SDS ve MIBC miktarlarının değişimi.....	78
Şekil 4.13.	Köpük flotasyonu sırasında adsorplanan yüzey aktif madde miktarının zamanla değişimi.....	79
Şekil 4.14.	Toplam 0,9 mg/g kömür başlangıç derişiminde Triton X-100 ve MIBC (5) karışımında adsorplanan yüzey aktif madde miktarının zamanla değişimi.....	80
Şekil 4.15.	Toplam 0,375 mg/g kömür başlangıç derişiminde SDS ve MIBC (53,3) karışımında adsorplanan yüzey aktif madde miktarının zamanla değişimi.....	80
Şekil 4.16.	Farklı yüzey aktif maddeler ile elde edilen köpük yapısı.....	82
Şekil 4.17.	Farklı Triton X-100 başlangıç derişimlerinde köpük yapısındaki değişim.....	83
Şekil 4.18.	Farklı Brij-35 başlangıç derişimlerinde köpük yapısındaki değişim.....	84
Şekil 4.19.	Farklı MIBC başlangıç derişimlerinde köpük yapısındaki değişim.....	84
Şekil 4.20.	Farklı SDS başlangıç derişimlerinde köpük yapısındaki değişim.....	85
Şekil 4.21	Yüzey aktif madde karışımları ile elde edilen köpük yapısı.....	86
Şekil 4.22	Toplam 0,9 mg/g kömür başlangıç derişiminde Triton X-100 ve MIBC karışımında ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi.....	87
Şekil 4.23	Toplam 0,9 mg/g kömür başlangıç derişiminde Brij-35 ve MIBC karışımında ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi.....	87
Şekil 4.24.	Toplam 0,375 mg/g kömür başlangıç derişiminde SDS ve MIBC karışımında ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi.....	88
Şekil 4.25.	Triton X-100 ve SDS için seçilen deneylerde köpük yapısının zamanla değişimi.....	89
Şekil 4.26.	Kömür yüzeyine adsorplanan Triton X-100 miktarı ile flotasyon performansının değişimi	90

Şekil 4.27. Kömür yüzeyine adsorplanan MIBC miktarı ile flotasyon performansının değişimi	92
Şekil 4.28. Kömür yüzeyine adsorplanan SDS miktarı ile flotasyon performansının değişimi.....	93
Şekil 4.29. Triton X-100 ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi	95
Şekil 4.30. Brij-35 ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi	96
Şekil 4.31. SDS ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi.....	98
Şekil 4.32. Seçilen deneylerde kümülatif kalitenin zamanla değişimi	95
Şekil 4.33. Triton X-100 ve SDS için seçilen deneylerde köpük yapısının adsorplanan yüzey aktif madde miktarı ile değişimi.....	100
Şekil 4.34. Ortalama kabarcık çapı ile kümülatif kalitenin değişimi.....	101
Şekil 4.35. Beslemedeki ince kömür oranı ile adsorplanan yüzey aktif madde miktarının değişimi.....	102
Şekil 4.36. Farklı kömür örnekleri için ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi	103
Şekil 4.37. Farklı boyut dağılımına sahip kömür örnekleri ile elde edilen köpük yapısı.....	104
Şekil 4.38. Kömür parçacık boyutunun flotasyon performansına etkisi.....	105
Şekil 4.39. Adsorplanan yüzey aktif madde miktarının hava akış hızı ile değişimi	107
Şekil 4.40. Farklı hava akış hızları ile elde edilen köpük yapısı	108
Şekil 4.41. Farklı hava akış hızlarında ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi	109
Şekil 4.42. Hava akış hızının flotasyon performansına etkisi	109
Şekil 4.43. Adsorplanan yüzey aktif madde miktarı ve ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi.....	110
Şekil 4.44. Yüzey aktif madde adsorpsiyonu ile ortalama kabarcık çapının değişimi.....	111
Şekil 4.45. Ortalama kabarcık çapı ve kümülatif kalitenin zamanla değişimi	112
Şekil 4.46. Ortalama kabarcık çapı ile kümülatif kalitenin değişimi.....	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. ASTM kömür sınıflandırılması (ranka göre).....	6
Çizelge 2.2. Maseral gruplarının sınıflandırılması	7
Çizelge 2.3. Orijinlerine göre mineral ve mineral madde grupları.....	16
Çizelge 2.4. Kömürdeki mineraller ve oranları	17
Çizelge 2.5. Gözeneklerin genişliklerine (açıklıklarına) göre sınıflandırılması.....	40
Çizelge 3.1. İzopropil alkol ve karbontetraklorürün bazı fiziksel özellikleri.....	48
Çizelge 3.2. Köpük flotasyonunda kullanılan yüzey aktif maddelerin bazı fiziksel özellikleri	54
Çizelge 3.3. Flotasyon deney koşulları	55
Çizelge 4.1. Kömür örneklerinin parçacık boyut parametreleri.....	69
Çizelge 4.2. Kömür örneklerinin yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımı parametreleri	71
Çizelge 4.3. Triton X-100 başlangıç miktarının köpük flotasyonu performansına etkisi.....	90
Çizelge 4.4. Brij-35 başlangıç miktarının köpük flotasyonu performansına etkisi	91
Çizelge 4.5. MIBC başlangıç miktarının köpük flotasyonu performansına etkisi	91
Çizelge 4.6. SDS başlangıç miktarının köpük flotasyonu performansına etkisi	93
Çizelge 4.7. Triton X-100 ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi	94
Çizelge 4.8. Brij-35 ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi.....	96
Çizelge 4.9. SDS ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi.....	97
Çizelge 4.10. Kömür parçacık boyutunun yüzey aktif madde adsorpsiyonu ve flotasyon performansına etkisi	102
Çizelge 4.11. Hava akış hızının yüzey aktif madde adsorpsiyonu ve flotasyon performansına etkisi	106

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1. Kömürün Oluşumu	3
2.2. Kömür Yapısı	5
2.3. Kömürden Mineral Madde Uzaklaştırılması.....	18
2.4. Ağır Ortam Ayırması.....	20
2.5. Küresel Yağ Aglomerasyonu.....	22
2.6. Köpük (Froth) Flotasyonu.....	23
2.6.1. Köpük yapısı ve drenaj	24
2.6.2. Köpük kararlılığını etkileyen faktörler	29
2.6.3. Köpük yapısının incelenmesi.	37
2.7. Yüzey Aktif Madde Adsorpsiyonu.....	38
2.7.1. Yüzey aktif maddeler.....	39
2.7.2. Adsorplayıcı katılar	39
2.7.3. Katı-sıvı arayüzeyinde yüzey aktif madde adsorpsiyonu	40
2.7.4. Köpük flotasyonunda yüzey aktif madde adsorpsiyonu	41
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	44
3.1. Kömür Örneğinin Hazırlanması.....	44
3.2. Parçacık Karakterizasyonu.....	45
3.2.1. Kül ve nem içeriği	45
3.2.2. Parçacık boyut dağılımı	45
3.2.3. Yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımı.....	46
3.3. Ağır Ortam Ayırması.....	47
3.4. Küresel Yağ Aglomerasyonu.....	49
3.5. Köpük Flotasyonu	51

3.5.1. Kullanılan yüzey aktif maddeler.....	51
3.5.2. Köpük flotasyonu yöntemi.....	54
3.5.3. UV analiz yöntemi.....	59
3.5.4. GC analiz yöntemi.....	60
3.6. Görüntü Analizi Tekniği.....	61
3.6.1. Sınır tayini ve gürültü filtreleme.....	62
3.6.2. Nesne seçimi	64
3.6.3. Kabarcık boyutunun hesaplanması.....	66
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	67
4.1. Parçacık Karakterizasyonu.....	67
4.1.1. Kül ve nem içeriği	67
4.1.2. Parçacık boyut dağılımları ve boyut parametreleri	67
4.1.3. Yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımı.....	69
4.2. Ağır Ortam Ayırması.....	72
4.3. Küresel Yağ Aglomerasyonu.....	74
4.4. Köpük Flotasyonu	76
4.4.1. Yüzey aktif madde cinsi ve miktarının etkileri.....	76
4.4.1.1. Köpük flotasyonunda yüzey aktif madde adsorpsiyonu.....	76
4.4.1.2. Yüzey aktif maddelerin köpük yapısına etkisi	81
4.4.1.3. Yüzey aktif maddelerin flotasyon performansına etkisi	89
4.4.1.4. Yüzey aktif madde adsorpsiyonunun köpük yapısı ve flotasyon performansına etkisi.....	99
4.4.2. Kömür parçacık boyutunun köpük yapısı ve flotasyon performansına etkisi.....	101
4.4.3. Hava akış hızının köpük yapısı ve flotasyon performansına etkisi	106
4.4.4. Yüzey aktif madde adsorpsiyonunun köpük yapısı ve flotasyon performansına etkisi.....	110
5. SONUÇLAR	113
KAYNAKLAR	116
EKLER.	125
Ek 1.....	126
Ek 2.	130

Ek 3.	131
Ek 4.	132
Ek 5.	133
Ek 6.	134
Ek 7.	138
Ek 8.	145
Ek 9.	150
Ek 10.	157
Ek 11.	162
Ek 12.	169
Ek 13.	173
Ek 14.	176
Ek 15.	180
Ek 16.	182
ÖZGEÇMİŞ.....	183

1. GİRİŞ

Dünya enerji ihtiyacının %80'i kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Sanayileşmiş ülkelerin ekonomileri uzun yıllar çeşitli kömürlerin kullanımına dayalı olmuştur. Ancak geleneksel petrol ürünlerinin sunduğu taşıma, fiyat ve çevre koruma gibi kolaylıklar, işletmelerin çoğunda yakıt tüketim biçimlerinin hızla değişmesine yol açmıştır. Petrolün özellikle bir siyasi ve ekonomik koz olarak kullanıldığı 1970'li yıllarda ortaya çıkan kriz sonucunda petrol fiyatlarının ani yükselişi, ekonomik sıkıntılara neden olmuştur. Yaşanan gerginlik, miktarı ve coğrafik dağılımı sınırlı olan bir doğal kaynağın ölçsüz tüketimine dayalı bir dünya ekonomisinin getireceği tehlikenin kavranmasını sağlamıştır. Bu da araştırmacıları alternatif enerji kaynakları üzerinde yoğunlaştırmıştır. Enerji tüketiminin daha çok doğalgaz, kömür ve kömür dönüşüm prosesleri ile elde edilen sıvı/gaz yakıtlar ile karşılanmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Petrol ve doğalgaz ile kıyaslandığında kömür, yerküre üzerinde daha homojen bir dağılım göstermektedir. Türleri farklı olmasına rağmen birçok ülkede, iç kullanımlara yetecek kadar kömür rezervi bulunmaktadır. Bu durum, kömürün enerji ve kimyasal hammadde kaynağı olarak önemini, ülkeler bazında arttırmaktadır.

Kömür, organik ve inorganik maddelerden oluşan heterojen bir yapıya sahiptir. Kömürlerde çeşitli miktarlarda bulunan inorganik (mineral) maddeler, kömür dönüşüm proseslerinin verimliliğini ve kömürün ısı değerini azaltmaktadır. Yakma birimlerinde depozit oluşturması çeşitli işletme sorunlarına, partikül emisyonu ise çevre kirliliğine yol açmaktadır. Kömürün yakılması sonucu oluşan NO_x ve SO_x gazları, atmosfere yayılarak asit yağmurlarına sebep olmakta, ekolojik dengeyi bozarak canlıların varlığını tehdit etmektedir.

Kömürdeki mineral madde ve kükürdün neden olduğu çevresel ve ekonomik problemlerin çözümü, kömürün 'temiz' olarak kullanılmasıdır. Kömür temizleme işlemi, öğütülmüş ham kömürden inert-yanmayan mineral maddenin uzaklaştırılmasıdır. Bu amaçla yapılan araştırmalar, çoğunlukla kömürün kimyasal yapısında değişikliğe

neden olmayan fiziksel ayırma yöntemleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu yöntemlerden en önemlileri ağır ortam ayırması, küresel yağ aglomerasyonu ve köpük flotasyonu tekniğidir. Söz konusu bu yöntemlerle, minerallerin ve mineralce zengin parçacıkların, karbonca zengin parçacıklardan ayrılması sağlanır. Ağır ortam ayırması, yıkama siklonları, sallama masaları gibi yoğunluk farkına dayalı kömür temizleme yöntemlerinin kısıtlı başarısı nedeniyle toz (ince) parçacık proseslerinde, işletim maliyeti oldukça düşük olan köpük flotasyonu yöntemi tercih edilmektedir.

Köpük flotasyonu ile, çok ince öğütülmüş kömür parçacıkları, yüzey özellikleri farkından yararlanarak mineral maddelerden ayrılabilir. Alışlagelmiş kömür flotasyonu uygulamalarında geri kazanım yüksek ancak son ürün kalitesi oldukça düşüktür. Fakat ince öğütme ile kömürdeki mineral maddeler serbest hale getirilerek kolayca uzaklaştırılabilir. Böylece yüksek geri kazanım yanında yüksek kalite de sağlanabilir.

Köpük flotasyonu performansını etkileyen bir çok faktör vardır. Yüzey aktif madde tipi ve miktarı, hava akış hızı, parçacık boyutu, yüzey özellikleri, adsorpsiyon (olgunlaşma) süresi, pH, sıcaklık bu faktörlerden bazılarıdır. Hidrofobik kömür parçacıkları, köpük yüzeyinde taşınarak ayrıldığından, köpük kararlılığı ve yapısı, kömürün iyileştirilmesinde çok önemlidir. Flotasyon hücresinde oluşan üç fazlı köpüğün yapısını belirleyen yüzey özellikleri, kömür-sıvı arayüzeyinde gerçekleşen yüzey aktif madde adsorpsiyonu ile ilişkilidir. Dolayısıyla köpük flotasyonunun performansı, kararlı köpük oluşumunu sağlayacak uygun yüzey aktif madde tipi ve miktarı ile kontrol edilebilir. Bu amaçla, köpük yapısı ve köpüğü oluşturan kabarcıkların boyut dağılımının belirlenmesi için görüntü analizi tekniği uygulanabilir.

Bu çalışmada Zonguldak bitümlü kömürünün köpük flotasyonu ile iyileştirilmesi incelenmiştir. Görüntü analizi tekniği kullanılarak, köpük yapısı ve flotasyon performansı arasındaki ilişki ve buna bağlı olarak yüzey aktif madde adsorpsiyonunun etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Kömürün Oluşumu

Kömür, yeraltındaki bitki artıklarının, çok uzun bir süre içinde, sıcaklık ve basıncın etkisiyle çeşitli fiziksel ve kimyasal değişimlere uğraması sonucunda oluşan kompleks ve heterojen bir katıdır.

Doğada bol bulunan bitkiler, kara parçalarının alçalıp yükselmesi ya da yerel değişimler ile su altında kalarak zamanla ince çamur tabakası ile örtülür. Bu inorganik çamur tabakasının kalınlığının artmasıyla, bitki artıkları basınç etkisiyle kompakt hale geçer ve ısı etkisiyle kimyasal değişime uğrar.

Bitki artıklarının toprak katmanlarıyla örtülmesinden önce ve sonra uğradığı değişimler farklı olduğundan, kömürün oluşumu biyokimyasal (diagenetik) ve metaformik olarak adlandırılan iki kademedeyi incelenmektedir. Bitki artıklarının toprak katmanları ile örtülmeden önceki bozunması biyokimyasal kademedeyi gerçekleştirir. Bu kademedeyi bitkiler zamanla aerobik ve anaerobik mikroorganizmaların etkisiyle bozunmaktadır. En dayanıklı bileşikler dahi zamanla bozunmaya uğramakta ve daha basit bileşiklere parçalanmaktadır. Oluşan bu bileşikler de bir sonraki bitki örtüsünü beslemektedir.

İlk kademedeyi, bitki artıklarının bataklık ortamında bakteriler tarafından biyokimyasal bozunması sonucu humik asit ve türevleri oluşur; organik kütlenin aromatikliği artar. Bozunma sonunda, genellikle karbon içeriği %40-45'ten %60'ın üzerine çıkarken oksijen içeriği azalır. Bozunmakta olan kütle tamamen suyla örtüldüğünde veya ortam mantar ve bakteriler için çok asidik bir duruma geldiğinde mikrobiyolojik aktivitenin durduğu kabul edilebilir.

Biyokimyasal kademe sonunda, oldukça bozunmuş yığının üzeri özellikle inorganik maddeler içeren çamurlarla kaplanarak hava ile temas kesilir. Böylece ikinci veya metaformik kömürleşme süreci başlar. Tamamen abiyotik olan bu kademedeyi, oksijen gibi bazı elementlerin etkisi ile biyolojik olmayan bozunma gerçekleştirir. Kondenzasyon tepkimeleri sırasında, hidroksil (-OH), karboksil (-COOH), metoksil (-OCH₃) ve metil

(-CH₃) grupları kompaktlaşmış kütleden ayrılır. Bu ayrışmalar ve kondenzasyon tepkimeleri, kömür yataktan çıkarılıncaya kadar devam eder. Kimyasal birleşme diyebileceğimiz metaformik kademede, en önemli etken sıcaklıktır. Basınç yalnızca fiziksel özellikleri değiştirir ve kütleyi sıkıştırarak ısı etkisi ile oluşan tepkimeleri hızlandırır. Böylece fonksiyonel karboksil grupları uzaklaşırken molekül ağırlığı artan ürünler oluşur. Isı ise kimyasal olgunlaşmanın temelidir ve iki kaynaktan sağlanmaktadır. Bu kaynaklardan biri olan normal metamorfizm, jeotermal gradiyente bağlı olarak yeryüzünün derinliklerinden sağlanmaktadır. Bölgesel metamorfizm ise tektonik olaylar sonucunda kızgın magmanın, yarıklardan yükselerek karbonlaşan damarlara yaklaşmasıyla sağlanmaktadır. Kömür yataklarının kimyasal değişimlerinin hızı genellikle sıcaklığa karşı hassastır. Sıcaklığın her 10°C'lik artışına karşılık kimyasal değişimlerin hızı iki kat artar. Bu nedenle yüzey sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda, çok uzun zaman sonunda önemli oranda metamorfik değişim meydana gelmektedir.

Kömürden ince bir kesit alınıp, parlatılarak hazırlanan yüzeylerin mikroskopla incelenmesi ile elde edilen bilgiler, diagenetik kademede bozunma koşullarının çok çeşitli olduğunu göstermektedir. Bazı hallerde bozunmaya başlamış bitki artıkları yine bazı hareketlerle yer değiştirmekte, bu arada yabancı bitki ve minerallerle daha homojen karışmaktadır. Bitkinin ilk yerleştiği yerde kömürleşmesi ile oluşan kömür yatakları otokton, bitkinin bir yerden başka bir yere taşıyıp kömürleşmesi ile oluşan kömür yatakları ise alokton olarak adlandırılmaktadır.

Kömür oluşumunun ilk evresini turba oluşturur. Kömür yataktan çıkarılana kadar sıcaklık ve basıncın etkisi ile kimyasal tepkimeler devam eder. Sonunda kütle daha homojen hale gelir, oksijen ve hidrojen kaybederken karbonca zenginleşir. Turbanın jeolojik ve kimyasal değişkenlerin etkisi ile linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür, antrasit ve meta antrasite dönüşümüne kömürleşme denir. Kömürleşme nedenleri, dereceleri ve kömür yapılarının birbirinden farklı olmaları; biyokimyasal kademede bitki artıklarının çeşitliliği ve bozunma derecesi, metamorfik kademede sıcaklık, basınç, jeolojik evrim, jeotermal gradiyent, ısı etki süresi, ısı akısı, ısınma hızı, ısı iletkenliği, süre, tektonik olaylar (kıvrımlar, faylar, bindirmeler) ve radyoaktivite gibi etkenlere

bağlıdır. Kömür oluşumu, bu şartlara bağlı olarak turba, linyit, taşkömürü ve antrasit gibi çeşitli basamaklarda son bulmaktadır (Whitehurst 1978, Berkowitz 1979).

2.2. Kömür Yapısı

Kömür başlıca C, H, O ile daha az miktarda N ve S içermektedir. Genellikle, kömürün heteroatomlardan oluşan fazlaca kondense olmuş polinükleer aromatik bir yapıya sahip olduğu kabul edilmektedir (Wen ve Lee 1979).

Kömürlerin birbirlerinden farklı yapı ve özellikler göstermesine sebep olan başlıca etkenler; kömürü meydana getiren bitkilerin türü, biyokimyasal kademede bitki artıklarının bozunma derecesi, metamorfik kademede kömür üzerindeki sıcaklık ve basıncın büyüklüğü, etki süresi ve kömürün oluştuğu çevrenin jeolojik yapısındaki farklılıklardır.

Kömür oluşumunda etkili olan şartların daha sert olması ve sürenin artması ile kömür rankı artmaktadır. Kömürler, artan ranklarına göre, turba, linyit, alt bitümlü, bitümlü ve antrasit olarak sınıflandırılmaktadır. Rank sınıfları, kömürlerin uçucu madde içerikleri ve ısı değerlerine göre alt gruplara ayrılırlar. Ticari olarak en çok ASTM kömür sınıflandırması kullanılır (Elliott 1981). ASTM yöntemine göre kömürlerin sınıflandırılması, yüksek ranklı kömürlerde uçucu maddeye (kkt) ve düşük ranklı kömürlerde kalori değerine (Btu/lb) dayanmaktadır. Kömür rankının artması ile kalori değeri ve vitrinit reflektansı artarken, uçucu madde yüzdesi azalmaktadır. Çizelge 2.1.'de ASTM kömür sınıflandırılması verilmiştir (ASTM D 388-82).

Çizelge 2.1. ASTM kömür sınıflandırması (ranka göre)

Sınıf	Gruplar	Sabit karbon, dmmf		Uçucu madde, dmmf		Üst Isı Değeri, dmmf (kj/kg)		Aglomere olma karakteri
Antrasit	Meta-antrasit	≥ 98	-	-	<2	-	-	
	Antrasit	≥ 92	<98	≥2	<8	-	-	
	Yarı-antrasit	≥ 86	<92	≥8	<14	-	-	
Bitümlü Kömür	Düşük uçuculu	≥78	<86	≥14	<22	-	-	
	Orta uçuculu	≥69	<78	≥22	<31	-	-	
	Yüksek uçuculu-A	-	<69	≥31	-	≥32480	-	Genellikle aglomere olur
	Yüksek uçuculu-B	-	-	-	-	≥30160	<32480	
	Yüksek uçuculu-C	-	-	-	-	≥26680	<30160	Aglomere olur
		-	-	-	-	≥24360	<26680	
Alt Bitümlü Kömür	Altbitümlü- A	-	-	-	-	≥24360	<26680	
	Altbitümlü- B	-	-	-	-	≥22040	<24360	Aglomere olmaz
	Altbitümlü- C	-	-	-	-	≥19256	<22040	
Linyit	Linyit- A	-	-	-	-	≥14616	<19256	Aglomere olmaz
	Linyit- B	-	-	-	-	-	<14616	

Kömürün yapısını incelerken organik yapıyı ve inorganik kısmı ayrı ayrı göz önünde bulundurmak gerekir.

Kömürün organik bileşenleri, makropetrografik yapıcılar ve mikropetrografik yapıcılar olmak üzere iki gruba ayrılır. Kömürlerin makropetrografik yapıcılar litotip olarak adlandırılır. Litotipler, fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki değişimleri gösteren, yataklanmaya dik kesitlerdeki parlaklık dereceleri farklı, gözle görülebilen ince bantlar halindeki bileşiklerdir. Kömürlerin mikropetrografik yapıcılar ise maserallerdir. Kömürlerde, kömürleşmeye uğrayan bitkilerin kökenine ve bozunma derecesine bağlı olarak çeşitli maseraller (petrografik bileşenler) bulunur. Kömürün mikroskobik yapı taşları olarak tanımlanan maseraller farklı görünüş, kimyasal bileşim ve optik özelliklere sahiptirler. Maseraller, genel olarak üç ana gruba ve her bir grup da kendi içinde çeşitli alt gruplara ayrılırlar. Maserallerin sınıflandırılması çizelge 2.2'de gösterilmiştir (Berkowitz 1979, Kural 1991).

Çizelge 2.2. Maseral gruplarının sınıflandırılması

Maseral Grubu	Sembol	Maseral
Vitrinit	V	Kollinit → humik jel Tellinit → odun kabuğu, kortikal doku Vitrodetrinit*
Eksinit (Liptinit)	E	Siporinit → mantar ve diğer sporlar Kütinit → yaprak kütinit Rezinit → reçine ve vaks Alginit → alg artıkları Liptodetrinit*
İnertinit	İ	Mikrinit → belirlenmemiş bozunma ürünü <10µm Makrinit → belirlenmemiş bozunma ürünü 10-100µm Semifüzinit → karbonize odun dokusu Füzinit → karbonize odun dokusu Sklerotinit → mantar sklerotinit ve micelia İnertodetrinit*

* reflaktansları nedeniyle maseral gruplarında bulunur.

Heterojen yapıda olmasına rağmen kömürün moleküler yapısını açıklamaya yönelik çok sayıda araştırma mevcuttur. Ancak bugüne kadar kömürlerin yapısını tamamen açıklayan kesin bir model geliştirilememiştir.

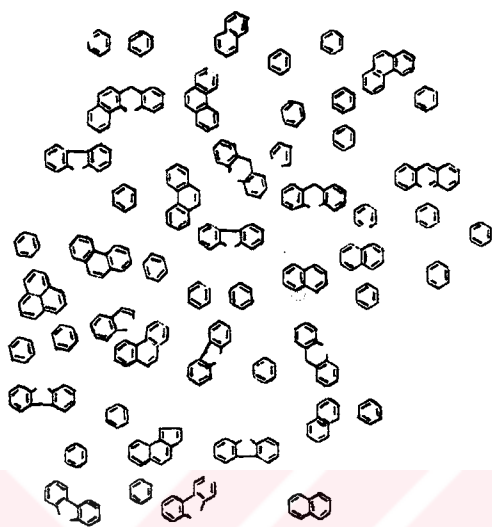
Van Krevelen (1965), kömürlerin üç boyutlu, çapraz bağlı makromoleküler bir ağ yapısına sahip olduğunu ifade etmiştir. Rincon ve Cruz (1988) kömürün, üç boyutlu makromoleküler bir yapıdan ve ekstrakte edilebilir moleküler sistemden oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.

Kömür yapısı için genellikle aromatik/hidroaromatik yapı modeli kabul edilmektedir. Bu model; alkil, hidroaromatik ve fonksiyonel gruplar taşıyan aromatik halka gruplarının birbirlerine heteroatom veya metilen köprüleri ile bağlanmasıyla açıklanmaktadır. Heteroatomların bir kısmı da heterosiklik yapılarda yer almaktadır. Sözlü edilen aromatik ve hidroaromatik gruplar, metilen, oksijen ve kükürt ile çapraz bağlanmışlardır.

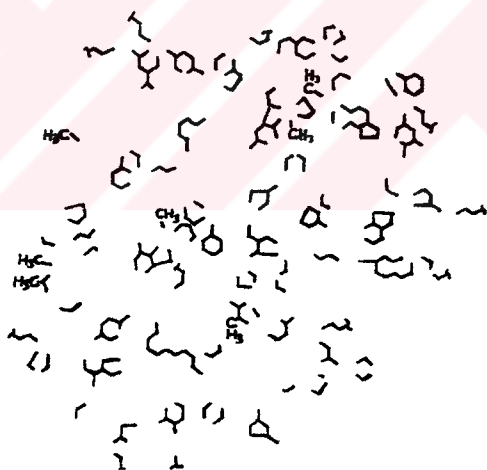
Kömür makromoleküllerinin, tabakalı, kısmen hidrojen bağları ile çapraz bağlı, üç boyutlu ve gözenekli bir yapısı olduğu düşünülmektedir. Birçok araştırmacı tarafından

oluşturulan bu modeller, sıvılaştırma, gazılaştırma, piroliz, şişme gibi proseslerde kömürün davranışı hakkında bilgi vermektedir (Given 1960, Solomon 1981) .

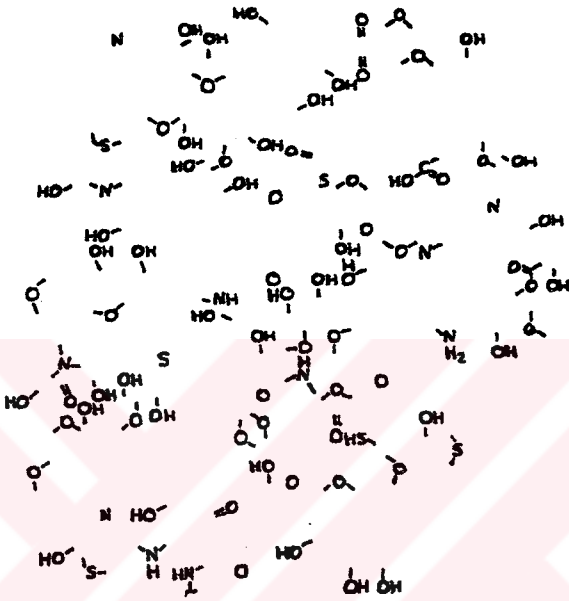
şekil 2.1'de gösterilen Shinn (1984) kömür yapı modeli, 10000 molekül ağrlıklı, vitrinite zengin, yüksek uçuculu bitümlü kömürleri simgelemektedir. Değişen aromatikler, fonksiyonlu gruplar ve alifatiklerin birleşmesiyle bu yapı farklı ranktaki kömürlere de uygulanabilmektedir. Kömürün rankı arttıkça, kömür yapısındaki aromatiklerin oranı ve aromatik halka sayısı artarken fonksiyonel grupların ve alifatiklerin oranı azalmaktadır. Ayrıca kömür rankı arttıkça her yapıda bulunan ortalama aromatik halka sayısı artmaktadır. şekil 2.2'de linyitten antrasite kadar farklı yaşlardaki kömür yapısında bulunabilecek ortalama yapı birimleri verilmiştir (Wender 1976).



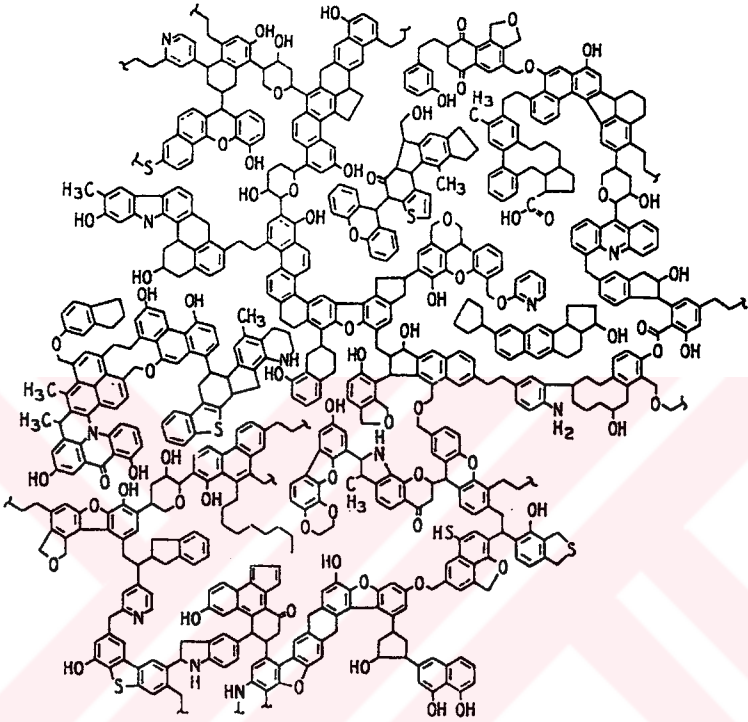
(a). Aromatikler



(b). Alifatikler

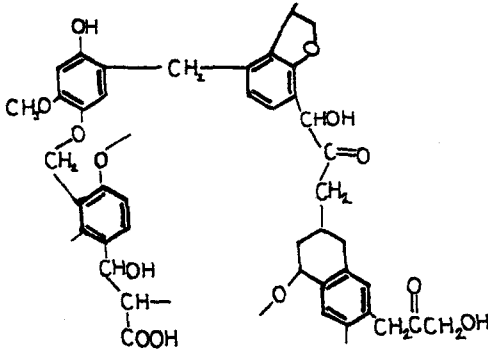


(c). Fonksiyonel gruplar



(d). Shinn kömür modeli

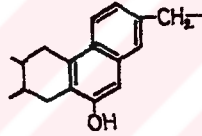
Şekil 2. 1. Kömürün yapı modeli (Shinn 1984)



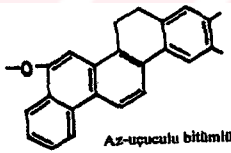
Linyit



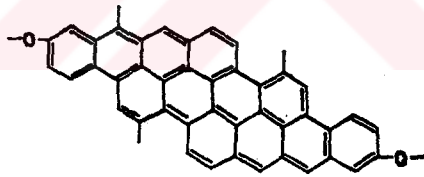
Albitümlü A



Çok-uçuculu bitümlü A



Az-uçuculu bitümlü



Antrasit

Şekil 2.2. Farklı yaşlardaki kömürlerde bulunabilecek yapı birimleri (Wender 1976)

Kömürün inorganik bileşenleri, kömürde karışım halinde bulunan veya kömürün organik kısmına kimyasal olarak bağlı olan elementlerdir. Mineral maddenin kömürde nasıl dağıldığı, kimyasal olarak yapıya nasıl bağlandığı ve prosesleri nasıl etkilediği önemlidir (Lowry 1963).

Kömürlerde inherent ve adventitious olmak üzere iki tür mineral madde bulunur. Diyagenetik kademede oluşan, kömürün organik kısmında doğal olarak bulunan mineral madde 'inherent mineral madde' olarak tanımlanmıştır. Metamorfik kademede, bitki artıklarının birikmesi sırasında katmanlar arasına sızan inorganik maddelerden kaynaklanan yabancı mineral maddeler ise 'adventitious mineral madde' olarak tanımlanmıştır (Edgecombe ve Manning 1952, Grounds ve Wandless 1952).

İnherent mineral maddeler kömürü oluşturan bitkilerden türerler ve karbonlaşma sırasında tam olarak bozunmazlar. Bitkilerin içerdiği inorganik maddeler ortalama %2 kadardır ve genel olarak Ca, Mg, Fe, Al, Na, K, Mn, Ti, S, Cl, P ve silika bileşiklerinden oluşmaktadır. Ancak kimi otoriteler bitkilerden ileri gelen ve gerçek inherent mineral maddeyi oluşturan inorganik bileşikler yanında bitki katmanlarına sızan ancak kömüre kimyasal veya koloidal olarak bağlı olan inorganik bileşikler de inherent inorganik madde olarak kabul etmektedir. Kömürün detaylı olarak incelenmesi için daha sonra katılan ve kömürdeki organik bileşiklerle kimyasal olarak birleşmiş inorganik bileşiklerle yine daha sonra katılan fakat serbest durumda bulunan inorganik maddeleri gerçek inherent inorganik maddeden ayırmak gereklidir.

İnorganik maddelerin çoğu kömürleşme prosesine turba kademesinde katılırlar. Parks (1952), kömürdeki mineral maddenin oluşumunu kaynaklara bağlı olarak açıklamıştır. İnorganik maddelerin kömüre katılması; bitki orijinindeki elementlerin birleşimi, sulu çözeltilerdeki elementlerin çökmesi, havadan ve sudan gelen kum vb. birikmesi, kömür depozitindeki çatlaklarda mineral oluşumu (epigenetik mineralizasyon) ile açıklanabilir (Gorbaty *et al.* 1983, Zervent 2002).

Turba oluşan sahalara, süspansiyon halinde mineral parçacıkları (kil, kuvars) ile çözeltili halinde katyonları ve eser elementleri taşıyabilen bir miktar su akışı vardır. Turbalar iki tür inorganik girdisi için de oldukça etkili tutuculardır. Organik maddedeki fonksiyonel

gruplar, katyonları karboksil grupları üzerine iyon değişimiyle veya komşu fonksiyonel grup çiftleriyle şelat koordinasyon kompleksleri halinde bağlarlar. Alkali metal iyonları (Na, K gibi) yer altı sularında bulunan diğer katyonlarla kolayca yer değiştirdiğinden inorganik maddelerin bileşimi turba kademesinden sonra değişebilir. Yer altı sularından toprak alkali katyonlarından (Ca, Mg gibi) da katılmalar olabilir. Ancak bu katyonlar kolayca yer değiştirmezler. Vitrinitler oksijenli fonksiyonel gruplar bakımından oldukça zengindir. Bu nedenle iyon değişimleri daha çok linyit gibi düşük ranklı kömürlerde gerçekleşir (Durie 1961).

Kömürün yapısında bulunan inorganik maddelerin bileşimi, turba havzası çevresindeki aşınmış kayaların yapısına, gömülmeden önceki ve sonraki yerel hidrojeolojik durum gibi faktörlere bağlıdır ve farklı damarlardaki mineral madde içeriğinin değiştiği bilinmektedir (Lowry 1963, Miller 1977, Glick ve Davis 1987).

Kömürdeki inorganik maddeler dört farklı şekilde bulunmaktadır (Eskenazy 1970, Davis *et al.* 1984, Karner *et al.* 1984, Miller ve Given 1986, Given ve Miller 1987):

1. Karboksil grupları ile tuz oluşturmuş olan kalsiyum, magnezyum gibi katyonlar,
2. Eser elementler, başlıcaları Be, V gibi katyonlar olmak üzere, komşu fonksiyonel grup çiftleriyle şelat koordinasyon kompleksleri oluşturmuş olan katyonlar,
3. Turba havzası dışında bulunan ve aşınmaya (erozyona) uğrayan kayalardan (dışsal mineral madde) gelen sularla taşınan yabancı mineral maddeler, başlıca kil ve kuvars, vb. Bu tür mineralleri basit fiziksel yöntemlerle kömür kütlesinden ayırmak mümkündür.
4. Bataklıklarda oluşan mineral maddeler; bakteriyel aktivitelerden pirit ve kalsit, vasküler bitkilerden kalsiyum oksalat, diatome kabuklarından ve sünger ignelerinden opalin (amorf silika, SiO_2)'dir (Andrejka ve Cohen 1984).

Kömürler metamorfizmle daha yüksek ranklı kömürlere dönüşürken içerdiği fonksiyonel gruplar uzaklaşır. Böylece (1) ve (2) tipindeki inorganik maddeler zamanla organik maddelerden ya çözünerek ayrılırlar ya da kömür içinde başka bir bileşiğe dönüşerek çökerler.

Lowry (1963), kömürde bulunan inorganik bileşikleri bağlı miktarlarına göre sınıflandırmıştır.

Ana (miktarı yüksek) mineral maddeler:

1. Kil mineralleri (alümina silikatlar): Başlıca kaolinit, illit, montmorilonit ve illitmontmorilonit karışımları şeklinde bulunurlar. Toplam mineral maddenin %60-80'ini oluştururlar.
2. Karbonat mineralleri: Kalsit (CaCO_3), siderit (FeCO_3), dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) ve ankerit ($2 \text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 \cdot \text{FeCO}_3$) mineralleridir. Toplam mineral maddenin %20-60'ını oluştururlar. Ayrıca Ca, Mg, Mn ve Fe karbonatlarının farklı şekillerde birleşmesinden meydana gelmiş karışımlar da mineral madde içinde bulunurlar.
3. Sülfürler: Başlıca pirit (FeS_2), markazit (FeS_x), galen (PbS) ve sfalerit (ZnS) şeklinde bulunmaktadır.
4. Sülfatlar: Genellikle farklı miktarlarda billur suyu içeren FeSO_4 'lar halinde ($\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) veya jarosit ($\text{Na}_2\text{KFe}_2(\text{SO}_4)_6$) şeklinde bulunurlar.
5. Silikatlar: Genellikle kuvars (SiO_2) şeklinde bulunur. Miktarı kömürdeki toplam mineral maddenin %20'sine kadar çıkabilir.
6. Tuzlar: Karboksil grupları ile katyonların birleşmesi sonucu klorür, sülfat, nitrat tuzları ile jips oluşur.

Eser (miktarı az) mineral maddeler:

Genellikle ppm mertebesinde bulunduklarından eser elementler olarak adlandırılırlar.

U, Ge, B, Be ve SiO_2 fazı içinde kayaç oluşturmaya yatkın olan Ga, P, Sb, Ti, V gibi elementler kömürün organik maddesine bağlı olarak bulunurlar. Sülfür oluşturmaya yatkın olan Cu, Pb, Hg, Se, As, Cd, Mn, Mo, Zn, Zr gibi elementler kömürün inorganik maddesine bağlı olarak bulunurlar. Co, Cr, Ni, Se gibi elementler ise inorganik yapıya bağlı elementlerle birlikte bulunurlar.

Orijinlerine göre mineral ve mineral madde grupları çizelge 2.3'de, toplam mineral madde içindeki mineral grubu oranları çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Orijinlerine göre mineral ve mineral madde grupları (Stach *et al.* 1975)

Mineral Grupları	Kömürleşmenin Birinci Evresi	(Biyokimyasal)	Kömürleşmenin İkinci Evresi	(Jeokimyasal)
	Su ve rüzgarla taşınmış	Yeni kristallenmiş	Çatlak ve boşluklarda oluşmuş	Sinjenetik minerallerin dönüşümü
Kil Mineralleri ve Zeolitler	Kaolinit, İllinit, Serisit, karışık tabakalı kil mineralleri, Zeolitler, Montmorillonit, Tonstein	Kaolinit, İllinit, Serisit, karışık tabakalı kil mineralleri, Zeolitler, Montmorillonit, Tonstein		İllit, Klorit, Zeolitik killer (düşük ranklı kömürlerde)
Karbonatlar		Siderit- Ankerit, Dolomit- Kalsit, Ankarit, Siderit, Kalsit	Ankerit, Kalsit, dolomit, Ankarit (Füzite)	
Sülfidler		Pirit, FeS_2 - CuFeS_2 - ZnS , Pirit (Füzite)	Pirit, Markasit, Çinko Sülfid (Stalerit), Kurşun Sülfid (Galen), Bakır Sülfid, Kalkopirit Pirit(Füzite)	FeCO_3 dönüşümüyle oluşan pirit
Oksitler		Hematit	Götit, Lepidokrokite	Götit, Lepidokrokite
Kuars	Kuars taneleri	Feldispat ve Mikanın dönüşüm ürünü, Kaldeson ve Kuars	Kuars	
Fosfatlar	Apatit	Fosforit, Apatit		
Ağır mineraller	Zirkon, Rütıl, Turmalin, Ortoklas, Biyotit		Kloritler, Sülfatlar ve Nitratlar	Kloritler, Sülfatlar ve Nitratlar

Çizelge 2.4. Kömürdeki mineraller ve oranları (Valkovic 1983)

MİNERALLER	ORANLARI
<u>Kil Mineralleri</u>	
İllit- Serisit	(>60%)-(30-60%)
Montmorilonit	(5-1%)-(5-10%)
Kaolinit	(5-10%)-(10-30%)
Halloysit	(5-1%)
<u>Demir Mineralleri</u>	
Pirit	(5-1%)-(5-10%)
Markasit, Melnikovit	(5-1%)
<u>Karbonatlar</u>	
Siderit, Ankerit, Kalsit	(5-10%)-(10-30%)
Dolomit	(5-1%)-(5-10%)
<u>Oksitler</u>	
Hematit	(5-1%)
Kuvars	(5-1%)-(5-10%)
Magnetit, Rutil	(<1%)
<u>Hidroksitler</u>	
Limonit	(5-1%)-(5-10%)
Götüt, Diaspor	(5-1%)
<u>Sülfürler</u>	
Sfalerit, Galen	(5-1%)
Kalkopirit, Pirotit	(<1%)
<u>Fosfatlar</u>	
Apatit, Fosforit	(5-1%)
<u>Sülfatlar</u>	
Barit	(5-1%)
<u>Silikatlar</u>	
Zirkon	(5-1%)
Biyotit, Stavrolit , Turmalin	(<1%)
Granat, Epidot	(<1%)
Sanidin	(5-1%)
Ortoklas, Ojit	(<1%)
Amfibol, Disten	(<1%)
Klorit	(5-1%)
<u>Tuzlar</u>	
Jips	(5-1%)
Bişofit, Silvin, Halit	(<1%)-(5-10%)
Kiserit, Mirabellit	(<1%)-(5-1%)
Melanterit, Keramohalit	(<1%)

Bazı araştırmacılar, kömürdeki uçucu olmayan elementlerin organik olarak bağlı olduğunu ve homojen olarak dağılmış olan ayrılmaz mineral maddelerin külü oluşturduğunu belirtmişlerdir. Kömür külünde genel olarak Mg, Na, K, Mn, P ve S bulunmaktadır (Durie 1961, Lowry 1963, Neavel 1981). İnorganik maddelerin kömüre geçişi tamamen doğal koşullara bağlı olduğundan kömürdeki kül miktarı % 5-35 arasında değişir ve kısa mesafelerde bile büyük farklılıklar gösterir. Kül miktarını diğer kömür parametrelerinden yararlanarak bulma olanağı yoktur (Berkowitz 1979).

Kömürdeki mineral madde, kömürün yerden çıkarılmasından kullanımına kadar tüm süreçlerde karşımıza çıkar. Kömür, bir yakma biriminde yakıldığında içeriğindeki mineral madde klinker oluşumu, uçucu kül, tıkanmalar ve kazan tüp korozyonu gibi problemlere neden olur (Ely ve Barnhart 1963). Külün yakma biriminden uzaklaştırılması büyük harcamalar gerektirdiğinden, prosesin ekonomisini fazlaca etkiler. Kömürdeki mineral madde ve kükürdün neden olduğu çevresel ve ekonomik problemler, kömürün *temiz* olarak kullanılması ile çözülebilir.

2.3. Kömürden Mineral Madde Uzaklaştırılması

Kömür hazırlama ve iyileştirmedeki amaç, kömürün kalitesini artırmaktır. Bu da içerdiği inert-yanmayan mineral madde miktarını düşürmekle sağlanır. Kömürdeki mineral maddeleri uzaklaştırmak için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin etkinliği, kömürde bulunan mineral maddenin derişim ve bileşimine fazlaca bağlıdır. Uygulanan yöntemler, mineral maddenin yoğunluk, ufalanabilirlik, boyut ve şekil gibi bazı özellikleri ile ilişkilidir (Aktaş 1993).

Kömürün temizlenip temizlenemeyeceği ya da ne ölçüde temizleneceği, hangi amaçla kullanılacağına ve alım-satımda şart koşulan spesifikasyonlara bağlıdır. Ancak kömür kok üretiminde kullanılacaksa veya oldukça fazla kükürt içeriyorsa bir ön temizleme şarttır. Kok kömürü üretiminde kullanılacak kömürün önceden temizlenmesi kömürün kekleşme yatınlığının artmasını sağlar. Kükürt içeriği yüksek olan kömürler termik santrallerde kullanılacak ise kükürt içeriğinin çevre sorunu yaratmaması için mutlaka düşürülmesi gerekir. Kömür çıkarıldığı yataktan çok uzak bir yere nakledilecekse, kül

içerisinin düşürülmesi nakil masraflarının düşmesini sağlayacağından ekonomik bakımdan avantajlıdır.

Kömürün organik maddesi ile mineral maddelerin yoğunlukları arasındaki fark yüksek olduğundan kömürün temizlenmesinde genellikle yoğunluğa dayalı fiziksel ayırma yöntemleri kullanılır. Ancak kömürün nasıl ve ne dereceye kadar temizlenebileceği mineral maddelerin kömürdeki dağılımına bağlıdır. Bitkilerin biriktiği yerde kömürleşmesinden oluşan otokton kömürlerdeki inorganik maddeler, çoğunlukla kömür yatağına paralel düzlemlerde ve belli başlı yarıklarda yoğunlaşır. Bu maddeler kömürden kolaylıkla ayrılabilirler. Diğer taraftan bitki artıklarının doğal nedenlerle farklı bölgelere taşındıktan sonra kömürleşmesinden oluşan alokton kömürlerdeki mineral maddeler, kömür maddesi içerisinde kolloidal olarak dağılmıştır. Dağılım çok mükemmel olduğundan bu tür mineral maddeleri, fiziksel yöntemlerle kömürden ayırmak mümkün değildir (Kural 1991, Aktaş 1993).

Bitümlü kömürler inorganik maddeleri kaolinit, illit, kuvars, kalsit, jips gibi ayrı büyük parçalar halinde içerirler. Kömür damarında büyük çatlaklarda ve yataklanma yüzeylerinde yoğunlaşmış halde bulunan ayrı mineral maddeler, ince öğütmenin ardından serbest hale gelirler. Böylece fiziksel yöntemlerle kolayca uzaklaştırılabilirler. Düşük ranklı kömürlerdeki mineral maddeler daha çok organik yapıya bağlı şekilde bulunmaktadır. Karboksilli asit tuzları şeklinde organik maddeye bağlı bulunan mineralleri, fiziksel yöntemlerle tamamen uzaklaştırmak mümkün değildir. Fiziksel yöntemlerle düşük ranklı kömürlerin içerdiği mineral maddeler yüksek ranklı kömürlere göre daha az uzaklaştırılmaktadır. (Joseph ve Forrai 1992).

Kömür temizlenmesinde fiziksel yöntemlerin yanında, kimyasal ve biyolojik yöntemler de araştırılmaktadır. Kimyasal yöntemlerde asit ya da bazla kömürdeki mineral maddelerin seçimli olarak uzaklaştırılması, biyolojik yöntemlerde ise metal sülfürleri kömürden ayırmak için bunların özel bakterilerce tüketilmesi amaçlanmaktadır (Silverman *et al.* 1963, Volsicky *et al.* 1976, Meyers 1977, Dugan ve Apel 1978, Chadra *et al.* 1979, Grady ve Muter 1979, Gökçay ve Yurteri 1983). Kimyasal temizleme tekniklerinin geliştirilmesine ilişkin çalışmaların çoğunluğunda kömürdeki

kükürdün seçimli olarak uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Bu nedenle, oksidasyon, indirgeme, mikrobiyal oksidasyon, zayıf organik asitlerle ekstraksiyon, vb. gibi prosesler denenmiştir. Bunlardan bazıları, iyi sonuçlar vermişse de endüstriyel uygulamaları ekonomik değildir (Berkowitz 1979).

Kömürden mineral maddelerin uzaklaştırılmasında; ağır ortam ayırması, küresel yağ aglomerasyonu ve köpük flotasyonu yaygın olarak uygulanan yöntemlerdir.

2.4. Ağır Ortam Ayırması

Ağır ortam ayırması, kömürdeki organik ve mineral maddelerin yoğunluk farkına dayanan bir ayırma tekniğidir. Organik maddenin yoğunluğu 1,23-1,72 g/cm³ iken mineral maddenin yoğunluğu 2,0-5,18 g/cm³ aralığındadır (Elliott 1981, Wright 1984, Kohler *et al.* 1987).

Ağır ortam ayırma tekniğinde ince öğütülmüş kömür parçacıkları ağır ortam sıvısıyla hızlı bir şekilde santrifüjlendiğinde sıvıdan daha düşük yoğunluktaki karbonca zengin (yüzen) kısım sıvı yüzeyinde toplanırken, sıvıdan daha yüksek yoğunluğa sahip olan mineral maddece zengin (çöken) kısım dibe çöker. Ayırma performansını; parçacık boyutu, ortam yoğunluğu, katı içeriği, santrifüj hızı ve zamanı gibi parametreler belirlemektedir (Stockton 1989, Abbot ve Miles 1991, Rhodes ve Miles 1991, Aktaş 1993). Kömürün içeriğindeki karbonca zengin kısımdan mineralce zengin kısmın iyi ayrılması için kömürün ince öğütülmesi ve ağır ortam yoğunluğunun 1,35-1,50 g/cm³ aralığında olması önemlidir (Ünal 1999).

Kömür maserallerinin ayrılması için benzer çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Drykacz ve Horwitz 1982, Drykacz *et al.* 1984 (a, b), Drykacz *et al.* 1991, Drykacz ve Ruscic 1992, Drykacz *et al.* 1992).

Ağır ortam sıvısı olarak tuz çözeltileri (CaCl₂, ZnCl₂, vb.), organik sıvılar (CCl₄, CCl₄-C₆H₆ karışımı, CCl₄-CBr₄ karışımı) ve süspansiyonlar (BaSO₄'ün suda kil ile stabilize edilmiş süspansiyonu) kullanılmaktadır (Berkowitz 1979). Kömürün yüzdürme-

çöktürme tekniği ile fraksiyonlara ayrılmasında, yoğunlukları yüksek ve viskoziteleri düşük olduğu için organik sıvılar tercih edilmektedir (O'Connell 1963, Ünal 1999).

Herhangi bir santrifüjssel kuvvet uygulamadan sadece ağır ortamda yerçekiminden dolayı ayırma da mümkündür. Ancak bu işlemde ortamın yoğunluğuna göre yüksek geri kazanım-düşük kaliteli veya düşük geri kazanım-yüksek kalitede (super clean) konsantre elde edilebilmektedir. Özbayoğlu ve Mamurekli (1994), yerçekimi etkisinde ağır ortam ayırması ve flotasyon tekniğini kullanarak Zonguldak bitümlü kömüründen çok temiz kömür hazırlama olanağını incelemiştir.

Aktaş et al. (1998), Zonguldak bitümlü kömüründen mineral madde uzaklaştırılması için ağır ortam ayırma tekniği üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada farklı oranlardaki izopropil alkol ve karbon tetraklorür karışımları kullanılarak ağır ortam yoğunluğunun ayırma performansına etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak Zonguldak bitümlü kömüründen ağır ortam ayırma tekniği ile mineral madde uzaklaştırmada, optimum parametreler belirlenmiştir. Araştırmacılar, 1,40 g/cm³ yoğunluktaki ağır ortamın iyi bir ayırma performansı için uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Ağır ortam ayırması sonucu elde edilen ürünün kalite değeri, bir mineral madde uzaklaştırma prosesinin performansını belirlemek için bazı araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Woodburn ve çalışma arkadaşları, uygun koşullarda ağır ortam ayırması sonucu elde edilen yüzen fraksiyonun mineral içeriğinin, kömürün kalıcı-uzaklaştıramayan (inherent) mineral içeriğine yakın alınabileceğini kabul etmişlerdir. Söz konusu kalite 'ulaşılabilen maksimum kalite' olarak tanımlanmış ve aynı kömürün köpük flotasyonunda elde edilen kalite değeri ile karşılaştırılmıştır (Flynn ve Woodburn 1987, Stockton 1989, Aktaş 1993, Aktaş ve Woodburn 1995).

2.5. Küresel Yağ Aglomerasyonu

Yağ aglomerasyonu, kömürdeki organik ve inorganik paręacıkların yüzey özelliklerindeki farka dayanarak yapılan ayırma tekniğidir. Bu teknik, ince öğütülmüş kömür paręacıklarının su içinde bir bağlayıcı yağ ile yüksek hızda etkileştirilmesine dayanır. Yüksek hızda yağın kütlesi mikro mertebesinde çok küçük boyutlu küreciklere parçalanarak, hidrofobik kömür paręacıklarına seçimli olarak yapışır. Belirli karışırma hızlarında yüzeyi yağ ile kaplanan tanecikler büyüyerek küresel aglomeratları oluşturur. Aglomeratlar oldukça gözenekli bir yapıya sahip olduklarından su yüzeyinde toplanır. Aglomere olmamış mineraller veya fazla miktarda mineral içeren kömür parçaları su fazında yoğunluk farkından dibe çökerek ayrılır (Steedman ve Krishnan 1987, Capes ve Jonasson 1989, Aktaş 2002).

Aglomerasyon yönteminde en çok kullanılan sistem, Szego değirmenidir. Szego değirmeni, pilot ölçekli uygulama ve büyük ölçekli uygulama için örnek teşkil etmektedir. Szego değirmeninde yüksek hızda sürekli öğütme ve yağ aglomerasyonu yapılmıştır (Gandolfi *et al.* 1984, Trass ve McCracken 1985).

Yağ aglomerasyonunda elde edilen temizlenmiş ürünün kalitesi ve geri kazanımı, mineral madde ayırma prosesinin etkinliğinin bir ölçüsüdür. Çeşitli parametrelerin yağ aglomerasyon prosesinin performansına etkileri araştırılmıştır. Bu faktörlerden en önemlileri kömürün türü, parçacık boyutu ve yüzey özellikleri, bağlayıcı yağ türü ve miktarı, karışırma hızı ve sresidir (Capes *et al.* 1974, Capes ve Germain 1982, Abdelrahman ve Brookes 1987, Slaghuis ve Ferreira 1987, Kawashima *et al.* 1989, Weelock *et al.* 1994, Petela *et al.* 1995, Shrauti ve Arnold 1995, Alonso *et al.* 1999).

Aglomerasyonda, bağlayıcı yağ olarak dizel, ham petrol, gazyağı ve su ile karışmayan hidrokarbonlar kullanılabilir. Genellikle bağıl yoğunluğu 0,7-0,85 aralığında olan yağlar tercih edilir. Bağıl yoğunluğu 0,64'n altında ve 0,97'nin üstünde olan yağların etkin olmadığı ileri sürülmüştür (Sun ve McMorris 1959). Yoğunluğu çok düşük olan yağların kömür paręacıklarını yeterince hidrofobik yapamadığı; yoğunluğu çok yüksek

olan yağların ise fazla viskoz olmalarından dolayı iyi bir dağılım göstermediği belirtilmiştir (Capes ve Germain 1982).

Araştırmalarda, yağ aglomerasyonunda kullanılan yağın özelliği ve miktarının, kömür türünün ürün geri kazanımını ve kalitesini etkilediği görülmüştür (Capes *et al.* 1985, Garcia *et al.* 1996, Garcia *et al.* 1998, Cebeci ve Eroğlu 1998, Baruah *et al.* 2000, Ünal ve Aktaş 2001).

Pirit, kömür gibi hidrofobik olduğundan aglomere olarak ürünün kül içeriğini artırır. Bunu önlemek için, uygun yüzey aktif maddeler kullanılarak piritin yüzey özellikleri değiştirilir. Hidrofilik hale gelen pirit, su fazında kalarak dibe çöker. Abdelrahman ve Brookes (1987), yüksek miktarda kül içeren kömürün aglomerasyonunda, bağlayıcı olarak dizel yağı ve yüzey aktif madde olarak oleik asit kullanmışlardır. Araştırma sonucunda, yüzey aktif madde ilavesi ile birlikte geri kazanımın arttığı belirlenmiştir. Ancak aşırı miktardaki yüzey aktif maddenin ürün kül içeriğini arttırdığı ve geri kazanımı düşürdüğü gözlenmiştir.

Zonguldak bitümlü kömürünün küresel yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Güleç 1999, Ünal ve Aktaş 2001, Aktaş 2002). Aglomerasyon prosesini etkileyen parametreler incelenerek optimum koşullar belirlenmiştir.

2.6. Köpük (Froth) Flotasyonu

Flotasyon, maden filizlerinin çeşitli ürünlere ayrılması ve zenginleştirilmesi amacıyla geliştirilmiş bir prosestir. Flotasyon sonunda ayrılan sıvı faz *atık*, daha değerli maddeleri içeren yüzen fraksiyon ise *konsantr* olarak adlandırılır. Flotasyon işlemi, uygulanan tekniğe göre farklı isimler alabilir. Parçacıkların seçimli olarak köpük yüzeyine tutunarak ayrıldığı yöntem köpük flotasyonu olarak bilinmektedir (Gaudin 1932).

Kömürün karbonca zengin olan organik kısmı hidrofobik, mineral maddeleri içeren inorganik kısmı ise hidrofilik özellik gösterir. Yüzey özelliklerindeki bu farka dayanarak kömürdeki mineral maddeler uzaklaştırılabilir. Köpük flotasyonu ile kömürün küldürdünü gidermek ve kömürde bulunan çeşitli maseralleri ayırarak, koklaşabilir kısımlar hazırlamak olanaklı olmaktadır .

Yoğunluk farkına dayalı kömür temizleme yöntemlerinin kısıtlı başarısı nedeniyle toz (ince) parçacık proseslerinde daha etkin ve işletim maliyeti oldukça düşük olan köpük flotasyonu yöntemi tercih edilmektedir (Klimpel ve Hansen 1987, Yoon *et al.* 1987).

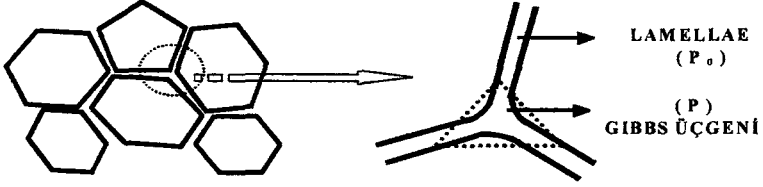
Köpük flotasyonu tekniğinde, sürekli olarak karıştırılan kömür-su süspansiyonundan hava geçirilerek köpük (froth) oluşturulur. Genellikle mineralsız olan veya çok az mineral içeren hidrofobik kömür tanecikleri köpük yüzeyine tutunarak, köpük ile birlikte ayrılır. Bu nedenle köpük yapısı ve kararlılığı ayırma etkinliği açısından çok önemlidir. Ancak köpük yapısı ve flotasyon performansı arasındaki ilişkiye yönelik araştırma sayısı azdır.

2.6.1. Köpük yapısı ve drenaj

Herhangi bir sıvının alt kısmından yüzeye doğru hava veya başka bir gaz geçirildiğinde, gazın sıvı içerisinde difüzyonu sonucu, çok hızlı bir şekilde sıvı yüzeyine doğru yükselen kabarcıklar oluşur. Gaz kabarcıklarının biraraya gelerek sıvı yüzeyinde meydana getirdikleri tabaka (yığın), köpük olarak bilinmektedir.

Saf sıvılarda, doymuş çözeltilerde, polaritesi ve fonksiyonlu grupları birbirine yakın bileşiklerden oluşan karışımlarda köpük oluşumu söz konusu değildir (Kirk-Othmer 1951, Gaudin 1957). Bu tür sıvılarda, sıvı yüzeyinin altında oluşan ve birbiri ile sürekli temas halinde bulunan büyük gaz kabarcıkları, hemen kırılırlar veya çok hızlı bir şekilde sıvı yüzeyinden uzaklaşırlar. Ancak düşük derişimli (seyreltik) hidrokarbon çözeltilerinde oluşan küçük gaz kabarcıkları, sıvı yüzeyinde birikerek köpük oluştururlar (Gaudin 1957).

Köpük, kenarları birbirine paralel ince sıvı filmlerinin oluşturduğu petek yapısı şeklindedir. Gaz kabarcıkları arasındaki bu iki taraflı sıvı kolonları 'lamellae', üç veya daha fazla gaz kabarcığının birleştiği bölgeler ise 'Gibbs Üçgeni' veya 'Plateau Sınırı' olarak adlandırılmaktadır (Bikerman 1953, Gaudin 1957, Rosen 1989). Şekil 2.3.'de iki fazlı bir köpüğü oluşturan kabarcıklar, lamellae (sıvı kolonu) ve Plateau sınırı (Gibbs Üçgeni) şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3. İki fazlı köpük (foam) yapısı

Sıvı yüzeyinde kümelenerek köpüğü oluşturan her bir kabarcıktaki gaz basıncı, kabarcık içinde her yerde aynıdır. Fakat çözeltinin yüzey gerilimine bağlı olarak kabarcık çapı ve şekli değişir. Bu durum kabarcıklar arasında basınç farkına neden olur.

Gibbs üçgenindeki basınç, lamellae basıncından daha düşüktür. Bu basınç farkından dolayı sıvı kolonları bükülürler ve gaz kabarcığına konkav halde bulunurlar. Lamellae ve Gibbs üçgeninde eğrilik yarıçapları farklı olacağından köpükte polihedral yapı oluşur.

Yüzey geriliminin etkisi ile bir eğri arayüzey boyunca oluşan basınç farkı Laplace eşitliği (Eşitlik 2.1) ile verilir:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \gamma \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right] \dots\dots\dots (2.1)$$

Laplace eşitliğinde γ arayüzey gerilimi, R_1 ve R_2 ise arayüzeydeki eğrilik yarıçaplarını simgelemektedir.

Plateau sınırlarındaki sıvı filmlerinde eğrilik en büyük değerdedir. Çünkü bu noktadaki basınç farkı, kabarcığın başka bir yerindeki basınç farkından daha büyüktür. Sıvı filmlerinin fazlaca eğriselleştiği Plateau alanındaki sıvı basıncı, paralel bölgelerden daha düşüktür ($P < P_0$). Bu basınç farkı ve yerçekiminin etkisiyle paralel sıvı filmlerinden (lamellae) Gibbs üçgenine doğru, *drenaj* (akaç) olarak tanımlanan sıvı akışı gerçekleşir.

Köpüğün sıvı yüzeyine yakın olan alt kısımlarında küçük-küresel kabarcıklar çoğunluktadır. Basınç farkı az olduğundan bu bölgede drenaj sadece yerçekimi etkisi ile ve çok yavaş gerçekleşir. Drenaj yavaş olduğundan bu bölgede lamellae kalınlığı fazladır. Drenaj hızı büyük ölçüde çözeltinin viskozitesi ile ilişkilidir.

Köpük, sıvı-köpük arayüzeyinden uzaklaştıkça drenaj artar ve lamellae kalınlığı azalır. Köpüğün en üst kısmında kabarcıklar daha büyük ve polihedral yapıdadır. Yüksek basınç farkından dolayı drenaj daha fazla olacağından bu bölgede lamellae en incedir. Giderek incelen iki paralel film (lamellae) arasındaki sıvının tamamen süzülmesi sonucu köpük yapısı bozulur. Lamellae kalınlığı belli bir kritik değere (50-100 Å) ulaştığında sıvı filmleri kırılır, kabarcıklar birleşerek patlar ve köpük çöker (Gaudin 1957, Rosen 1989, Aktaş 1993).

Köpük kararlılığı, köpüğün sürekliliği ile ilişkilidir. Harris (1982), kabarcıklar arasındaki sıvı drenajı nedeniyle sürekli olarak kırılan köpüğü *kararsız* olarak tanımlamıştır. Köpük, oldukça geniş bir yüzeye sahip olduğundan düşük yüzey gerilimi köpük kararlılığını artırır. Kararlı ve sürekli bir köpük elde edilebilmesi için hava-sıvı arayüzeyinde yüzey gerilimini düşüren, uygun yüzey aktif maddeler kullanılmalıdır (Subrahmanyam ve Forssberg 1988). Köpük yapıcı moleküller, yüzey geriliminin düşük olduğu bölgelerden yüksek olduğu bölgelere doğru taşınarak kabarcıkları kararlı hale getirirler.

Bartsch (1924), sulu alkol ve asit çözeltileri kullanarak köpük kararlılığını incelemiştir. Çalışmada yüzey geriliminin derişim ile hızla değiştiği, yüzey geriliminin azalmasıyla köpük kararlılığında artış olduğu gözlenmiştir. Ancak maksimum köpük kararlılığı,

yüzey geriliminin minimum değerine ulaşmadığı çözeltilerde elde edilmiştir (Bartsch 1924, Kirk-Othmer 1951).

Brown *et al.* (1953), sürfaktan çözeltilerinde viskozite ölçümü yaparak köpük kararlılığını incelemiştir. Yüzeyde viskozitenin çok düşük veya çok yüksek olması durumunda köpüğün kararsız olduğu belirtilmiştir.

İki fazlı-hücresele köpük yapısını, sistemin fiziksel özellikleri cinsinden ifade eden ilk geçerli matematiksel model, Hartland ve Barber (1974) tarafından geliştirilmiştir. Araştırmada, sakkaroz, gliserol, damıtık su ve sodyumsülfosüksinat içeren sıvı karışımından azot gazı geçirilerek elde edilen köpüğün, düzgün dodekahedral yapılı kabarcıklardan oluştuğu gözlenmiştir. Lamellae kalınlığındaki azalmanın köpük yüksekliğine bağlı olduğu belirlenmiştir. Köpük yüksekliği; film kalınlığı, kabarcık boyutu, gaz akış hızı ve akışkanın fiziksel özellikleri cinsinden ifade edilmiştir.

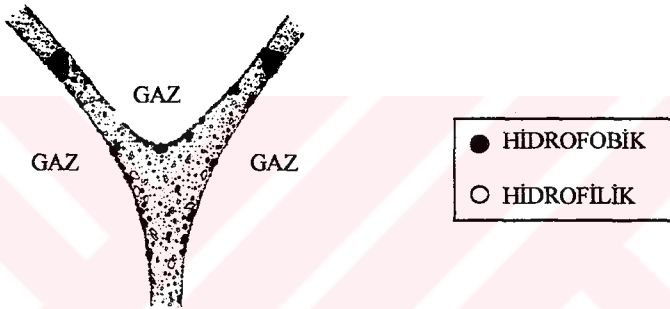
Bir çok proseste bu değişkenlerin yanı sıra köpük çökme süresi de büyük önem taşımaktadır. Barber ve Hartland (1975), başlangıçta yatışkın halde bulunan köpük için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Köpük çökme hızının viskozite, köpüğün başlangıçtaki yüksekliği ve kabarcık çapının artması ile birlikte arttığını; sıvı yoğunluğu, yüzey gerilimi ve kritik film kalınlığının artması ile ise azaldığını belirlemişlerdir. Farklı koşullarda yapılan deneysel çalışmalarda, başlangıçta yatışkın halde olmayan köpüğün, yatışkın olan köpüğe göre daha yavaş çöktüğü gözlenmiştir.

Gutwald ve Mersmann (1997), bir köpük kolonunun farklı noktalarında, kabarcık çapını ölçerek kabarcık birleşme hızını incelemişlerdir. Köpük yapıcı madde olarak CTAB, Mersolate-H95 ve Triton X-100 kullanmışlardır. Köpük çökmesinin drenaj, gaz difüzyonu ve kabarcık birleşmesi sonucunda gerçekleştiği belirlenmiştir.

Köpük, doğada ve endüstride sıkça karşılaşılan bir yapıdır. Birçok endüstriyel proseste, işletim giderlerinin artmasına ve ürün kalitesinin azalmasına neden olduğu için köpük oluşumu genellikle istenmeyen bir durumdur. Ancak köpük flotasyonu gibi bazı ayırma ve zenginleştirme işlemlerinde köpük yapısı prosesin temelini oluşturmaktadır.

Köpük flotasyonu hücresinde katı parçacıklar da bulunduğu için üç fazlı köpük (froth) oluşumu söz konusudur. Farklı boyut dağılımlarına sahip, en az iki farklı bileşen içeren bu katı fazın varlığı nedeniyle, flotasyon köpüğü oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir.

Denver tipi flotasyon hücresinde hava, karıştırıcının alt ucundan süspansiyona verilir ve küçük kabarcıklar halinde dağılır. Bu gaz kabarcıkları katı-sıvı karışımı içerisinde yükselmeye başladığında hücredeki su ve katı parçacıklar da sürüklenir. Katı parçacıklar ile yüklü olan köpük, sıvı yüzeyine ulaştığında üç fazlıdır. Şekil 2.4.'de üç fazlı köpük yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Üç fazlı köpük (froth) yapısı

Hidroforbik parçacıklar seçimli olarak gaz-sıvı arayüzeyinde tutunurlar ve köpük ile birlikte yükselerek konsantre şeklinde hücreden ayrılırlar. Hidrofilik parçacıklar ise kabarcıklar arasındaki sıvı kolonlarından (lamellae) drenaj yoluyla, su ile birlikte hücreye geri dönerler. Koşullara göre, köpük ile birlikte sürüklenen su ve hidrofilik parçacıkların bir kısmı konsantre fazına geçebilir. Ancak bu durum ayırma etkinliğini olumsuz yönde etkiler.

Köpük flotasyonunda, hidroforbik parçacıkların etkin bir şekilde ayrılabilmesi için drenaj ve köpük yapısı önemlidir. Ayırma için yeterli drenajın gerçekleşmesi, flotasyon hücresinde oluşan köpüğün kararlılığı ile ilişkilidir (Aktaş 1993, Banford 1996). Kararlı köpük elde edilebilmesi için kabarcıkların katı parçacıklar ile yüklü olması gereklidir (Szatkowski ve Freyberger 1985).

2.6.2. Köpük kararlılığını etkileyen faktörler

Flotasyon bir seri fizikokimyasal işlemden oluşur. Kimyasal parametreler hava-sıvı arayüzeyi gerilimi, hava-katı, hava-sıvı ve katı-sıvı arayüzeylerindeki kimyasal etkileşimleri içerir. Fiziksel parametreler ise parçacık özellikleri ile sistemin hidrodinamiklerini kapsar (Aktaş 1993).

Köpük flotasyonunda kullanılan yüzey aktif maddelerin cinsi ve miktarı, katı parçacıkların boyut dağılımı ve yüzey özellikleri ile hava akış hızı, katı-sıvı besleme oranı, karıştırıcı hızı, flotasyon süresi gibi işletim koşulları, köpük kararlılığını ve flotasyon performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu etkilerin incelendiği bazı araştırmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Yüzey Aktif Madde Cinsi ve Miktarı

Köpüğü oluşturan kabarcıkların kararlılığını arttırmak için köpük yapıcı yüzey aktif maddelerin kullanılması gereklidir (Woodburn *et al.* 1984). Köpük flotasyonunda kullanılan yüzey aktif maddeler genellikle köpük yapıcı ve/veya toplayıcı olarak etki ederler. Köpük yapıcı maddeler hava-sıvı arayüzeyinde tutunarak kabarcıklar arasındaki karşılıklı itme kuvvetlerini dengeler. Böylece köpüğü oluşturan kabarcıklar daha kararlı hale gelirler. Toplayıcı olarak etki eden maddeler ise katı yüzeyine adsorplanarak katı-sıvı arayüzey enerjisini değiştirirler. Bu durumda katının hidrofobikliği arttığından, katı parçacıkların kabarcıklara tutunma olasılığı da artar (Gaudin 1932, Banford 1996).

Toplayıcı olarak nötr hidrokarbonlar, kerosen tipi yağlar ve fuel oil; köpük yapıcı olarak ise metil izobütil karbinol (MIBC), 2-etil hekzanol ve izooktanol gibi kısa zincirli alkoller kullanılmaktadır.

Wrobel (1952), sıkça kullanılan köpük yapıcı maddelerin hava-çözelti arayüzeyindeki adsorpsiyon hızını ölçmüştür. Sadece çamyacı ve trietoksibütan çözeltilerinde, yüzey geriliminin zamanla değiştiği belirlenmiştir. Köpük yapıcı maddelerin süspansiyonda

havanın daha etkin dağılmasını sağladığı, böylece flotasyon hızının arttığı sonucuna varılmıştır.

Rosenbaum ve Fuerstenau (1982), üç farklı kömür örneğinin -590+210 µm parçacık boyut aralığında, Hallimond tüpü ile köpük flotasyonunu incelemiştir. Köpük yapıcı madde tipinin etkisini incelemek amacıyla NaCl, MIBC, Terpeneol kullanmışlardır. Köpük yapıcı maddenin yapısı inorganikten organik doğru değiştiğinde flotasyonda artış olduğu belirtilmiştir. Bu artış, organik köpük yapıcının toplayıcı özelliği göstermesine bağlanmıştır.

Flynn ve Woodburn (1987) tarafından gerçekleştirilen çalışmada üç fazlı köpük modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Parçacık boyutu 48 µm boyut altı olan iki düşük ranklı kömür örneğinin köpük flotasyonunda yüzey aktif madde olarak 2-etil hekzanol, kresol ve gazyağı kullanılmıştır. Çalışmada katı-sıvı karışımı yoğunluğu ve yüzey aktif madde tipinin flotasyon performansına etkisi incelenmiş, yüzey aktif madde tipinin kabarcık boyutuna etkisi saptanmıştır.

Stockton (1989), Hallimond tüpünde gerçekleştirdiği flotasyon testlerinde yüzey aktif madde derişiminin köpük yapısına etkilerini araştırmıştır. Köpük yapısının kontrolünde yüzey aktif madde miktarının en önemli etken olduğu belirtilmiştir. Belirli miktardaki yüzey aktif madde bir seferde veya kademeli olarak ilave edildiğinde köpük yapısında önemli değişimlerin olduğu gözlenmiştir.

Bonner ve Aplan (1993), yüzey aktif madde miktarının kömür flotasyonu sırasında piritin flote olabilirliğine etkisini araştırmışlardır. Köpük yapıcı ve/veya toplayıcı miktarı artırıldığında hem kömür hem de piritin geri kazanımı artmıştır. Köpük yapıcı ile birlikte kullanılan fuel oil, kömür parçacıklarının flotasyon hızını ve geri kazanımını artırmıştır.

Woodburn *et al.* (1994), -45 µm parçacık boyutunda Holditch kömürünün flotasyonunu Hallimond tüpü ve Denver hücresi ile gerçekleştirmişlerdir. Denver hücresi ile yapılan deneylerde anyonik yüzey aktif maddesi olan SDS (sodyum dodesil sülfat)

kullanmışlardır. SDS derişiminin flotasyon performansına etkisini incelemiş ve kinetik model oluşturmışlardır. SDS derişiminin artırılmasıyla geri kazanımın arttığını, kalitenin azaldığını belirlemişlerdir.

Jia *et al.* (2000), düşük ranklı ve/veya okside olmuş kömürlerin flotasyonunda kullanılan toplayıcıların etkilerini incelemişlerdir. Hidrofobiklik dereceleri farklı olan 74 µm boyut altında iki kömür örneği kullanılmıştır. Köpük yapıcı olarak MIBC, toplayıcı olarak moleküler yapıları farklı olan dodekan, nonilbenzen, tetra hidro furfural ester serisi kullanılmıştır. Yüzey aktif madde miktarının flotasyon performansına etkisinin incelendiği çalışmada, bitümlü kömürlerin flotasyonunda oksijenli fonksiyonel gruplar içeren yüzey aktif maddelerin toplayıcı olarak etki ettiği, benzen halkası bulundurmeyen yüzey aktif maddelerinse yüksek geri kazanım sağladığı saptanmıştır.

Ateşok ve Çelik (2001), bitümlü ve düşük ranklı kömür (Soma-Manisa) örneklerinin flotasyonunda yüzey aktif madde olarak gazyağı ve i-oktanol karışımı kullanmışlardır. Kuru öğütme sırasında, bitümlü kömür katranının damıtılmasıyla elde edilen yarı-yağı maddenin eklenmesi ile geri kazanımın arttığı saptanmıştır.

Vamvuka ve Agridiotis (2001), linyit flotasyonunda toplayıcı olarak gazyağı, köpük yapıcı olarak MIBC kullanmışlardır. Yüzey aktif maddesi olarak iki katyonik (dodesilamin, TTAB), bir anyonik (SDS), bir iyonik olmayan (2-etil heksanol) sürfaktan kullanmışlardır. Yüzey aktif madde tipinin ve derişiminin flotasyon performansına etkisi araştırılmıştır.

Denby *et al.* (2002), ince kömürlerin köpük flotasyonu ve yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesinde organik kimyasalların yanı sıra kısa zincirli, uçucu yağlar kullanmışlardır. Farklı zincir uzunluğuna sahip (C_4 - C_{18}) olan yağ asitleri, n-dodekan, kerosen, MIBC ve Nontoxol 500 gibi ticari yüzey aktif maddeler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan kömür örneği için en uygun sonuçlar dekanolik asit (C_{10}) ile elde edilmiştir.

Sis *et al.* (2003), kömür flotasyonunda toplayıcı olarak kullanılan kerosen ve çamyığa alternatif olarak bazı yağ asitlerinin kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir. Çalışmada, iyonik karakterli bu ticari yağ asitleri ile kömürden uzaklaştırılan kül miktarının daha fazla olduğu saptanmıştır.

Erol *et al.* (2003), yüzey aktif maddelerin ince kömür flotasyonundaki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla iyonik olmayan yüzey aktif maddelerden Triton X-100, MIBC, Brij-35 ile anyonik olan SDS kullanılmıştır. Çalışmada, seçilen yüzey aktif maddeler belirli oranlarda MIBC ile karıştırılarak kullanılmıştır. MIBC ve SDS ile yüksek geri kazanım sağlanırken uzaklaştırılan kül miktarı düşük olmuştur. Ancak yüzey aktif maddeler ikili karışımlar halinde kullanıldığında yüksek geri kazanım yanında yüksek kaliteli ürün elde edilmiştir. Yüzey aktif madde tipi ve miktarı ile konsantr katı içeriği arasında bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Parçacık Boyutu

İnce öğütme ile kömürdeki mineral maddeler serbest hale geçer ve fiziksel ayırma yöntemleri ile uzaklaştırılabilirler. Belirli bir boyutun altındaki parçacıkların kabarcık birleşmesini engelleyerek köpük kararlılığını arttırdığı açıklanmıştır (Gaudin 1957, Livhits ve Dudenkov 1965). Kömür parçacık boyutunun flotasyon hızı ve geri kazanıma etkileri deneysel çalışmalar ve teorik analizler ile birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Anthony *et al.* 1975, Trahar 1976 ve 1981).

Bustamante ve Warren (1984), düşük ve yüksek ranklı dört Avustralya kömürünün geri kazanımına parçacık boyutunun etkisini belirlemek için detaylı bir çalışma yapmışlardır. Deneyler MIBC ve MIBC-kerosen karışımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kesikli flotasyon deneylerinde elde edilen konsantrelerde mineral madde bulunmadığı belirlenmiştir. Geri kazanım ile parçacık boyutu arasındaki ilişkinin kömür rankına ve toplayıcı (kerosen) bulunup bulunmadığına bağlı olduğu; boyut ve hidrofobikliğin flote olabilirliğe etkisi cinsinden ifade edilmiştir.

Moxon ve Keast-Jones (1986), iri kömür parçacıklarının flotasyonuna toplayıcı emülsiyonunun etkisini çalışmışlardır. Kömürün parçacık boyutu azaldığında flotasyon veriminin arttığını rapor etmişlerdir.

Tsai (1988), ince kömürün kademeli flotasyonunda mineral boyutu ve dağılımının etkisini incelemiştir. Kademeli flotasyonda düşük kül ve düşük piritik kükürt içeren temiz kömür elde edilmiştir. Konsantredeki mineral parçacıklarının ortalama çapının 6 μm , %90'ının ise 13 μm 'den küçük olduğu belirtilmiştir.

Wojcik *et al.* (1989 ve 1990), gazyağının farklı boyutlardaki bir düşük ranklı kömüre etkisini çalışmışlardır. Gazyağı miktarının artışı ile konsantre içindeki toplam kömür miktarının ve konsantrenin kütlesinin arttığını rapor etmişlerdir. Bu artışın besleme içerisindeki parçacıkların boyut dağılımına bağlı olduğunu belirlemişlerdir.

Vanangamudi *et al.* (1989), beslemedeki ince kömür içeriğinin flotasyon performansına etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, külsüz ve küllü madde geri kazanımlarının birinci mertebe kinetiğe uyduğu belirlenmiştir. Beslemedeki ince kömür içeriği arttığında geri kazanım ve hız sabitlerinin azaldığı bulunmuştur.

Vamvuka ve Agridiotis (2001), linyit flotasyonunda kullanılan yüzey aktif madde tipinin ve derişiminin, ortam pH değerinin ve parçacık boyutunun flotasyon performansına etkisini incelemişlerdir. -500+300, -300+75, -75 μm fraksiyonlara ayrılarak kullanılan linyit için optimum parçacık boyut aralığı -300+75 μm olarak saptanmıştır.

Akdemir ve Sönmez (2003), Zonguldak kömürünün flotasyonunda parçacık boyutu, karıştırıcı hızı ve katı-sıvı besleme oranının etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalar sonunda parçacık boyutunun geri kazanım ve uzaklaştırılan kül miktarını etkileyen önemli bir parametre olduğu vurgulanmıştır.

Parçacık Yüzey Özellikleri

Birçok araştırmacı, katı parçacıkların hidrofobik özelliğinin köpük kararlılığını etkilediğini rapor etmişlerdir. Klassen ve Mokrousov (1963), katının hidrofobikliği arttığında köpük kararlılığı üzerindeki etkisinin de arttığını belirtmişlerdir. Bu etkinin parçacık boyutu ve miktarına bağlı olduğu vurgulanmıştır.

Dippenaar (1982-a), şekil ve hidrofobikliği farklı parçacıkların, üç fazlı film kararlılığına etkilerini incelemiştir. Hidrofobik ve düzgün küresel parçacıkların, katı parçacıkları taşıyamayacak kadar incelmış olan sıvı filmlerinin kırılmasına neden olduğu ileri sürülmüştür. Aynı çalışmada, hidrofobik quartz ve galena parçacık boyutunun köpük hacmi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Artan hidrofobik özellik ile birlikte kabarcık kırılmasının arttığı ve köpük hacminin belirgin şekilde azaldığı saptanmıştır (Dippenaar 1982-a,b).

Rosenbaum ve Fuerstenau (1982), farklı türdeki ince kömürlerin flotasyon davranışı ile yüzey özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek üzere bir çalışma yapmışlardır. Kömürün flote olabilirliği ile karbon, oksijen ve nem içeriği arasında güçlü bir bağlantı elde edilmiştir. Ayrıca seçilen iki kömür örneği ile oksidasyonun flotasyon hızına etkisi incelenmiştir.

Bujnowska (1985), polar olmayan ve heteropolar yüzey aktif maddeleri kullanarak sub-bitümlü kömürlerin petrografik bileşenlerinin flotasyonunu incelemiştir. Kömürdeki maseral grupları flote olabilirliklerine göre sıralanmıştır. İnertinitin yüksek flote olabilirliği, vitrinit ve eksinit ile karşılaştırıldığında aromatisasyon ve kondenzasyon derecesinin yüksek olmasına bağlanmıştır.

Tsai (1985), ince kömür flotasyonunda yüzey kimyası, parçacık boyutu ve yoğunluğun etkilerini araştırmıştır. Çeşitli yüzey aktif maddeler ile yapılan çalışmada en yüksek flotasyon performansı anyonik sürfaktan ile elde edilmiştir.

Al Taweel *et al.* (1986), kömürün flote olabilirliğinin parçacık boyutu ve yüzey özelliklerine kuvvetlice bağlı olduğunu bulmuşlardır. Bu çalışmada kömürün hidrofobikliği, hidrofilik/oleofilik oranı şeklinde verilmiştir. Bu oranı kullanarak kömür geri kazanımının düşük olduğu bir kritik hidrofobiklik seviyesi belirlemişlerdir.

Ayat (1987 ve 1989), kömür bileşiminin köpük flotasyonuna etkisini incelemiştir. Çalışmada geniş bir aralıktaki kömürler incelenmiş ve kömürün elementel bileşimi ile kömürün flote olabilirliği arasında matematiksel bir model oluşturulmuştur. Kömürün toplam oksijen, hidroksil grubu ve nem içeriği flote olabilirliği belirlemede kullanılabileceği ileri sürülmüştür.

Engel ve Smitham (1988) tarafından yapılan çalışmada, kömür flotasyonunda parçacık boyutu ve hidrofobikliğin köpük kararlılığına etkileri incelenmiştir. Kömürün rankı yükseldikçe hidrofobikliği arttığından yüksek ranklı kömürlerin kararlı ve büyük hacimli köpük oluşturduğu gözlenmiştir.

Somasundaran *et al.* (1991), kömür flotasyonuna oksidasyon yöntemlerinin etkisini incelemişlerdir. Kömür çeşitli sürelerde, farklı ortamlarda tutularak oksidasyonu sağlanmıştır. Kömürün ortam koşullarında havaya maruz kalması, flote olabilirliği üzerinde bir etki göstermemiştir. Fakat 90 °C'de hava ile etkileşimi sonucu kömürün flote olabilirliği belirgin şekilde azalmıştır. Kömür, potasyum permanganat (KMnO_4) çözeltisi ile muamele edilerek kimyasal oksidasyonu incelenmiştir. Kimyasal oksidasyon ile tüm pH değerlerinde flote olabilirliğin azaldığı gözlenmiştir. Bu azalmanın, kömür yüzeyinde hidrofilik grupların oluşmasına ve asidik çözeltide metal hidroksitler gibi kimyasal oksidasyon ürünlerinin çökmesine bağlı olduğu savunulmuştur.

Karşıl原因 *et al.* (1992), oksitlenmiş düşük ranklı Türk kömürünün flotasyonuna yüzey aktif madde etkisini belirlemek amacıyla dizel ve çam yağı kullanarak deneyler yapmışlardır. Farklı boyut aralıkları ve farklı yüzey aktif maddeleri için flotasyon performansının değiştiği belirtilmiştir.

Gourram-Badri *et al.* (1997), yaygın olarak kullanılan köpük yapıcı maddelerden MIBC'nin, kolon flotasyonunda seçimliliğe etkisini araştırmışlardır. Hava-su arayüzeyinde adsorplanan MIBC moleküllerinin yüzey gerilimini düşürerek kabarcık birleşmesini azalttığı belirlenmiştir. Çalışmada, MIBC'nin köpük yapıcı özelliğinin minerallerin hidrofobikliği ile bağlantılı olduğu belirtilmiştir. Hidrofobik parçacık oranı artırıldığında köpük yüksekliğinde artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca parçacık boyutunun etkileri de incelenmiştir.

Hava Akış Hızı

Benett *et al.* (1958), köpük yapıcı madde derişiminin köpüğün kabarcık boyutuna etkisini incelemişlerdir. Belli bir hava akış hızında, köpük yapıcı madde miktarının kabarcık boyutunu önemli ölçüde etkilediği saptanmıştır. Sabit yüzey aktif madde derişiminde, hava akış hızı artırıldığında, büyük kabarcıkların sayısında artış olduğu görülmüştür.

Laplane *et al.* (1983), kabarcık boyutu ve flotasyon hızını, hava akış hızı ve köpük yapıcı madde derişimi cinsinden incelemişlerdir. Köpük yapıcı içermeyen bir sistemde flotasyon hızının düşük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, hava akış hızındaki artış ile birlikte kabarcık çapının artmasına bağlanmıştır.

Çilek ve Yılmaz (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, flotasyon sistemlerinin hidrodinamiğini karakterize eden fiziksel değişkenlerin flotasyon performansına etkisi incelenmiştir. Hava akış hızının yanısıra flotasyon süresi, köpük yüksekliği, karıştırıcı hızı, köpük yapıcı madde derişimi gibi parametrelerin konsantrasyon ve geri kazanımına etkileri belirlenmiştir.

Sripriya *et al.* (2003), hava akış hızı ile birlikte köpük yapıcı ve toplayıcı madde miktarlarının flotasyondaki etkilerini araştırmışlardır. Bu parametreler için en uygun değerler istatistiksel yöntemler ile saptanarak pilot ölçekli sistemde uygulanmıştır.

2.6.3. Köpük yapısının incelenmesi

İnce kömür parçacıklarının flotasyonu, hücredeki katı-sıvı karışımından çok köpük yapısına bağlı bir mekanizma ile gerçekleşir. Bu nedenle köpük temelli flotasyon modelleri tercih edilmektedir (Flynn ve Woodburn 1987, Woodburn *et al.* 1994). Yapılan çalışmalar, flotasyon performansının büyük ölçüde köpük yapısı ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Bennet *et al.* 1958, Pryor 1965, Glembotskii 1972, Cutting *et al.* 1986, McKee 1990, Aktaş 1993, Moolman *et al.* 1996, Banford *et al.* 1998).

Hidrofobik parçacıklar gaz-sıvı arayüzeyinde taşınarak ayrıldığından köpük yapısı, flotasyon prosesinin kontrolünde önemli rol oynamaktadır. Flotasyon süresince köpüğün görünümü izlenerek işletim parametrelerinin optimizasyonu ve kontrolü olanaklı olmaktadır (Banford 1996, Sadr-Kazemi ve Cilliers 1997, Holtham ve Nguyen 2002). Son yıllarda, kabarcık boyut dağılımının belirlenmesi ve flotasyon performansına etkileri konusunda yapılan araştırmalarda artış görülmektedir.

İki ve üç fazlı sistemlerde köpüğü oluşturan kabarcıkların boyutunu belirlemek amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Görüntü analizi, elektrosesistivite, optiksel yöntemler, vb. üzerine çalışmalar yapılmıştır. Görüntü analizi tekniği, en kesin sonuç veren ve yaygın olarak kullanılan yöntemdir (Aldrich ve Feng 2000, Rodrigues ve Rubio 2003).

Moolman *et al.* (1996), köpük yüzeyinin karakterize edilmesine yönelik yaptıkları çalışmada görüntü analizi yöntemini uygulamışlardır. Köpüğün katı içeriğine bağlı olarak kabarcık boyutlarını küçük, orta ve büyük şeklinde sınıflandırmışlardır (Holtham ve Nguyen 2002).

Ahmed ve Jameson (1985), ince parçacıkların flotasyonunda köpüğü oluşturan kabarcık boyutunun flotasyon hızına etkisini incelemiştir. Araştırmada flotasyon hızının kabarcık çapına bağlı olduğu, çok küçük kabarcıkların büyük kabarcıklardan daha fazla katı parçacık taşıdığı saptanmıştır.

Konvansiyonel flotasyon proseslerinde karşılaşılan problemlerin pek çoğu, çok küçük hava kabarcıkları oluşturularak azaltılabilmektedir. Yoon *et al.* (1987) tarafından yapılan çalışmada, köpüğü oluşturan kabarcıkların boyutu küçüldüğünde kabarcık-katı parçacık çarpışma etkinliğinin arttığı belirlenmiştir. Bu durumda geri kazanım ile birlikte seçimliliğin de arttığı gözlenmiştir. Hargrave ve Hall (1997) ise küçük kabarcıklardan oluşan köpük ile yüksek kalitede ürün elde etmişlerdir.

Flotasyon prosesinde köpük yapısının etkileri görüntü analizi yöntemi ile belirlenebilmektedir (Ventura-Medina ve Cilliers 2002). Görüntü analizi tekniğinde köpüğü oluşturan kabarcıkların küresel olduğu kabul edilerek, kabarcıkları ayıran sınırlar belirlenir. Bu sınırların ince ve sürekli olması, elde edilecek sonuçların doğruluğu açısından oldukça önemlidir (Banford 1996).

Banford *et al.* (1998), düşük ranklı Bickershaw kömürünün flotasyonunda yüzey aktif madde olarak 2-etilheksanol ve Triton X-405 kullanmışlardır. Çalışmada görüntü analizi tekniği uygulanarak köpük yapısının flotasyon performansına etkisi incelenmiştir. Araştırmacılar köpük yapısı ile elde edilen ürünün miktarı ve kül içeriği arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğunu belirlemişlerdir.

Citir *et al.* (2003), Zonguldak kömürünün flotasyonunda off-line görüntü analizi tekniğini uygulamışlardır. Bu amaçla kullanıcı etkileşimli bir bilgisayar programı (RADIS 026) hazırlanmıştır. Görüntü kalitesinden kaynaklanabilecek hataları önlemek amacıyla, Banford (1996) tarafından önerilen metoda bazı iyileştirmeler getirilmiştir.

2.7. Yüzey Aktif Madde Adsorpsiyonu

Atom, iyon ya da moleküllerin bir katı yüzeyine tutunması *adsorpsiyon* olarak tanımlanmaktadır (Sarıkaya 1993). Adsorpsiyon işlemi genellikle, değerli maddelerin ayrılması ve/veya zararlı maddelerin uzaklaştırılması amacıyla uygulanmaktadır.

Adsorpsiyonu etkileyen pek çok parametre vardır. Bunlardan en önemlileri adsorplayıcı katının ve adsorplanan maddenin kimyasal yapısıdır.

2.7.1. Yüzey aktif maddeler

Hidrofilik ve lipofilik gruplar içeren uzun zincirli moleküller *yüzey aktif madde* olarak adlandırılmaktadır. Yüzey aktif maddeler yapısal özelliklerine bağlı olarak arayüzeylerde adsorplanırlar. Böylece sistemin yüzey ve arayüzey özelliklerini değiştirirler (Clunie ve Ingram 1983, Myers 1988, Aktaş 1993). Yüzey aktif maddeler dispersiyon, yüzeyin ıslatılması, sıvı asıltı yapma veya asıltıyı yok etme, köpük oluşturma veya köpük kırma, yüzeyin hidrofobik veya hidrofilik özelliğini değiştirme gibi çeşitli amaçlarla kullanılırlar.

Yüzey aktif madde molekülü bir baş ve kuyruk kısmından oluşur. Yüzey aktif maddeler baş gruplarının taşıdığı elektrik yüküne göre sınıflandırılırlar (Ottewill 1984, Myers 1988).

Anyonik yüzey aktif maddeler: Molekülün aktif kısmında negatif yük taşırlar.

Katyonik yüzey aktif maddeler: Molekülün aktif kısmında pozitif yük taşırlar.

Amfoterik yüzey aktif maddeler: Çözeltinin pH'ına bağlı olarak katyonik veya anyonik özellik gösterirler.

İyonik olmayan yüzey aktif maddeler: Molekülün aktif kısmında herhangi bir elektrik yükü taşımazlar. Sudaki çözünürlükleri, su ile hidrojen bağı yapabilen polar fonksiyonlu grupların varlığına göre değişebilir.

Yüzey aktif maddeler katı yüzeyine farklı şekillerde adsorplanabilir. Moleküller yönelme yüzeyin kimyasal yapısına bağlı olarak gerçekleşir (Aktaş 1993).

2.7.2. Adsorplayıcı katılar

Adsorpsiyon kapasitesi ve şiddeti, adsorplayıcı katının yapısına bağlıdır (Glass ve Wenger 1998, Tarasevich 2001). Bir kristal yapıya sahip olsun ya da olmasın tüm katılar adsorplama gücüne sahiptir. Adsorpsiyon kapasitesi yüksek olan katılar gözenekli yapılarından dolayı yüksek yüzey alanına sahiptirler. Katının gözenekliliği ve gözenek boyut dağılımı adsorpsiyon kapasitesini belirleyen önemli faktörlerdir (Tarasevich 2001).

Gözenekler genellikle ortalama genişliklerine göre sınıflandırılırlar (Dubinin 1960). Gözeneklerin genişliklerine (açıklıklarına) göre sınıflandırılması çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Gözeneklerin genişliklerine (açıklıklarına) göre sınıflandırılması (Collins ve Jameson 1972)

<u>Gözenek</u>	<u>Genişlik (Açıklık)</u>
Mikrogözenek	$< \sim 20 \text{ Å}$ (2 nm)
Mezogözenek	~ 20 ile 500 Å arasında (2–50 nm)
Makrogözenek	$> \sim 500 \text{ Å}$ (50 nm)

Adsorpsiyonda yaygın olarak kullanılan doğal gözenekli katılar kömürler, killer, zeolitler, çeşitli metal filizleri; yapay (sentetik) gözenekli katılar ise aktif kömürler, moleküler elekler (yapay zeolitler), silikajeller, metal oksitler, bazı özel seramikler şeklinde sıralanabilir. Doğal gözenekli katılar, doğada fazla miktarda bulunduklarından ucuz ve kolay bir şekilde elde edilebilmektedir.

2.7.3. Katı-sıvı arayüzeyinde yüzey aktif madde adsorpsiyonu

Sulu çözeltilerden yüzey aktif madde adsorpsiyonu farklı mekanizmalar ile gerçekleşebilir. Bu adsorpsiyon mekanizmalarından bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

İyon değişimi ile adsorpsiyon: Çözeltiden katı madde yüzeyine adsorplanan iyonların, yüzey aktif madde molekülünün aynı yüklü karşı iyonlarıyla yer değiştirmesi ile gerçekleşir (Wakamutsu ve Fuerstenau 1968, Law ve Kunze 1966).

İyon çiftleşmesi ile adsorpsiyon: Yüzey aktif madde iyonlarının boş olan ters yüklü aktif konumlara adsorpsiyonudur (Law ve Kunze 1966).

Asit-baz etkileşimi ile adsorpsiyon: Adsorplanan ve adsorplayıcı arasında hidrojen bağıyla ya da Lewis asit-baz reaksiyonu ile gerçekleşen adsorpsiyondur (Fowkes 1987).

π Elektronlarının polarizasyonu ile adsorpsiyon: Adsorplanan madde elektron yönünden zengin aromatik çekirdekler içerdiğinde adsorplayıcı katı güçlü pozitif konumlar içerdiğinde ortaya çıkan bir mekanizmadır. Elektron yönünden zengin aromatik çekirdeklerle pozitif noktalar arasındaki etkileşme adsorpsiyona sebep olmaktadır (Snyder 1968).

Dağılıma (dispersiyon) kuvvetleriyle adsorpsiyon: Adsorplayıcı ve adsorplanan molekülleri arasında London-van der Waals dağılıma kuvvetlerinin etkisiyle gerçekleşir. Genellikle adsorplanan maddenin molekül ağırlığı arttıkça adsorpsiyon hızı da artmaktadır. Bu mekanizma sadece bağımsız bir adsorpsiyon mekanizması olarak değil, diğer mekanizmaları tamamlaması yönünden önem taşımaktadır (Law ve Kunze 1966).

Hidrofobik bağlanma ile adsorpsiyon: Yüzey aktif madde molekülündeki hidrofobik gruplar arasındaki karşılıklı çekim kuvveti ve söz konusu grupların sulu ortamdan kaçma eğilimlerinin kombinasyonu sonucunda gerçekleşen adsorpsiyon mekanizmasıdır (Giles *et al.* 1974).

Katı yüzeyindeki yapısal gruplar, adsorplanan maddenin kimyasal yapısı, sıvı fazın pH'ı, elektrolit içeriği ve sıcaklık katı-sıvı arayüzeyinde yüzey aktif madde adsorpsiyonunu etkileyen önemli parametrelerdir (Rosen 1989).

2.7.4. Köpük flotasyonunda yüzey aktif madde adsorpsiyonu

Doğal gözenekli yapısı nedeniyle kömür, yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahiptir. Tarasevich (2001), kömürün gelişmiş gözenek yapısı nedeniyle sudaki birçok organik bileşiği adsorplayabildiğini belirlemiştir. Çeşitli kimyasal maddelerin kömür yüzeyine adsorpsiyonu bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Esumi *et al.* 1982, Gala *et al.* 1983, Ayub *et al.* 1985, Gürses *et al.* 1995, Glass and Wenger 1998, Crawford ve Mainwaring 2001, Tursun 2002).

Singh *et al.* (1998), anyonik, katyonik ve iyonik olmayan surfaktan kullanarak adsorpsiyon izotermi ve kinetikleri üzerine çalışmışlardır. Araştırma sonucunda kömür yüzeyi ile surfaktan molekülleri arasında elektrostatik çekimlerin yanısıra hidrofobik etkileşimlerin de olduğu sonucuna varılmıştır.

Mishra *et al.* (2003), anyonik bir yüzey aktif madde olan sodyum dodesil benzen sülfonat (NaDDBS) adsorpsiyonunun kömür-su karışımının reolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucu NaDDBS'in kömüre zayıf hidrofobik bağlanma ile adsorplandığı belirlenmiştir. Çok düşük NaDDBS derişimlerinde dahi kömür-su karışımının viskozitesinde belirgin bir azalma gözlenmiştir. Kömür-su karışımlarının hazırlanmasında genellikle dağıtıcı olarak kullanılan yüzey aktif maddelerin kömüre adsorpsiyon davranışını inceleyen bir diğer çalışma Karatepe (2003) tarafından gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel verilere dayanarak matematiksel model oluşturulmuştur.

Kömür flotasyonunda köpük yapıcı ve toplayıcı olarak kullanılan yüzey aktif maddelerin kömür parçacıklarına adsorpsiyonu, flotasyon performansını önemli ölçüde etkilemektedir.

Digre ve Sandvik (1968), flotasyon sırasında parçacık-parçacık ve parçacık-kabarcık etkileşimlerinin toplayıcı olarak kullanılan yüzey aktif maddelerin katı yüzeyine tutunmasına yol açtığını ileri sürmüşlerdir. Çalışmada, konsantre halinde ayrılan parçacıkların orijinale göre daha fazla toplayıcı madde adsorpladığı saptanmıştır. Pope ve Sutton (1971), bu teorelin doğruluğunu araştırmak amacıyla, geniş bir derişim aralığında toplayıcı adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Ancak konsantredeki parçacıklara adsorplanan toplayıcı miktarının orjinalden daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Yüzey aktif madde derişiminin artırılması ile birlikte adsorpsiyon hızının artışı, moleküler yönlennmeye bağlı olarak açıklanmıştır.

Perry ve Aplan (1988), prit ve kömürün flotasyonuna etkilerini belirlemek için polisakkaritler ve bileşenlerinin adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Polisakkaritlerin prite adsorpsiyonun kömüre göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar

adsorpsiyonun hidrojen bağı ve elektrostatik çekim kuvvetlerinden dolayı meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir.

Aktaş ve Woodburn (1994 ve 1995) tarafından yapılan çalışmalarda 5 µm boyut altındaki (ultra-fine) düşük ranklı iki İngiliz kömürüne iyonik olmayan 2-etil hekzanol ve diasetonalkol adsorpsiyonu incelenmiştir. Aynı kömür örnekleri ile gerçekleştirilen köpük flotasyonu işlemlerinde diaseton alkol ve 2-etil hekzanol yüzey aktif madde olarak kullanılmıştır. Araştırmada yüzey aktif maddelerin flotasyon performansına etkisi ve yüzey aktif madde adsorpsiyonu ile köpük yapısındaki değişim incelenmişlerdir. Görüntü analizi tekniği kullanılarak köpük yapısı ve kabarcık boyut dağılımı belirlenmiştir. Yüzey aktif madde adsorpsiyonu ile köpük yapısı ve flotasyon performansı arasında sıkı bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kömür Örneklerinin Hazırlanması

Araştırmada, Zonguldak kömür havzasından temin edilen yüksek mineral madde içerikli Zonguldak bitümlü kömürü kullanılmıştır.

Köçük flotasyonunda kararlı köçük yapısı ve buna bağlı olarak yüksek performans elde edilebilmesi için parçacık boyutu çok önemlidir. Literatürde, köçük flotasyonunda en uygun parçacık boyutunun 60 µm altı olduğu belirtilmektedir (Flynn ve Woodburn 1987, Woodburn *et al.* 1994). Bu nedenle iri parçalar halindeki kömür, önce çekiçli kırıcıyla daha küçük parçalara kırılmıştır. 5 mm boyut altına kadar küçültülmüş olan kömür daha sonra bilyalı değirmende 15 dakika süreyle öğütülmüştür. Böylece kömürdeki mineral maddeler serbest hale getirilmiştir.

Bilyalı değirmenden alınan kömür örnekleri titreşimli elek sisteminde sınıflandırılmıştır. Eleme işleminde Endecotts marka ASTM E-11/BS 410 standartlarında 53-106-250 µm boyut aralıklarında paslanmaz çelik elekler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda 53 µm boyut altındaki fraksiyon kullanılmıştır.

Eleme işlemi sonrasında, elenmiş kömür örneklerinin tamamı 15 litre hacimli silindirik bir kaba aktarılmıştır. Homojenizasyon sırasında etkin karıştırmayı sağlamak için kabın içine engeller yerleştirilmiştir. Kap sıkı bir şekilde kapatılarak bilyalı değirmen ile öğütmede kullanılan, bir elektrikli motor yardımıyla döndürülen şaftlı sistemin üzerine yerleştirilmiştir. Silindirik kap içindeki elenmiş örnek, 45 dakika süreyle etkin bir şekilde karıştırılmıştır. Yapılan kül analizleri sonucunda bu sürenin, homojen bir karışım elde etmek için yeterli olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan 53 µm boyut altındaki Zonguldak bitümlü kömürü, '*orjinal kömür*' olarak adlandırılmıştır. Köçük flotasyonunda, kömür parçacık boyutunun incelenmesi amacıyla, orjinal kömür örneği ikinci bir öğütme işlemine tabi tutulmuştur. İkinci

öğütme, özel olarak dizayn edilmiş soğutma sistemli bir bilyalı değirmende yapılmıştır. Elde edilen daha ince kömür örneği, '*ince kömür*' olarak adlandırılmıştır.

Tüm kömür örnekleri, oksidasyonu önlemek için atmosferle temas etmeyecek şekilde, hava sızdırmaz plastik torbalara konularak saklanmıştır.

3.2. Parçacık Karakterizasyonu

3.2.1. Kül ve nem içeriği

Deneylerde kullanılan Zonguldak bitümlü kömürünün kül ve nem içeriği ASTM standartlarına göre belirlenmiştir (ASTM D 3172-73, ASTM D 3176-74).

Kül Tayini: Sabit tartıma getirilmiş porselen krozelere konulan 1 g kömür örneği sıcaklık programlı kül fırınında (Nabertherm Program Controller S27) yakılmıştır. Oluşan kül miktarından yararlanarak kömürün kül içeriği (%) hesaplanmıştır.

Nem Tayini: Sabit tartıma getirilmiş porselen krozelere belirli miktarlarda kömür örneği alınmıştır. 105 °C sıcaklıktaki etüvde 3 saat bekletildikten sonra, krozeler tekrar tartılmıştır. Bu işlem sonundaki ağırlık kaybından kömür örneğinin nem içeriği (%) hesaplanmıştır.

3.2.2. Parçacık boyut dağılımı

Kömür örneklerinin parçacık boyut dağılımı Lazer Parçacık Boyut Analizörü (Malvern Hydro 2000 MU) kullanılarak, yaş yönteme göre belirlenmiştir.

Kömür-su karışımı doğrudan analizörün sirkülasyon beherinde karıştırılarak hazırlanmıştır. Parçacıkların mükemmel dağılımını (dispersiyon) sağlamak için kömür-su karışımı cihazda bulunan ultrasonik sistemle zaman zaman 10'ar saniye etkileşime tabi tutulmuştur.

Ölçümler için hazır hale getirilmiş kömür-su karışımı, lazer ışın demetinin geçtiği hücreden güçlü bir pompa yardımıyla döngüleştirilmiştir. Işın demeti parçacıklar üzerinden geçerken kırılmalara uğradığından, enerjilerindeki değişimden yararlanarak parçacık boyutu saptanmıştır. Bu amaçla Mastersizer 2000 yazılım programı kullanılmıştır. Analiz sırasında iri parçacıkların boyutlarını belirlemek için lazer ışın demeti kullanılırken, çok küçük boyutlu parçacıklar için mavi ışın (blue light) cihaz tarafından otomatik olarak kullanılmıştır.

Geliştirilmiş yazılım programı değişik sonuçları grafiksel veya tablo halinde sunmaktadır. Bunlardan en yararlı olanı parçacık boyut dağılımı ve toplamı (kümülatif) değerlerdir.

3.2.3. Yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımı

Çalışmada kullanılan tüm kömür örneklerinin BET (Brunauer et al. 1938) yüzey alanları ve gözenek boyut dağılımları Quantachrome Nova 2000 serisi yüzey alanı ve gözenek boyut analizörü kullanılarak belirlenmiştir. Adsorplanan gaz olarak % 99.9 saflıkta azot gazı kullanılmıştır.

Katı örnekler gaz adsorpsiyon/desorpsiyon işleminden önce aktivasyon işlemine tabi tutulmuştur. İşlem için, yeterli miktarda örnek ölçüm hücresine koyularak, vakumda 120°C sıcaklıkta, 5 saat süreyle gaz uzaklaştırma işlemi yapılmıştır. Böylece katı yüzeyinde veya açık gözeneklerde bulunabilecek nem ve gazlar uzaklaştırılmıştır. Aktiflenmiş örnekler oda sıcaklığına soğutulularak hassas bir terazide tartılmıştır. Başlangıç tartımları arasındaki farktan, kuru katı maddenin net miktarı belirlenmiştir. Böylece kömür örnekleri analiz için hazır hale getirilmiştir.

Örnek hücresinin daldırılacağı sıvı azot kabı (Dewar) gerekli seviyeye kadar sıvı azot (77 K) ile doldurulmuştur. Cihazın uygun istasyonuna yerleştirilen gazı uzaklaştırılmış hücre içindeki katı örneğin öncelikle adsorpsiyon kapasitesi belirlenmiştir. Tamamen otomatik olan sistemin “bilgi girişi” tuşlarından gerekli parametreler girildikten sonra adsorpsiyon işlemi başlatılmıştır. Adsorpsiyon/desorpsiyon süreci boyunca elde edilen

ölçüm verileri, doğrudan RS232 bağlantısıyla bilgisayara kaydedilmiştir. Bilgisayar kayıtlarında cihazla birlikte sağlanan “NovaWin” yazılımı kullanılmıştır. Adsorpsiyon/desorpsiyon verileri gerek grafiksel, gerekse çizelge halinde kullanıcıya sunulmaktadır.

BET yüzey alanları hesaplanırken tek nokta yerine çok nokta yöntemi tercih edilmiştir. Gözenek boyut dağılımı desorpsiyon verileri kullanılarak, BJH (Barret *et al.* 1951) yöntemine göre belirlenmiştir.

3.3. Ağır Ortam Ayırması

Ağır ortam ayırması tekniğinde ağır ortam sıvısı olarak, yoğunluğu 1,30-1,55 g/ cm³ aralığında değişen izopropil alkol (IPA)-karbontetraklorür (CCl₄) karışımları kullanılmıştır. Ağır ortam ayırmasında kömür-sıvı karışımı (süspansiyon), %5 kömür içerecek şekilde hazırlanmıştır. İzopropil alkol ve karbontetraklorürün bazı fiziksel özellikleri çizelge 3. 1’de verilmiştir.

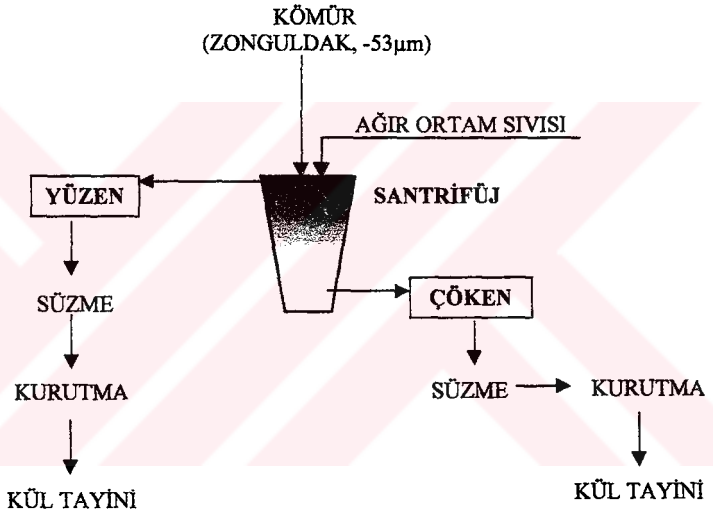
İki ayrı santrifüj tüpünde, 3 g ince öğütülmüş (-53 µm) kömür örneği tartılarak üzerine yoğunluğu bilinen 45 g ağır ortam sıvısı ilave edilmiştir. Kömür parçacıklarının ağır ortam sıvısı ile tamamen ıslanmasını sağlamak amacıyla kömür-sıvı karışımı bir cam baget ile karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar 5000 rpm hızda 10 dakika santrifüjlenmiştir. Santrifüj işlemi Hettich Universal-16 santrifüjü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Santrifüj sonunda sıvıdan daha düşük yoğunluktaki karbonca zengin kısım (yüzen) sıvı yüzeyinde toplanırken, yüksek yoğunluktaki mineral maddece zengin kısım (çöken) dibe çökmüştür. Tüplerin üst kısmında toplanan yüzen fraksiyon, ağır ortam sıvısından ayrılmıştır. Tüplere ağırlıkları eşit olacak şekilde bir miktar daha ağır ortam sıvısı ilave edilerek tekrar santrifüjlenmiştir. Yüzen ve çöken fraksiyonlar ayrı ayrı mavi bantlı süzgeç kağıdından süzülerek ağır ortam sıvısından ayrılmıştır.

Süzme işlemlerinin ardından yüzen ve çöken fraksiyonlar etüvde, 70 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Her iki fraksiyonun kuru miktarları belirlendikten sonra kül tayini ve

parçacık boyut analizleri gerçekleştirilmiştir. Ağır ortam ayırma yönteminin akım şeması şekil 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. İzopropil alkol ve karbontetraklorürün bazı fiziksel özellikleri

	Kapalı Formül	M_A (g/mol)	Yoğunluk (g/ cm ³)	Çözünürlük (g/100ml su)	E. N. (°C)	K. N. (°C)
IPA	C_3H_8O	60,09	0,785	-	- 88,5	82,4
CCl_4	CCl_4	153,82	1,594	0,0805 (az)	- 22,9	76,5-76,7



Şekil 3. 1. Ağır ortam ayırma yönteminin akım şeması

Her bir deneyde elde edilen yüzen ve çöken fraksiyonlar için kül tayini ile parçacık boyut analizi yapılmıştır. Yüzen fraksiyonların kuru miktarı ve kül içeriği kullanılarak ağır ortam ayırma performansı, kalite (Eşitlik 3.1) ve geri kazanım (Eşitlik 3.2) cinsinden hesaplanmıştır.

$$KALİTE = 1 - \frac{YüzenFraksiyon\%Kül}{OrjinalKömür\%Kül} \quad (3.1)$$

$$GERİ KAZANIM = \frac{kkYüzenMiktar, g}{kkBeslemeMiktarı, g} \quad (3.2)$$

3.4. Küresel Yağ Aglomerasyonu

Aglomerasyon deneyleri paslanmaz çelikten yapılmış 1 L hacimli ve içerisinde dört adet engel bulunan silindirik karıştırma kabında gerçekleştirilmiştir. Karıştırma için bir şafta monte edilebilen üç kanatlı pervane kullanılmıştır. Şaft, maksimum hızı 7000 rpm'e kadar çıkabilen bir motora bağlanmıştır. Yüksek hızlı karıştırıcının kalibrasyon grafiği Ek 2'de verilmiştir.

Zonguldak bitümlü kömürünün küresel yağ aglomerasyonu yöntemi ile zenginleştirilmesinde bağlayıcı yağ olarak gazyağı seçilmiştir. Gazyağı, toplam kömür miktarının ağırlıkça %5-30' u olacak şekilde kullanılmıştır. Deney koşulları, daha önce yapılmış çalışmalardan (Güleç 1999, Ünal ve Aktaş 2001, Aktaş 2002) yararlanılarak belirlenmiştir.

Karıştırma kabına belirlenen miktarda (270 mL) damıtık su konularak karıştırıcı düşük hızda (yaklaşık 1200 rpm) çalıştırılmaya başlanmıştır. Karıştırma devam ederken 30g kömür örneği (-53 µm) ilave edilmiştir. Kömür-su karışımı 1 dk. süreyle 3000 rpm'de karıştırılarak kömür parçacıklarının tamamen ıslanması ve dağıtılması sağlanmıştır. 1 dk. sonunda belirlenen oranlarda (% 5-30) gazyağı ilave edilerek 3000 rpm'de karıştırma işlemine devam edilmiştir. Hidrofobik kömür parçacıklarının aglomere olması için 3 dk. karıştırma süresinin yeterli olduğu gözlenmiştir. Bu sürenin bitiminde karıştırıcı durdurularak karıştırma kabı sistemden ayrılmış, kap içerisindeki engeller damıtık su ile yıkanarak çıkarılmıştır.

Aglomere olmuş hidrofobik tanecikler ve aglomere olmamış hidrofilik mineral parçacıkları içeren kömür-su karışımı, 150 µm gözenek açıklı elekten süzülmüştür. Bu işlem ile aglomere olmamış ve/veya boyutu 150 µm'den küçük olan aglomeratların sıvı

(atık) fraksiyon ile birlikte elek altına geçmesi sağlanmıştır. Elek üzerinde kalan aglomeratların yüzeyine tutunmuş minerallerin de uzaklaştırılması gereklidir. Bu amaçla aglomeratlar elek üzerinde yaklaşık 500 ml damıtık su ile yıkanmıştır.

Atık fraksiyondaki su buharlaştırılarak tamamen uzaklaştırılmıştır. Yıkanmış aglomeratlar ve atık önce açık havada daha sonra etüvde kurutularak toplam miktarları belirlenmiştir.

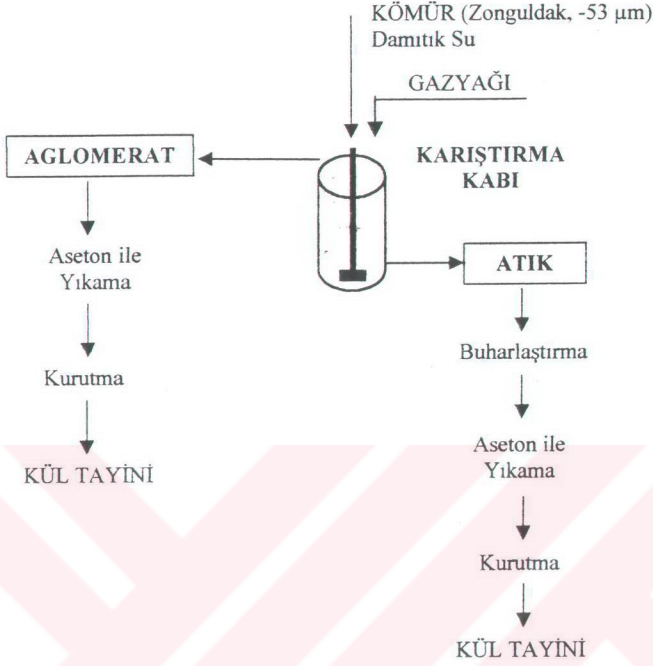
Aglomerat ve atık parçacıkların üzerinde kalan gazyağını uzaklaştırmak için aseton ile yıkama yapılmıştır. Yıkama işleminin ardından kurutma yapılmış ve kuru-yağsız miktarlar belirlenmiştir.

Kurutulmuş ve yağı uzaklaştırılmış temiz ürün ile atık fraksiyonlar için ASTM standartlarına göre kül tayini ve parçacık boyut analizleri yapılmıştır. Aglomerasyon işleminin akım şeması şekil 3.2’de verilmiştir.

Küresel yağ aglomerasyonu işleminin etkinliğini gösteren kalite ve geri kazanım değerleri aşağıda verilen eşitlik (3.3) ve eşitlik (3.4) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$KALİTE=1-\frac{AglomeratKül(\%)}{OrjinalBeslemeKül(\%)} \quad (3.3)$$

$$GERİ KAZANIM=\frac{kkyAglomeratMiktari(g)}{kkBeslemeMiktari(g)} \quad (3.4)$$



Şekil 3.2. Aglomerasyon yönteminin akım şeması

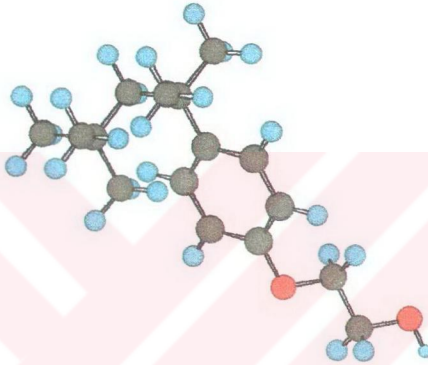
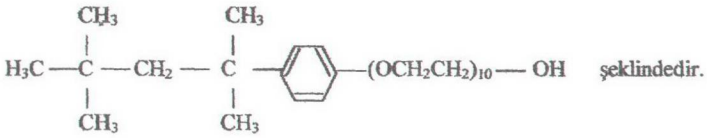
3.5. Köpük (Froth) Flotasyonu

3.5.1. Kullanılan yüzey aktif maddeler

Deneylerde üç iyonik olmayan ve bir iyonik (anyonik) yüzey aktif madde kullanılmıştır.

Polietilen glikol ter-oktil fenil eter (Triton X-100): Ticari adı Triton X-100 (Merck), IUPAC adı polietilen glikol ter-oktil fenil eter olan uzun zincirli, iyonik olmayan bir yüzey aktif maddesidir. Triton X-100 aromatik bir baş kısmından ve 10 defa tekrar eden alifatik $(OCH_2CH_2)_{10}$ bir kuyruk kısmından oluşmaktadır.

Triton X-100' ün moleküler modeli şekil 3.3'de verilmiştir. Molekülün açık formülü,

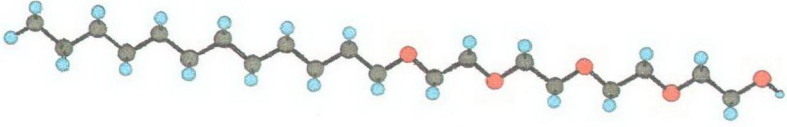


Şekil 3.3. Triton X-100' ün moleküler modeli

Polioksietilen dodesil eter (Brij-35): Ticari adı Brij-35 (Merck), IUPAC adı polioksietilen dodesil eter (polioksietilen-23-lauril eter) olan uzun zincirli, iyonik olmayan bir yüzey aktif maddesidir. Brij-35, alifatik bir baş kısımdan ve 23 defa tekrar eden alifatik $(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_{23}$ bir kuyruk kısmından oluşmaktadır.

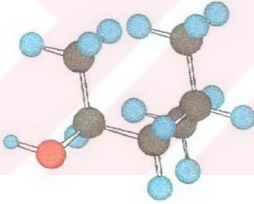
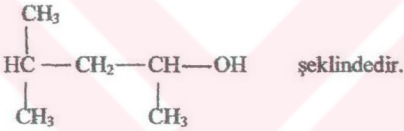
Brij-35'in moleküler modeli şekil 3.4'de verilmiştir. Molekülün açık formülü,





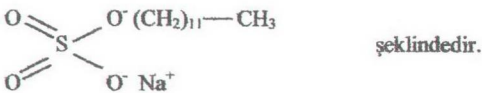
Şekil 3.4. Brij-35' in moleküler modeli

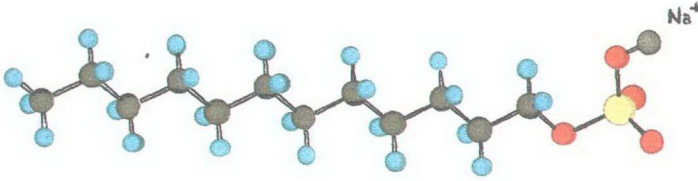
Metil izobütil karbinol (MIBC): IUPAC adı 4-metil-2-pentanol olan alifatik yapılı, iyonik olmayan bir yüzey aktif maddesidir. MIBC'nin moleküler modeli şekil 3.5'de verilmiştir. Molekülün açık formülü,



Şekil 3.5. MIBC' nin moleküler modeli

Sodyum dodesil sülfat (SDS): Köpük flotasyonunda sıkça kullanılan anyonik yüzey aktif maddelerdendir. Alifatik yapıya sahip olan SDS'nin moleküler modeli şekil 3.6'da verilmiştir. Molekülün açık formülü,





Şekil 3.6. SDS' nin moleküler modeli

Köpük flotasyonu deneylerinde kullanılan yüzey aktif maddelerin bazı fiziksel özellikleri çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Köpük flotasyonunda kullanılan yüzey aktif maddelerin bazı fiziksel özellikleri

	Kapalı Formül	M_A (g/mol)	Çözünürlük (g/100ml su)	E. N. (°C)	K. N. (°C)
Triton X-100	$C_{34}H_{62}O_{11}$	646,87	Yüksek	-4	120
Brij-35	$C_{58}H_{118}O_{24}$	1198	10	40-42	-
MIBC	$C_6H_{14}O$	102,18	1,5	-90	132
SDS	$C_{12}H_{25}NaO_4S$	288,38	<0,1	204-207	-

3.5.2. Köpük flotasyonu yöntemi

Toz haline getirilmiş (-53 μ m) Zonguldak bitümlü kömürünün mineral madde içeriğini düşürmek amacıyla köpük flotasyonu tekniği uygulanmıştır. Köpük flotasyonu işlemleri, 1 L hacimli Denver tipi flotasyon hücresinde gerçekleştirilmiştir. Sistem, içiçe geçmiş hareketsiz bir boru ve hareketli şafttan oluşmaktadır. Karıştırıcı hücre içerisinde etkin bir karışma sağlayarak parçacıkları süspansiyon halinde tutmaktadır. Ayrıca havanın homojen olarak dağılmasını ve küçük kabarcıkların oluşmasını sağlamaktadır.

Köpük flotasyonu deneyleri için yüzey aktif madde olarak, iyonik olmayan Triton X-100, Brij-35, MIBC ve iyonik (anyonik) olan SDS seçilmiştir. Yüzey aktif maddelerin

sudaki çözünürlük değerleri (Çizelge 3.2) dikkate alınarak Triton X-100, Brij-35 ve MIBC'nin %1'lik çözeltileri, SDS'nin ise %0,07'lik çözeltisi kullanılmıştır. Bu yüzey aktif maddeler saf halde ve/veya MIBC ile belirli oranlarda karışımları hazırlanarak kullanılmıştır.

Flotasyon deney koşulları ve sistem özellikleri çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Flotasyon deney koşulları

Kömür besleme miktarı, g	30
Besleme kuru külsüz miktarı, g	22,556
Hücredeki su, g	570
Toplam su, g	570,26
Süspansiyon derişimi, (% ağı.)	5
Hava akış hızı, L/dk.	2,1
Islatma süresi, dk.	1
Adsorpsiyon süresi, dk.	2
Karıştırıcı hızı, rpm	1250
Hücre hacmi, L	1
Karıştırıcı çapı, cm	7,2
Şaft çapı, cm	4,4

Flotasyon hücresinde 30 g kömür örneği, 570 g damıtık su ile karıştırılarak süspansiyon oluşturulmuştur ve kömür yüzeyinin yeterince ıslanabilmesi için 1 dakika karıştırılmıştır. 1 dakikalık ıslatma süresi sonunda, kararlı bir köpük elde edilebilmesi için belirlenen miktarda yüzey aktif madde ilave edilmiştir. Yüzey aktif maddenin kömür parçacıkları üzerine adsorpsiyonunu sağlamak için 2 dakikalık adsorpsiyon (olgunlaşma) süresi boyunca karıştırmaya devam edilmiştir. Bu işlem sonunda kronometre çalıştırılarak hava, hareketsiz boru ve hareketli şaft arasından geçirilerek karıştırıcının alt ucundan süspansiyona verilmiştir. Hava akış hızı ROTA L 10/400-9209 rotametre ile ayarlanmıştır. Rotametre kalibrasyon grafiği Ek 3'de verilmiştir.

Hava akışı ile birlikte köpük oluşumu başlamıştır. Genellikle mineralsiz olan veya çok az mineral içeren karbonca zengin (hidrofobik) kömür tanecikleri, köpük yüzeyine

tutunarak ayrılmıştır. Sıvı fazda yükselen kabarcıklar ile birlikte bir miktar su ve kömür parçacıkları da sürüklenmiştir. Bu şekilde elde edilen, kömürce zengin parçacıklar ile yüklü köpükler konsantreler şeklinde toplama kaplarına alınmıştır. Deneyin başlangıcından itibaren, her bir konsantrenin alındığı süre kaydedilmiştir ve sulu tartımları alınmıştır. Daha sonra etüvde (100 °C) kurutularak kuru miktarları belirlenmiştir.

Flotasyon sırasında köpük yapısındaki değişimleri incelemek amacıyla deneylerin başlangıcından itibaren, belirli sürelerde fotoğraflar çekilmiştir. Flotasyon hücresinin taşma seviyesinde, üstten çekilen bu fotoğraflar görüntü analizi tekniği ile incelenmiştir.

Yüzey aktif maddelerin kömür yüzeyine adsorpsiyonu, köpük yapısını ve flotasyon performansını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Flotasyon hücresindeki kömür-sıvı karışımından belirli sürelerde ve deney sonunda, cam şırınga yardımı ile örnekler alınmıştır. Karışım, şırınga pistonuna basınç uygulanarak filtre tutucu içerisine yerleştirilen mavi bantlı süzgeç kağıdından hızlı bir şekilde süzölmüştür. Elde edilen sıvı örnekler, kullanılan yüzey aktif maddenin kimyasal yapısına göre analizlenmiştir. Triton X-100 ve SDS için UV spektrofotometresi, MIBC için gaz kromatografisi analiz yöntemleri uygulanmıştır. Böylece sıvıda adsorplanmadan kalan yüzey aktif madde miktarları belirlenmiştir. Başlangıç derişimleri bilindiğinden, flotasyon sırasında kömür parçacıklarına adsorplanan yüzey aktif madde miktarları hesaplanmıştır.

Flotasyon tamamlandıktan sonra hücrede kalan karışım (atık), hidrofilik olan mineral maddelerce zengin kömür parçacıklarını ve saf mineral parçacıklarını içermektedir. Her bir deney sonunda, bu karışımındaki su tamamen buharlaştırılmıştır. Etüvde yapılan kurutma işleminin ardından kuru atık miktarı saptanmıştır.

Kurutulan her bir konsantre ve atık için kül tayini sıcaklık programlı kül fırınında (Naberthem Program Controller S27) yapılmıştır. Laser Parçacık Boyut Analizörü (Malvern Hydro 2000 MU) ile parçacık boyut dağılımları belirlenmiştir. Örnek olarak TM2 deneyinde elde edilen konsantre ve atık fraksiyonların parçacık boyut parametreleri Ek 4’de verilmiştir.

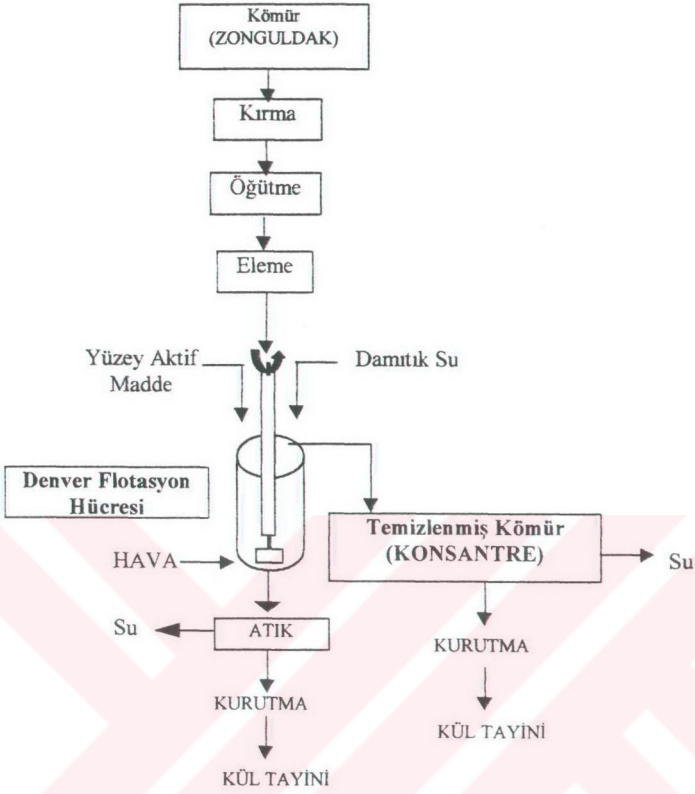
Köpük flotasyonu işleminin akım şeması şekil 3.7'de; Denver tipi flotasyon hücresinin boyutları ve şematik gösterimi şekil 3.8'de, deney sisteminin fotoğrafı Ek 16'da verilmiştir.

Herbir deney için alınan sulu ve kuru konsantre tartımları, konsantrelerin kül içerikleri, besleme kömürünün kuru külsüz miktarı ve kül içeriği kullanılarak her deneye ait sonuç çizelgeleri oluşturulmuştur. Flotasyon performansını gösteren fraksiyonel geri kazanım ve kalite değerleri eşitlik 3.5 (Gaudin 1932) ile eşitlik 3.6 (Woodburn 1983) kullanılarak hesaplanmıştır.

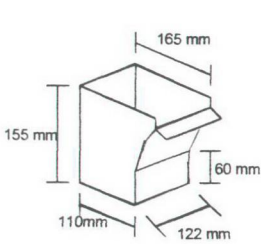
$$\text{GERİ KAZANIM} = \frac{X_k}{X_b} \quad (3.5)$$

$$\text{KALİTE} = 1 - \frac{x_k}{x_b} \quad (3.6)$$

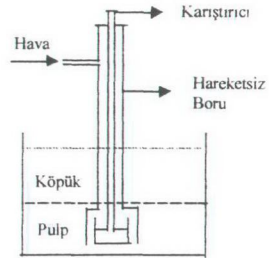
Yukarıda verilen eşitliklerde X_k ve X_b sırasıyla, konsantre ve orijinal besleme kömürün kuru-külsüz miktarı (g); x_k ile x_b ise konsantre ve orijinal besleme kömürün kül içeriklerini (%) simgelemektedir.



Şekil 3.7. Köpük flotasyonu işleminin akım şeması



(a) Denver flotasyon hücresi boyutları



(b) Köpük flotasyonu sistemi

Şekil 3.8. Denver flotasyon hücresi boyutları ve şematik gösterimi

3.5.3. UV analiz yöntemi

Ultra-viyole (UV) spektrumlarındaki pik yüksekliği elektronik geçiş yapan moleküllerin sayısına bağlıdır. Bu nedenle, bir karışımı oluşturan herhangi bir bileşiğin derişimi, karışımın ve saf bileşiğin pik yüksekliklerinin ölçülmesiyle bulunabilmektedir (Erdik *et al.* 2000).

Köpük flotasyonu deneylerinde süzülerek hazırlanmış örnekler Shimadzu UV-1601 UV-VIS spektrofotometresinde analizlenmiştir. Kömür yüzeyine adsorplanmadan, sıvı fazda kalan Triton X-100 ve SDS miktarları belirlenmiştir.

Çift ışın demetli olan spektrofotometrede örnek çözeltisi ve saf çözücü (damıtık su) iki ayrı hücreye konarak cihazdaki bölmelere yerleştirilmiştir. Analiz sırasında ışın, örnek çözeltisinden ve saf çözücünden geçen iki demete ayrılmaktadır. Böylece toplam absorbans (geçirgenlik) değerinden çözücünün absorbansı çıkarılarak, örneğe ait absorbans değeri elektronik olarak kaydedilmektedir.

Farklı derişimlerdeki Triton X-100 ve SDS çözeltileri için elde edilen spektrumlardan, absorbsiyonun gözleendiği dalga boyları sırasıyla 225,8 ve 224,2 nm olarak belirlenmiştir.

Tek bir dalga boyunda ölçülen absorbans değerlerinden örnek çözelti derişiminin bulunabilmesi için öncelikle kalibrasyon yapılmıştır. Bunun için belirli derişimlerde hazırlanan standart çözeltiler, her bir yüzey aktif madde için belirlenen dalga boyunda analizlenmiştir. Ölçülen absorbans değerleri çözelti derişimine karşı grafiğe geçirilerek kalibrasyon doğrusu elde edilmiştir. Daha sonra derişimi bilinmeyen örnek çözeltisinin absorbansı ölçülmüş ve kalibrasyon doğrusu denkleminde yararlanarak, çözeltideki yüzey aktif madde derişimi hesaplanmıştır.

Her bir analizden önce standart çözeltiler taze olarak hazırlanmış ve kalibrasyon işlemi tekrarlanmıştır.

3.5.4. GC analiz yöntemi

Gaz kromatografisinde dedektör tarafından algılanan ve elektrik sinyaline dönüştürülerek kaydedilen pikin büyüklüğü daima dedektörden geçen madde miktarıyla orantılıdır. Bu nedenle bir karışımı oluşturan bileşenlerin miktarı, GC ile çok hassas ve seri bir şekilde bulunabilmektedir (Erdik *et al.* 2000).

Köpük flotasyonunda, kömür yüzeyine adsorplanmadan sıvı fazda kalan MIBC miktarları GC analizleri ile belirlenmiştir. Bu amaçla ThermoQuest Trace GC 2000 cihazı kullanılmıştır. GC sistemi temel olarak enjeksiyon bloğu, kolon ve dedektör olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Analizlerde; durgun faz polietilenglikol (PEG), iç çapı 0,25 mm olan 30 m uzunluğunda kapiler kolon (Zebron ZB-Wax) ve alev yonlaşma dedektörü (FID) kullanılmıştır.

Tüm analizlerde 1 µL hacminde örnek çözeltisi, bir enjektör yardımıyla, enjeksiyon kısmından kolonun ön kısmına verilmiştir. Bu bölüm ısıtılmış (230°C) olduğundan örneğin tamamı burada buharlaşarak taşıyıcı gaz (He) ile birlikte kolona girmiştir. Kolon sıcaklığı 100°C'de sabit tutulmuştur. Kolonda her bileşik, durgun fazdan taşıyıcı faza ve taşıyıcı fazdan durgun faza farklı hızlarda geçerek birbirlerinden ayrılır ve farklı zamanlarda kolondan çıkarlar. Kolonun çıkışına yerleştirilmiş dedektör ile tespit edilerek miktarlarıyla orantılı olarak kaydedilirler. Cihaz ile birlikte temin edilen yazılım programı (ChromQuest30) ile kromatogramdaki pik alanları ve karışımdaki bileşiklerin oranları hesaplanabilmektedir.

Dedektörlerin her bileşiğe karşı duyarlılığı aynı değildir. Bu nedenle ölçülen pik büyüklüklerinden bileşik miktarına geçebilmek için önce kalibrasyon yapılmıştır. Belirli derişimlerdeki MIBC çözeltileri için elde edilen pik alanları derişime karşı grafiğe geçirilerek kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Kalibrasyon grafiği kullanılarak, örnek çözeltisine ait pik alanından çözeltideki MIBC derişimi bulunmuştur.

3.6. Görüntü Analizi Tekniği

Köpük flotasyonunda, köpük yapısındaki değişimleri incelemek ve köpüğü oluşturan kabarcıkların boyutlarını belirlemek amacıyla deneylerde çekilen fotoğraflar görüntü analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Fotoğraflardan seçilen görüntüler 24 bit/pixel BitMap dosyaları olarak okunmuştur. Çalışmada incelenen köpük görüntüleri için bir örnek Şekil 3.9’da verilmiştir. Herbir görüntü $m \times n$ boyutlu bir matris şeklinde tanımlanmıştır.



Şekil 3.9. Köpük flotasyonunda elde edilen bir köpük görüntüsü

Görüntü analizi yöntemi kullanılarak sayısal görüntüler insanın görsel algıları ile uyuşan bir biçimde işlenebilmektedir. Herhangi bir görüntüdeki dairesel yapıların seçilmesini temel alan yöntem; sınır tayini, gürültü filtreleme, nesne seçimi, boyut ve dağılım hesabı olmak üzere dört aşamalı olarak uygulanmıştır.

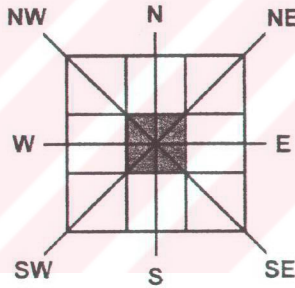
Köpük flotasyonu sırasında kaydedilen görüntüler, tekdüze (uniform) dağılıma yakın küçük küresel kabarcıklı köpükler ve varyansın arttığı daha büyük kabarcıklı (polihedral) köpükler olmak üzere iki farklı yapıdadır. Görüntü analizinde köpüğü oluşturan kabarcıkların küresel olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda belirlenecek tek parametre kabarcık çapı olmaktadır.

3. 6. 1. Sınır tayini ve gürültü filtreleme

Görüntü analizinde öncelikle belirlenmesi gereken, görüntü içindeki kabarcıkları ayıran sınırlardır. Bu işlem sırasında kriter, sınırların sürekli ve ince olmasıdır. Sınır tanımlamak için uygulanabilecek çeşitli filtreleme yöntemleri vardır. Bu çalışmada yerel ışık genliği minimumunu bulmaya dayalı bir filtreleme yöntemi [Banford 1996] esas alınmış ve buna bazı iyileştirmeler getirilmiştir.

Görüntüdeki her bir piksele karşılık gelen genlik değeri 0 - 255 arasında kabul edilmiş ve her genlik kendinden önce ve sonra gelen genliklerle karşılaştırılmıştır. Piksel grupları Eşitlik (3.5)-(3.8) ile tanımlanmıştır.

Şekil 3.10'da görülebileceği gibi, karşılaştırma eksenleri yatay, dikey ve 45 derecelik çapraz yönlerde olmak üzere dört tanedir.



Şekil 3.10. Karşılaştırma eksenleri

$$NS = [a_{i-r,j}, a_{i-r+1,j}, \dots, a_{i,j}, a_{i+1,j}, \dots, a_{i+r,j}] \quad (3.5)$$

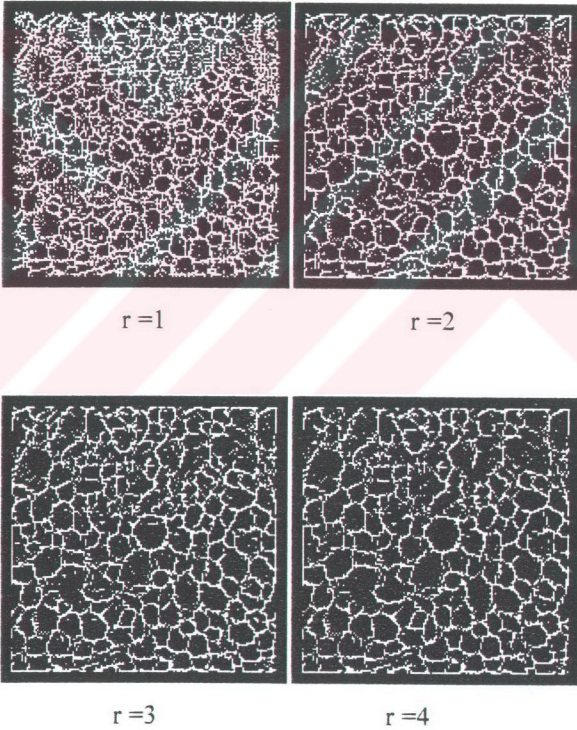
$$WE = [a_{i,j-r}, a_{i,j-r+1}, \dots, a_{i,j}, a_{i,j+1}, \dots, a_{i,j+r}] \quad (3.6)$$

$$NWSE = [a_{i-r,j-r}, a_{i-r+1,j-r+1}, \dots, a_{i,j}, a_{i+1,j+1}, \dots, a_{i+r,j+r}] \quad (3.7)$$

$$NESW = [a_{i-r,j+r}, a_{i-r+1,j+r-1}, \dots, a_{i,j}, a_{i+1,j-1}, \dots, a_{i+r,j-r}] \quad (3.8)$$

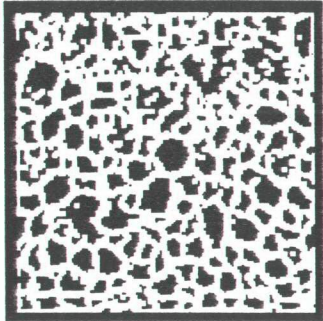
Dört eksen üzerinde, r arama yarıçapında yapılan bu karşılaştırma sonucu genlik minimum değeri veriyorsa, piksel bir sınır noktası olarak atanmıştır. Sınır noktaları 255, diğer noktalar 0 genlik değerleri atanarak ifade edilmiştir.

Şekil 3.9’da verilen köpük görüntüsü, 1-4 piksel arasında değişen arama yarıçapları (r) kullanılarak analizlenmiştir. Elde edilen görüntüler Şekil 3.11’de verilmiştir. Bu görüntülerdeki beyaz kısımlar sınır noktalarını göstermektedir. Küçük arama yarıçaplarında görüntüde gürültünün arttığı gözlenmiştir. Arama yarıçapının çok büyük değerlerinde ise sınırların sürekliliği hızla azalmıştır. Denemeler sonucu işlem sırasında kullanılan r arama yarıçapının 4 piksel olarak kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 3.11. Farklı arama yarıçapları ile belirlenen sınırlar

Sürekliliğin artırılması amacıyla bir sınır piksele komşu olan diğer 8 piksel de sınır olarak kabul edilmiştir. Bu işlemin ardından elde edilen son görüntü Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Yerel minimum yöntemiyle belirlenmiş sınırlar

3. 6. 2. Nesne seçimi

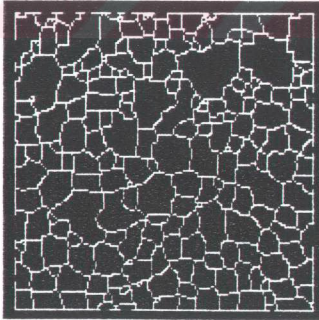
Görüntü analizinin ikinci aşamasında, yerel minimum yöntemiyle saptanan sınırların inceltilmesi gerekmektedir. İki adımda gerçekleştirilen bu iteratif işlemde esas, sürekliliğin kesilmemesi ve sınır oluşturmayan çizgilerin silinmesidir.

8	1	2
7	a_{ij}	3
6	5	4

Şekil 3.13. Sınır noktasına komşu pikseller

1. Adım: (i) $2 \leq N \leq 6$
(ii) $S \leq 2$
(iii) 1, 3, 5 numaralı piksellerden en az biri sınır oluşturmayan bir nokta
(iv) 3, 5, 7 numaralı piksellerden en az biri sınır oluşturmayan bir nokta
2. Adım: (i) $2 \leq N \leq 6$
(ii) $S \leq 2$
(iii) 1, 3, 7 numaralı piksellerden en az biri sınır oluşturmayan bir nokta
(iv) 1, 5, 7 numaralı piksellerden en az biri sınır oluşturmayan bir nokta

Bir görüntüdeki her bir sınır noktası 8 komşu piksele sahiptir. Bunlar Şekil 3.13'de gösterildiği gibi, 1'den 8'e kadar numaralandırılmıştır. Sınır noktalarının sayısı N , sınır oluşturmayan noktalar ise S ile tanımlanmıştır. Görüntüde, birinci adımdaki koşulları sağlayan tüm sınır noktaları işaretlenmiştir. Tüm görüntü incelendikten sonra bu noktalar çıkarılmıştır. Benzer şekilde ikinci adımdaki koşullar incelenmiştir. Bu iki işlem, koşulları sağlayan ve çıkarılması gereken piksel bulunmayana kadar iteratif olarak tekrarlanmıştır. Böylece sürekli bir sınır oluşturmayan çizgiler silinmiş, sınırlar inceltilmiş ve sınır iskeleti oluşturulmuştur. Elde edilen son görüntü Şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.14. İnceltilmiş sınırların oluşturduğu görüntü

3.6.3. Kabarcık boyutunun hesaplanması

Sınır iskeletinin çıkarılmasından sonra, belirlenen alanların içindeki piksel sayıları bulunmuştur. Banford (1996), sınırları belirlenen alanları birer kabarcık olarak kabul etmiştir. Kabarcık çapının bulunabilmesi için görünür alanı çevreleyen en küçük çaplı dairenin alanının kabarcığın izdüşüm alanına eşit olduğu varsayılmıştır. Dolayısıyla sınırı oluşturan en uzak iki nokta arasındaki mesafe köpüğün çapı olarak tanımlanmıştır. Bu kabullenmenin, görüntüden hesaplanan alanın kabarcığın tüm izdüşüm alanı olarak alınmasıyla yapılan çap hesabından daha uygun sonuç vereceği düşünülmüştür.

Köpük flotasyonu deneylerinde elde edilen görüntülerde, aydınlatma ve yüzey homojenliğinin değişmesinden kaynaklanan bazı sapmalar olmuştur. ‘Gürültü’ olarak ifade edilebilecek bu sapmalar nedeniyle bazı görüntüler için hesaplanan ortalama çap değerleri beklenenden daha düşük bulunmuştur.

Bu sorunun giderilebilmesi için bir eşik (başlangıç/ threshold) değeri atanarak analizde hatalı sonuç verebilecek kabarcıkların ihmal edilmesi sağlanmıştır. Tüm kabarcıkların çapı hesaplandıktan sonra çapı eşitlik (3.9) ile hesaplanan varyans değerinden küçük olan kabarcıklar ihmal edilmiştir. eşitlik (3.10) kullanılarak ortalama kabarcık çapı hesaplanmıştır.

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \left[D_i - \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N D_j \right) \right]^2 \quad (3.9)$$

$$\bar{D} = \left[\sum_{i=1}^N \begin{cases} D_i, D_i > \sigma \\ 0, D_i \leq \sigma \end{cases} \right] / \left[\sum_{i=1}^N \begin{cases} 1, D_i > \sigma \\ 0, D_i \leq \sigma \end{cases} \right] \quad (3.10)$$

Açıklanan görüntü analizi tekniği, C dilinde kodlanarak kullanıcı etkileşimli bir program (RADIS 026) haline getirilmiştir (Citir *et al.* 2003).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Parçacık Karakterizasyonu

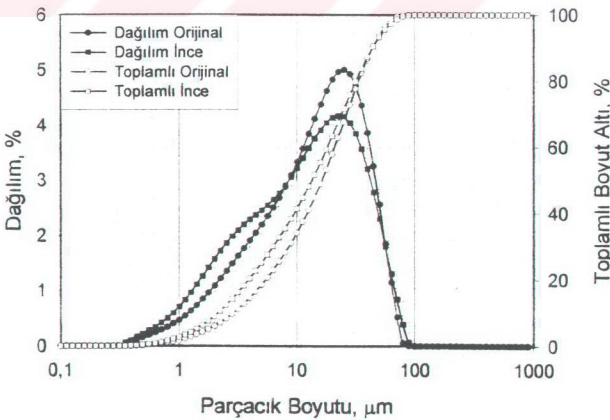
Çalışmada kullanılan Zonguldak bitümlü kömürünün kül ve nem içeriği, parçacık boyut dağılımı, BET yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımı belirlenmiştir.

4.1.1. Kül ve nem içeriği

ASTM standartlarına göre yapılan kül ve nem tayini sonucunda, deneylerde kullanılan Zonguldak bitümlü kömürünün kül içeriği %23,94 ve nem içeriği %0,88 olarak bulunmuştur.

4.1.2. Parçacık boyut dağılımları ve boyut parametreleri

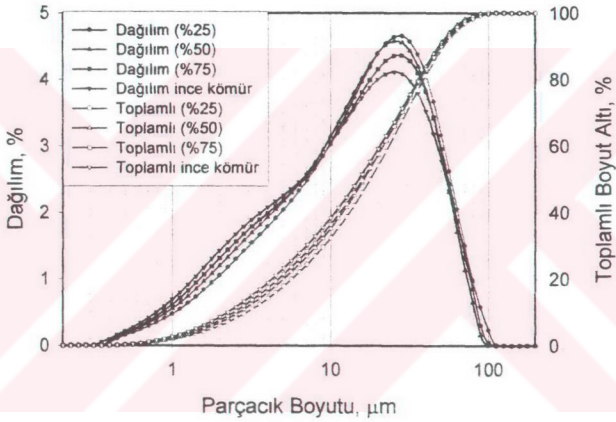
Deneylerde kullanılan 53 μm elek boyutu altındaki orijinal Zonguldak bitümlü kömürü ve ikinci öğütme sonrası elde edilen ince kömür örneklerinin parçacık boyut dağılımları şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Orijinal ve ince kömür örneklerinin parçacık boyut dağılımı

Gerek dağılım, gerekse toplamlı boyut eğrileri karşılaştırıldığında, ince kömür örneğinin orijinal kömüre göre daha küçük parçacıklar içerdiği görülmektedir.

Köpük flotasyonunda, kömür parçacık boyutunun etkilerini incelemek amacıyla, orijinal kömür örneğine çeşitli oranlarda (% 25, 50, 75) ince kömür karıştırılarak farklı parçacık boyut dağılımlarına sahip kömür örnekleri hazırlanmıştır. Köpük flotasyonu deneylerinde kullanılan tüm kömür örneklerinin parçacık boyut dağılımları şekil 4.2'de, parçacık boyut parametreleri ise çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kömür örneklerinin parçacık boyut dağılımları

Şekil 4.2 ve çizelge 4.1'den kömür karışımı içerisindeki ince kömür oranının artışı ile karışımın daha ince parçacıklardan oluştuğu açıkça görülmektedir.

Çizelge 4.1. Kömür örneklerinin parçacık boyut parametreleri

Kömür Örneği	d(0.1)	d(0.2)	d(0.5)	d(0.8)	d(0.9)	Spesifik yüzey alanı (m ² /g)
Orijinal	2,918	5,456	16,323	33,507	43,901	0,596
İnce	2,156	3,904	13,420	31,778	43,875	0,758
Orijinal (%75) İnce (%25)	2,400	4,411	13,992	29,780	38,767	0,703
Orijinal (%50) İnce (%50)	2,633	5,035	16,364	35,863	48,238	0,634
Orijinal (%25) İnce (%75)	2,445	4,660	16,060	36,694	49,867	0,665

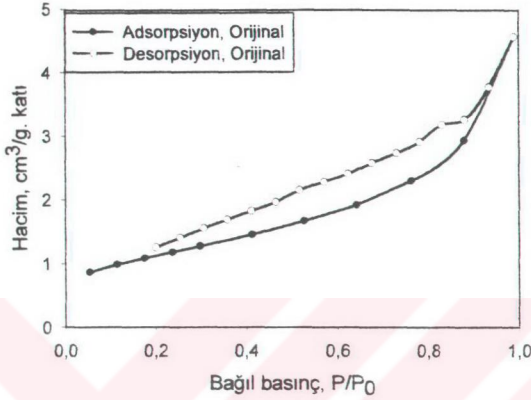
Not: d(0.1), d(0.2), d(0.5), d(0.8), d(0.9): % 10, % 20, % 50, % 80, % 90 noktalarındaki parçacık çapları

4.1.3. Yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımı

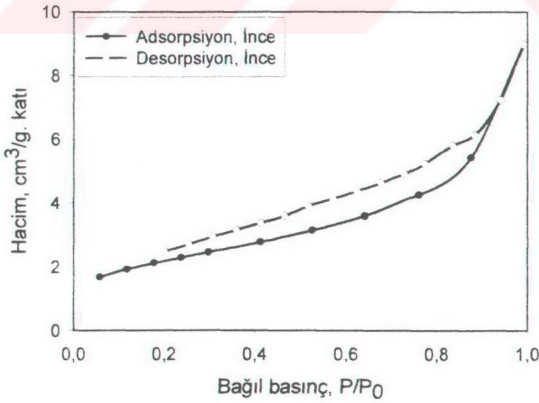
Kömür örneklerinin yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımları, Ek 1'de verilen azot adsorpsiyon/desorpsiyon izoterm verileri kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 4.3 ve 4.4'de sırasıyla orijinal ve ince kömür örneklerinin adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi verilmektedir. Her iki kömür örneğinin adsorpsiyon-desorpsiyon izoterminden görülebileceği gibi, desorpsiyon izotermi adsorpsiyon izotermi ile çakışmamakta ve "histerisis" vermektedir.

Histerisis oluşumu gözenek geometrisinden kaynaklanır ve daha çok mezo (geçiş) gözenekli katılarda gözlenir. Mezo gözenekli katılara adsorplanan gazın bir kısmı kapiler yoğunlaşma sonucu gözeneklerde kalır. Bu nedenle belli bir (P/P₀) değerinde desorplanan gaz hacmi, adsorplanan gaz hacminden daha yüksektir.

Maksimum adsorplanan gaz miktarları gözönünde bulundurulduğunda ince kömür örneğinin orijinal kömür örneğine göre daha fazla gaz adsorpladığı görülmektedir.



Şekil 4.3. Orijinal kömürün azot adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi

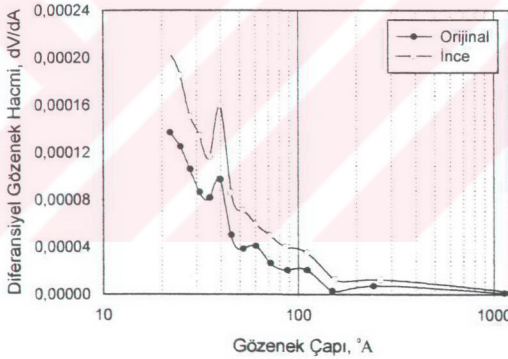


Şekil 4.4. İnce kömürün azot adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi

Orijinal ve ince kömür örneklerinin BET yüzey alanları N_2 adsorpsiyon/desorpsiyon verilerinden, çok nokta yöntemi ile; gözenek boyut dağılımları ise N_2 desorpsiyon verilerinden yararlanarak BJH yöntemine göre belirlenmiştir. Kömür örneklerinin yüzey alanı ve bazı gözenek boyut parametreleri çizelge 4.2'de, gözenek boyut dağılımları şekil 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kömür örneklerinin yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımı parametreleri

Kömür Örneği	BET Yüzey Alanı (m^2/g)	Kümülatif Desorpsiyon Gözenek Hacmi (cc/g)	Desorpsiyon Gözenek Çapı (Å)
Orijinal	6,878	$1,317 \times 10^{-2}$	21,73
İnce	7,627	$1,287 \times 10^{-2}$	21,93



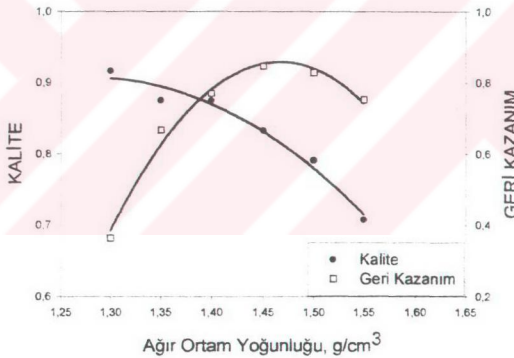
Şekil 4.5. Orijinal ve ince kömür örneklerinin gözenek boyut dağılımları

Orijinal ve ince kömür örneklerinin gözenek boyut dağılımı incelendiğinde, her iki örneğin de mezo gözenek içeriğinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Gözeneklerin büyük çoğunluğu yaklaşık 22-52 Å aralığında gözenek çapına sahiptir. İnce kömür örneğinin diferansiyel gözenek hacmi orijinal kömür örneğine göre daha yüksektir. Buradan, her iki örneğin benzer gözenek yapısına sahip olmasına rağmen

gözenek hacimlerinin farklı olduğu sonucu çıkarılabilir. İnce öğütme sonrasında kömürün gözenek yapısında belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir. Ancak parçacık boyutunun küçülmesi dış yüzey alanında artışa neden olmuştur. Kapalı gözeneklerin ince öğütme ile açılması nedeniyle diferansiyel gözenek hacmi artmıştır. Buna bağlı olarak, orijinal kömür örneğinin BET yüzey alanı $6,878 \text{ m}^2/\text{g}$ iken ince kömür örneğinin BET yüzey alanı $7,627 \text{ m}^2/\text{g}$ değerine yükselmiştir.

4.2. Ağır Ortam Ayırması

Ağır ortam ayırması tekniğinde ağır ortam sıvısı olarak, yoğunluğu $1,30\text{-}1,55 \text{ g/cm}^3$ aralığında değişen izopropil alkol-karbondotetraklorür karışımları kullanılmıştır. Ağır ortam ayırmasında, ağır ortam sıvısının yoğunluğu ile kalite ve geri kazanımın değişimi şekil 4.6'da verilmiştir.

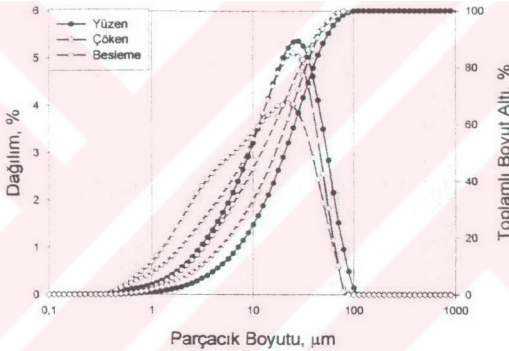


Şekil 4.6. Ağır ortam yoğunluğunun kalite ve geri kazanıma etkisi

Ortam yoğunluğu artırıldığında, yüksek yoğunluğa sahip olan mineralce zengin tanecikler de yüzen fraksiyona geçtiğinden, ürün kalitesi azalmıştır. Yoğunluk artışıyla, geri kazanım artmış ve $1,45 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda %84,58 değerine ulaşmıştır. Ancak $1,50 \text{ g/cm}^3$ 'den yüksek yoğunluklarda, literatürde yer alan diğer çalışmaların (Aktaş *et*

al. 1998) aksine geri kazanımın azaldığı gözlenmiştir. Beklenmeyen bu sonucun, büyük bir olasılıkla deneysel hatadan kaynaklandığı düşünülmüştür.

Yığın katı yoğunluğunda gerçekleştirilen ağır ortam ayırması ile elde edilen yüzen fraksiyonun kül içeriği kömürün kalıcı kül içeriğine yakın olarak kabul edilebilir (Aktaş 1993). Buna göre; $1,45 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda elde edilen ürünün kalitesi (0,8458) Zonguldak bitümlü kömürü için fiziksel ayırma yöntemlerinde ulaşılacak maksimum kalite değeridir. $1,45 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda gerçekleştirilen ağır ortam ayırması ile ayrılan yüzen ve çöken fraksiyonlar ile orijinal kömürün parçacık boyut dağılımları ekil 4.7' de verilmiştir.



Şekil 4.7. Orijinal besleme ve $1,45 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda elde edilen yüzen ve çöken fraksiyonların parçacık boyut dağılımı

Şekil 4.7'den görüldüğü gibi, mineral maddece zengin olan çöken fraksiyon orijinal kömürden daha ince, karbonca zengin olan yüzen fraksiyon ise daha iri parçacıklardan oluşmaktadır.

4.3. Küresel Yağ Aglomerasyonu

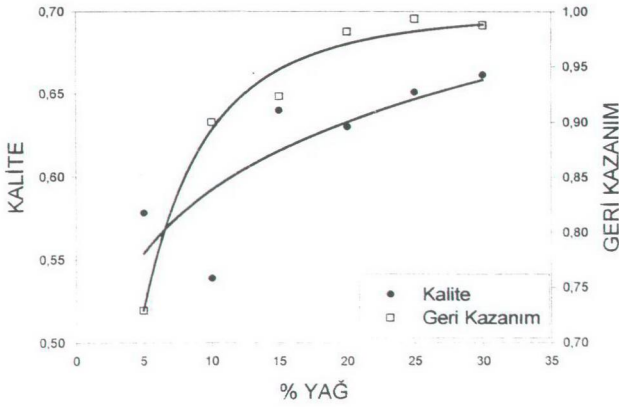
Küresel yağ aglomerasyonu katı parçacıkların yüzey özelliklerindeki farktan yararlanarak gerçekleştirilen bir ayırma yöntemidir. Bu nedenle Zonguldak kömürünün küresel yağ aglomerasyonu ile zenginleştirilmesinde ulaşılabilir kalite ve geri kazanım değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar, köpük flotasyonunda elde edilen kalite ve geri kazanım değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Küresel yağ aglomerasyonu yönteminde kullanılan bağlayıcı yağ (gazyağı) miktarının kalite ve geri kazanıma etkisi şekil 4.8'de verilmiştir. Bağlayıcı yağ, ağırlıkça %5-20 oranında kullanıldığında geri kazanım hızla artmış, %20'den fazla yağ ilavelerinde ise geri kazanım artışı daha az olmuştur. Yüksek yağ derişimlerinde aglomerat oluşumu arttığından, ayırma etkinliği ve ürün kalitesi artmıştır.

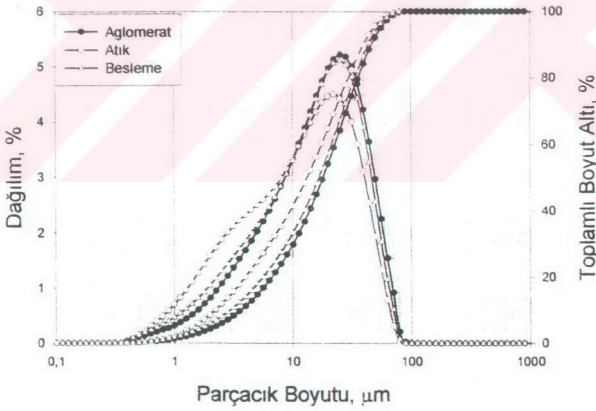
Küresel yağ aglomerasyonu yönteminde bağlayıcı yağ olarak genellikle petrol türevleri kullanılmaktadır. Bu nedenle bağlayıcı yağ derişiminin artması prosesi ekonomik açıdan olumsuz yönde etkilemektedir. Kömür zenginleştirme prosesinin ekonomik olabilmesi için ürün kalitesi %60, geri kazanım ise %80'in üzerinde olması gerekir. Elde edilen ürünlerin kalite ve geri kazanım değerleri dikkate alındığında, %15 oranında bağlayıcı yağ kullanımının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 4.9'da %15(ağ) bağlayıcı yağ ile elde edilen fraksiyonların parçacık boyut dağılımı verilmiştir.

Ağır ortam ayırmasında olduğu gibi mineral maddece zengin olan atık fraksiyon orijinal kömürden daha ince, karbonca zengin olan aglomeratlar ise daha iri parçacıklardan oluşmaktadır.



Şekil 4.8. Bağlayıcı yağ miktarının kalite ve geri kazanıma etkisi



Şekil 4.9. Orijinal besleme ve %15 (ağ) bağlayıcı yağ ile elde edilen aglomerat ve atık fraksiyonların parçacık boyut dağılımı

4.4. Köpük Flotasyonu

Köpük flotasyonu performansı, köpüğün drenaj suyundaki mineral parçacıkları seçici olarak uzaklaştırması ile ilişkilidir. Dolayısıyla köpük kararlılığı kömürün iyileştirilmesinde çok önemlidir. Köpük kararlılığına etki eden en önemli parametreler, kullanılan yüzey aktif madde miktarı ve tipidir (Woodburn *et al.* 1984).

Çalışmada, yüksek mineral madde içerikli Zonguldak bitümlü kömürünün köpük flotasyonu yöntemiyle zenginleştirilmesi sağlanmıştır. Köpük yapısı ile flotasyon performansı arasındaki ilişki ve buna bağlı olarak yüzey aktif madde adsorpsiyonunun etkileri incelenmiştir.

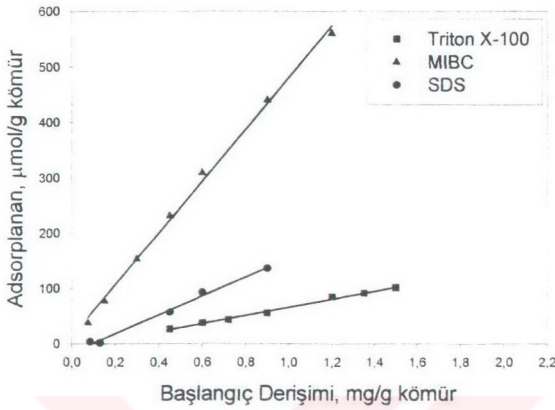
Köpük flotasyonu işleminin performansı, kalite ve geri kazanım değerleri ile ifade edilmiştir. Yüzey aktif madde tipi ve miktarının yanısıra parçacık boyutu ve hava akış hızı gibi parametrelerin köpük flotasyonundaki etkileri araştırılmıştır.

4.4.1. Yüzey aktif madde cinsi ve miktarının etkileri

Köpük flotasyonu deneylerinde yüzey aktif madde olarak Triton X-100, Brij-35, MIBC ve SDS kullanılmıştır. Ayrıca Triton X-100, Brij-35 ve SDS belirli oranlarda MIBC ile birlikte, karışım halinde kullanılmıştır.

4.4.1.1. Köpük flotasyonunda yüzey aktif madde adsorpsiyonu

Köpük flotasyonunda kullanılan Triton X-100, MIBC ve SDS'nin başlangıç derişimleri ile kömür parçacıklarına adsorplanan miktarlarının değişimi şekil 4.10'da verilmiştir. Her üç yüzey aktif maddenin başlangıç derişimindeki artış ile köpük flotasyonu sırasında adsorplanan miktarları doğrusal olarak artmıştır.

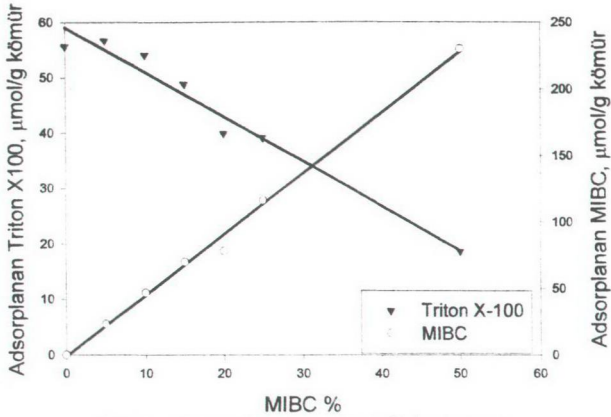


Şekil 4.10. Yüzey aktif maddelerin başlangıç derişimleri ile adsorplanan miktarlarının değişimi

Aynı başlangıç derişimleri için karşılaştırma yapıldığında, flotasyon sonunda kömür yüzeyine adsorplanan MIBC miktarının, SDS ve Triton X-100'e göre daha yüksek olduğu görölmektedir.

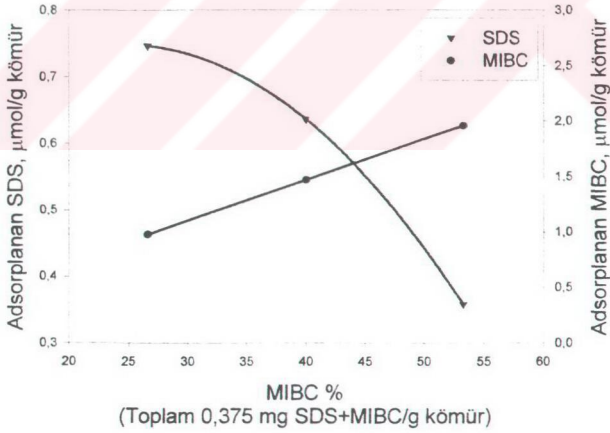
Zonguldak kömürünün köpük flotasyonu ile zenginleştirilmesi için seçilen yüzey aktif maddeler ikili karışımları hazırlanarak kullanılmıştır. Karışım içerisindeki MIBC oranı ile adsorplanan yüzey aktif madde miktarlarının değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Triton X-100-MIBC karışımı için şekil 4.11'de, SDS-MIBC karışımı için ise şekil 4.12'de verilmiştir.

Triton X-100 ve MIBC toplam başlangıç derişimleri 0,9 mg/g kömür değerinde sabit kalacak şekilde; belirli oranlarda karışımları hazırlanarak kullanılmıştır. şekil 4.11'de göröldüğü gibi, karışımındaki MIBC oranı arttıkça kömür parçacıklarına adsorplanan MIBC miktarı artarken Triton X-100 adsorpsiyonu azalmaktadır.



(Toplam 0,9 mg Triton X100+MIBC/g kömür)

Şekil 4.11. Karışımdaki MIBC oranı ile adsorplanan Triton X-100 ve MIBC miktarlarının değişimi

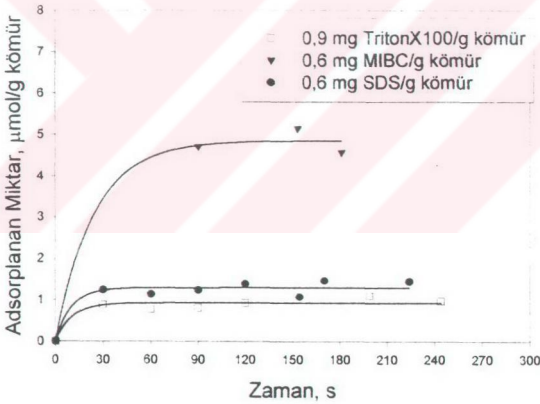


Şekil 4.12. Karışımdaki MIBC oranı ile adsorplanan SDS ve MIBC miktarlarının değişimi

SDS ve MIBC, toplam başlangıç derişimi 0,375 mg/g kömür olacak şekilde birlikte kullanılmıştır. Karışimdaki MIBC oranı artırıldığında adsorplanan MIBC miktarı doğrusal olarak artarken adsorplanan SDS miktarı azalmıştır.

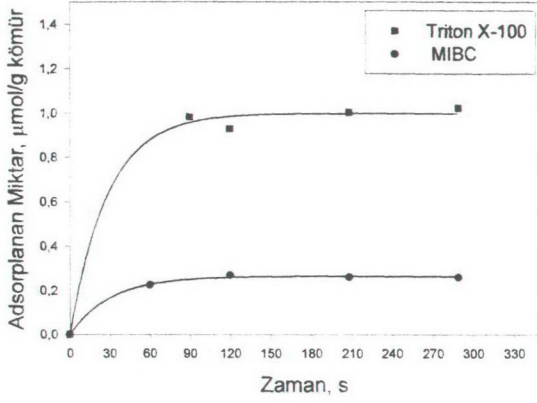
Yüzey aktif madde karışımlarında elde edilen bu sonuç, molekül ve kimyasal yapısına bağlı olarak, MIBC'nin kömür parçacıklarına seçimli olarak adsorplanmasından kaynaklanmaktadır.

Köpük flotasyonunda yüzey aktif madde adsorpsiyonunun incelenmesi amacıyla, deneylerin başlangıcından itibaren belirli sürelerde adsorplanan yüzey aktif madde miktarları saptanmıştır. Triton X-100, MIBC ve SDS için seçilmiş deneylerde elde edilen verilerden yararlanarak belirlenen yüzey aktif madde adsorpsiyonunun zamanla değişimi şekil 4. 13'de verilmiştir.

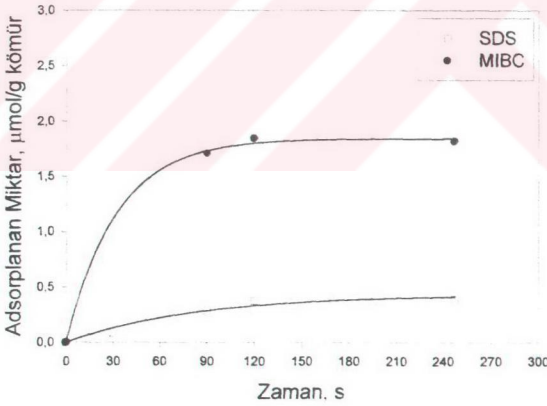


Şekil 4.13. Köpük flotasyonu sırasında adsorplanan yüzey aktif madde miktarının zamanla değişimi

Yüzey aktif madde karışımlarında adsorplanan madde miktarının zamanla değişimi Triton X-100 ve MIBC karışımı için şekil 4. 14'de; SDS ve MIBC karışımı için ise şekil 4. 15'de verilmiştir.



Şekil 4. 14. Toplam 0,9 mg/g kömür başlangıç derişiminde Triton X-100 ve MIBC (%5) karışımında adsorplanan yüzey aktif madde miktarının zamanla değışimi



Şekil 4. 15. Toplam 0,375 mg/g kömür başlangıç derişiminde SDS ve MIBC (%53,3) karışımında adsorplanan yüzey aktif madde miktarının zamanla değışimi

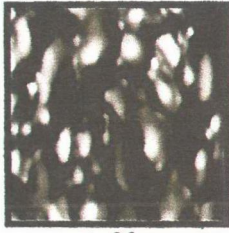
Şekil 4. 13- 4. 15'de görüldüğü gibi her üç yüzey aktif madde, kömür parçacıklarına çok kısa bir sürede adsorplanmakta ve adsorplanan miktarları zamanla artmaktadır. Aynı sürelerde adsorplanan miktarları karşılaştırıldığında, adsorplanan MIBC miktarının en yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.13). Başlangıç derişimleri farklı olmasına rağmen Triton X-100 ve SDS'nin adsorplanan miktarları birbirine çok yakındır. Adsorplanan miktarlarının zamanla değişimi, kullanılan yüzey aktif maddelerin önemli bir kısmının ilk 30 saniye içinde adsorlandığını göstermektedir. Bu durumda adsorpsiyon (olgunlaşma) için 2 dakika süre yeterli olmaktadır.

4.4.1.2. Yüzey aktif maddelerin köpük yapısına etkisi

Köpük flotasyonunda ayırma etkinliğinin yüksek olabilmesi için flotasyon hücresinde kararlı köpük oluşturulmalıdır. Köpük kararlılığı, uygun yüzey aktif maddelerin yeterli miktarda kullanılması ile sağlanabilmektedir (Gaudin 1932, Woodburn *et al.* 1984, Subrahmanyam ve Forssberg 1988).

Şekil 4. 16'da, üç iyonik olmayan (Triton X-100, Brij-35, MIBC) ve bir anyonik (SDS) yüzey aktif madde ile gerçekleştirilen deneylerde elde edilen köpük görünüşleri için örnek fotoğraflar verilmiştir.

Triton X-100 Brij-35 ile başlangıçtan itibaren polihedral yapılı, kararlı kabarcıklar oluşmuştur. Bu köpük yapısının yeterli drenajın gerçekleşmesi için uygun olduğu bilinmektedir (Aktaş ve Woodburn 1995). MIBC tek başına kullanıldığında oluşan köpüğün polihedral yapıda ancak kararsız olduğu gözlenmiştir. Köpük çok fazla katı parçacık taşıdığı için köpük yüzeyindeki birikme köpüğün yükselmesini engellemiştir. Anyonik bir yüzey aktif madde olan SDS ile çok küçük, çabuk patlayan, küresel kabarcıklar oluşmuştur. Küresel kabarcıklar arasındaki basınç farkı az olacağından yeterli drenaj gerçekleşmediği belirlenmiştir (Rosen 1989, Aktaş 1993).



t=36 s



t=136 s



t=208 s

(a) 0,9 mg Triton X-100/ g kömür



t=33 s



t=57 s



t=70 s

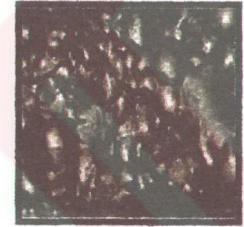
(b) 0,9 mg Brij-35/ g kömür



t=20 s



t=73 s



t=160 s

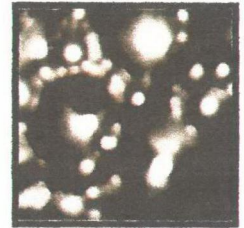
(c) 0,6 mg MIBC/ g kömür



t=22 s



t=40 s

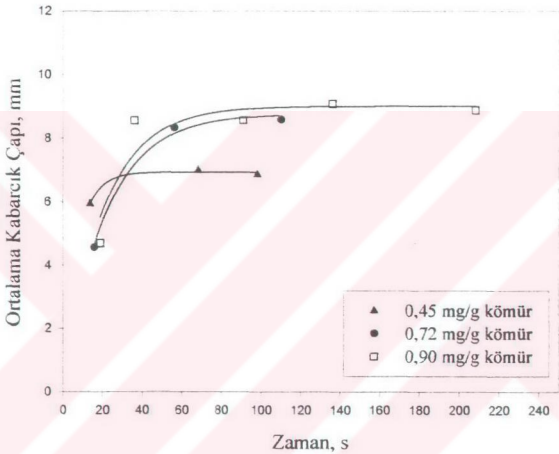


t=71 s

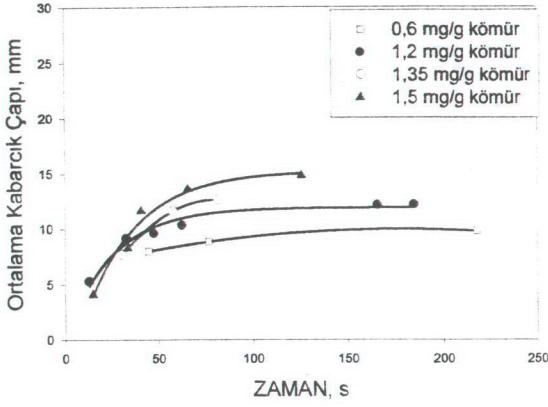
(d) 0,6 mg SDS/ g kömür

Şekil 4.16. Farklı yüzey aktif maddeler ile elde edilen köpük yapısı

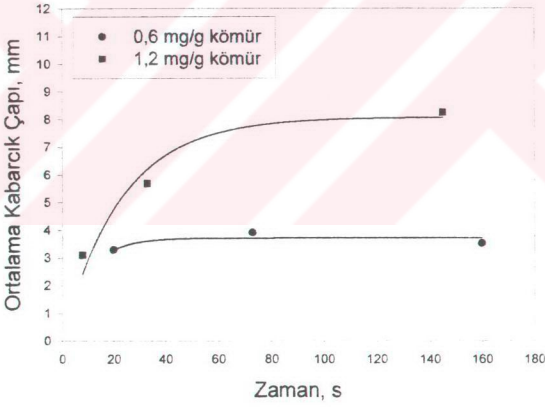
Her bir flotasyon deneyinde belirli sürelerde çekilen fotoğraflar görüntü analizi yöntemi ile incelenmiştir. RADIS 026 programı yardımıyla köpüğü oluşturan kabarcıkların ortalama çap değerleri saptanmıştır. Saf halde kullanılan Triton X-100, Brij-35, MIBC ve SDS'nin farklı başlangıç derişimleri ile elde edilen köpükte, ortalama kabarcık çapının zamanla değışimi şekil 4. 17- 4. 20'de verilmiştir.



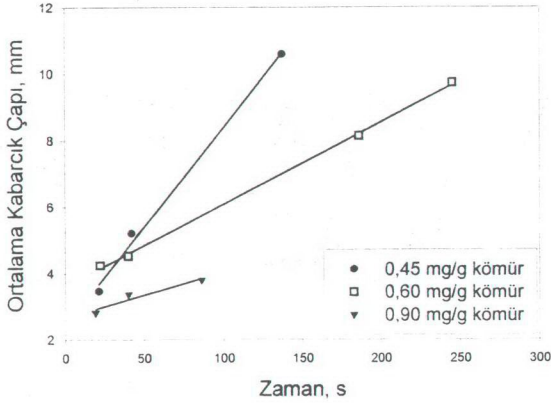
Şekil 4.17. Farklı Triton X-100 başlangıç derişimlerinde köpük yapısındaki değışim



Şekil 4.18. Farklı Brij-35 başlangıç derişimlerinde köpük yapısındaki değişim



Şekil 4.19. Farklı MIBC başlangıç derişimlerinde köpük yapısındaki değişim

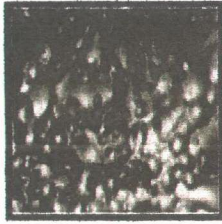


Şekil 4.20. Farklı SDS başlangıç derişimlerinde köpük yapısındaki değişim

Şekil 4.17-4.20'de görüldüğü gibi, flotasyonun başlangıcından itibaren oluşan kabarcıklar zamanla birleşerek büyümektedir. Ancak flotasyon hücresindeki yüzey aktif madde ve katı içeriğinin azalmasına bağlı olarak, belirli bir süre sonunda köpüğün çöktüğü gözlenmiştir.

İyonik olmayan Triton X-100, Brij-35 ve MIBC'nin başlangıç derişimlerindeki artış ile birlikte ortalama kabarcık çapı da artmıştır. Ancak SDS başlangıç derişimi 0,45 mg/g kömür'den 0,90 mg/ g kömür'e yükseltilerek kullanıldığında oluşan kabarcıkların daha küçük ve küresel yapıda olduğu belirlenmiştir.

Köpük flotasyonu deneylerinde Triton X-100, Brij-35 ve SDS belirli oranlarda MIBC ile karıştırılarak kullanılmıştır. Yüzey aktif madde karışımları ile elde edilen köpük yapısındaki değişimleri gösteren örnek fotoğraflar şekil 4. 21'de verilmiştir.



t=8 s



t=58 s



t=109 s

(a) 0,9 mg (Triton X100+MIBC)/ g kömür (%5 MIBC)



t=37 s



t=54 s



t=69 s

(b) 0,9 mg (Brij 35+MIBC)/ g kömür (%5 MIBC)



t=18 s



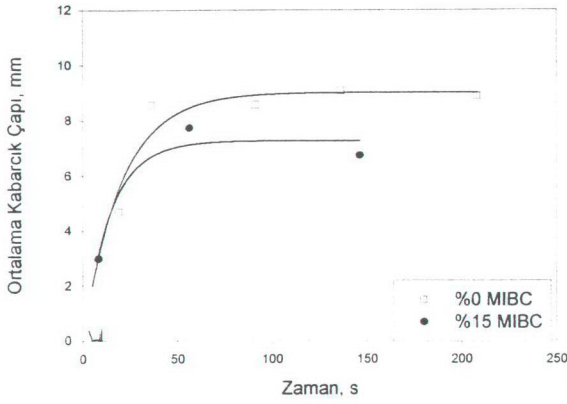
t=48 s



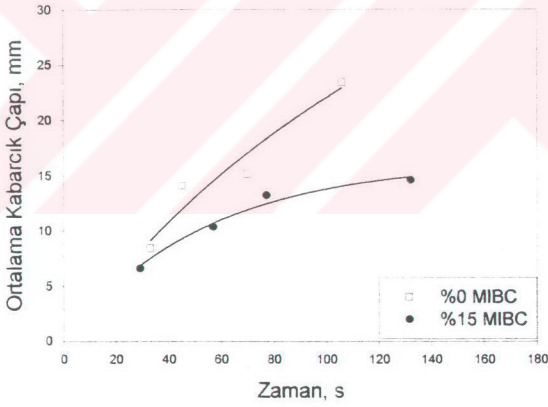
t=88 s

(c) 0,375 mg (SDS+ MIBC)/ g kömür (%40 MIBC)

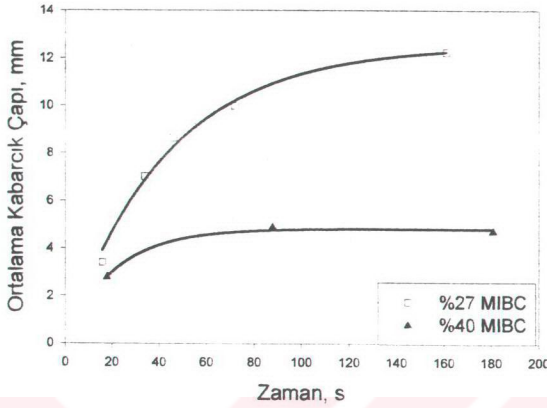
Şekil 4.21. Yüzey aktif madde karışımları ile elde edilen köpük yapısı



Şekil 4. 22. Toplam 0,9 mg/g kömür başlangıç derişiminde Triton X-100 ve MIBC karışımında ortalama kabarcık çapının zamanla değışimi



Şekil 4.23. Toplam 0,9 mg/g kömür başlangıç derişiminde Brij-35 ve MIBC karışımında ortalama kabarcık çapının zamanla değışimi

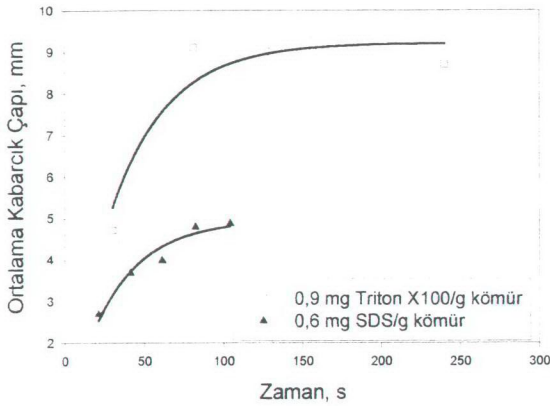


Şekil 4.24. Toplam 0,375 mg/g kömür başlangıç derişiminde SDS ve MIBC karışımında ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi

Triton X-100, Brij-35 ve SDS, MIBC ile birlikte kullanıldığında köpük yapısının belirgin şekilde değiştiği gözlenmiştir. Şekil 4. 22 - 4. 24' de görüldüğü gibi, yüzey aktif madde karışımındaki MIBC oranı arttırıldığında köpük daha küçük kabarcıklardan oluşmuştur.

Adsorplanan yüzey aktif madde miktarlarının zamanla değişimini incelemek amacıyla yapılan deneylerde köpük yapısındaki değişimler de belirlenmiştir. 0,9 mg Triton X-100/ g kömür ve 0,6 mg SDS/ g kömür ile gerçekleştirilen deneylerde belirli sürelerde fotoğraflar çekilmiştir. Elde edilen görüntüler görüntü analizi tekniği ile incelenerek, ortalama kabarcık çapının zamanla arttığı belirlenmiştir (Şekil 4.25).

0,9 mg Triton X-100/ g kömür kullanıldığında köpüğün polihedral kabarcıklardan oluştuğu ve oldukça kararlı bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. 0,6 mg SDS/ g kömür ile elde edilen köpüğün ise daha çok küçük küresel kabarcıklardan oluştuğu görülmüştür.



Şekil 4. 25. Triton X-100 ve SDS için seçilen deneylerde köpük yapısının zamanla değişimi

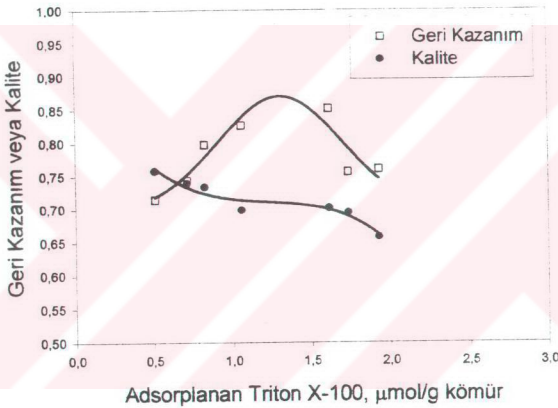
4.4.1.3. Yüzey aktif maddelerin flotasyon performansına etkisi

Köpük flotasyonunda kömür parçacıklarına adsorplanan yüzey aktif madde miktarı, flotasyon performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Saf halde kullanılan Triton X-100, MIBC ve SDS'nin başlangıç miktarındaki değişimlere karşılık elde edilen performans değerleri sırasıyla çizelge 4.3 - 4.6'da, adsorplanan yüzey aktif madde miktarları ile flotasyon performansının değişimi şekil 4.26 - 4.28 'da verilmiştir.

Triton X-100 başlangıç miktarı 0,45-1,50 mg/g kömür aralığında farklı derişimlerde kullanılmıştır. Kalitenin maksimum değeri (0,7582) en düşük Triton X-100 başlangıç miktarı olan 0,45 mg/g kömür ile elde edilmiştir. Bu deneyde geri kazanım %71,46 olarak belirlenmiştir. Adsorplanan Triton X-100 miktarı arttıkça konsantrelerin kümülatif kül içeriğinin %5,7896'dan %8,1916'ya yükseldiği, buna bağlı olarak kalitenin azaldığı gözlenmiştir (Ek 7). Yüzey aktif madde miktarının artışıyla proses seçiciliğinin azalması, minerallerin de köpük fazına sürüklenmesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.3. Triton X-100 başlangıç miktarının köpük flotasyonu performansına etkisi

Deney No.	Başlangıç Derişimi (mg/g kömür)	Başlangıç Derişimi ($\mu\text{mol/g kömür}$)	Adsorplanan ($\mu\text{mol/g kömür}$)	Fraksiyonel Geri Kazanım	Kümülatif Kalite
T1	0,45	0,6484	0,5095	0,7146	0,7582
T2	0,60	0,8646	0,7169	0,7440	0,7393
T3	0,72	1,0375	0,8258	0,7978	0,7339
T4	0,90	1,2968	1,0578	0,8438	0,7241
T5	1,20	1,7291	1,6148	0,8513	0,7017
T6	1,35	1,9452	1,7370	0,7561	0,6946
T7	1,50	2,1614	1,9330	0,7603	0,6579



Şekil 4.26. Kömür yüzeyine adsorplanan Triton X-100 miktarı ile flotasyon performansının değişimi

Triton X-100 başlangıç derişimi 1,2 mg/g kömür olarak kullanıldığında, kömür yüzeyine adsorplanan miktar 1,6148 $\mu\text{mol/g kömür}$; geri kazanım ise 0,8513 değerine kadar yükselmiştir. Ancak daha yüksek başlangıç derişimlerinde adsorplanan Triton X-100 miktarının artması sonucu geri kazanım azalmıştır. Geri kazanımdaki bu azalma, Triton X-100'ün hidrofobik katı parçacıkların dış yüzeyine adsorplanması sonucu, parçacıkların yüzey özelliğini değiştirmesinden kaynaklanmaktadır.

Yüksek yüzey derişimi ve sıvı fazda kalan Triton X-100, köpükteki lamellae kalınlığının artmasına, dolayısıyla ayırma seçiciliğinin azalmasına neden olmuştur. Buna bağlı olarak kalitede azalma gözlenmiştir (Çizelge 4.3, Şekil 4.26).

İyonik olmayan Brij-35 başlangıç miktarı 0,6-1,5 mg/g kömür aralığında farklı değerlerde kullanılmıştır (Çizelge 4.4). Başlangıç Brij-35 miktarının artışı ile, geri kazanım artmıştır. En yüksek kalite değerine (0,775) ulaşılan 1,2 mg Brij-35 /g kömür başlangıç derişiminde, geri kazanım 0,6611 gibi oldukça düşük bir değerdedir. Maksimum geri kazanım değerine (0,7417) ise, başlangıç Brij-35 miktarının en yüksek değerinde (1,5 mg/g kömür) ulaşılmıştır (Ek 8). Analiz imkanı bulunamadığından Brij-35 adsorpsiyonu incelenememiştir.

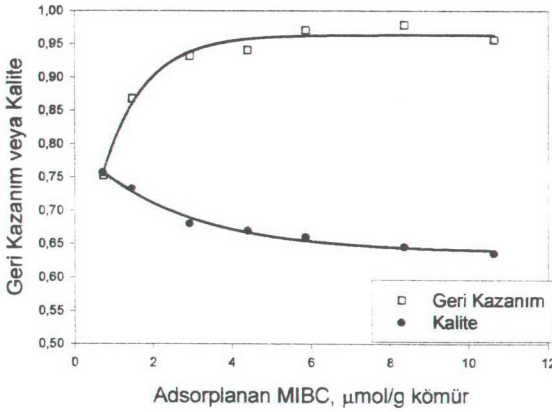
Çizelge 4.4. Brij-35 başlangıç miktarının köpük flotasyonu performansına etkisi

Deney No.	Başlangıç Derişimi, mg/g kömür	Fraksiyonel Geri Kazanım	Kümülatif Kalite
B1	0,60	0,6372	0,7494
B2	0,90	0,6668	0,7351
B3	1,20	0,6611	0,7750
B4	1,35	0,7035	0,7519
B5	1,50	0,7417	0,7487

Köpük flotasyonunda yaygın olarak kullanılan bir yüzey aktif madde olan MIBC, başlangıç miktarı 0,075-1,20 mg/g kömür aralığında farklı derişimlerde kullanılmıştır. MIBC miktarı artırıldığında, geri kazanım artarken kümülatif kalite azalmıştır (Çizelge 4.5, Şekil 4.27).

Çizelge 4.5. MIBC başlangıç miktarının köpük flotasyonu performansına etkisi

Deney No.	Başlangıç Derişimi (mg/g kömür)	Başlangıç Derişimi ($\mu\text{mol/g}$ kömür)	Adsorplanan ($\mu\text{mol/g}$ kömür)	Fraksiyonel Geri Kazanım	Kümülatif Kalite
M1	0,075	0,7340	0,7340	0,7528	0,7571
M2	0,15	1,4680	1,4680	0,8678	0,7333
M3	0,30	2,9360	2,9360	0,932	0,680
M4	0,45	4,4040	4,4040	0,941	0,670
M5	0,60	5,8720	5,8720	0,971	0,660
M6	0,90	8,8080	8,3649	0,979	0,646
M7	1,20	11,7440	10,6534	0,957	0,637



Şekil 4. 27. Kömür yüzeyine adsorplanan MIBC miktarı ile flotasyon performansının değişimi

Yüzey aktif maddelerin aynı başlangıç derişimleri için karşılaştırma yapıldığında MIBC'nin daha fazla adsorplandığı açıkça görülmektedir. MIBC ile elde edilen geri kazanım değerleri diğer yüzey aktif maddelere göre daha yüksek, ancak kümülatif kalite daha düşüktür. Yüksek derişimde MIBC kullanıldığında hızın artması sonucu drenaj süresi kısalmıştır. Fazla miktarda parçacığın köpük fazına sürüklenmesi köpüğün çökmesine neden olduğundan drenajı engellemiştir. Bu durumda konsantrenin kül içeriği %5,8167'den %8,6997'ye yükselmiştir (Ek 9). Konsantredeki mineral madde içeriğinin artması kalitenin azalmasına neden olmuştur. Bu sonuç MIBC'nin toplayıcı özelliğinin etkili olduğunu göstermektedir.

İyonik olmayan yüzey aktif maddelerin yanısıra anyonik olan SDS ile de bir seri deney gerçekleştirilmiştir. Farklı başlangıç derişimlerinde (0,084-0,90 mg/g kömür) gerçekleştirilen deneylerden elde edilen performans değerleri çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

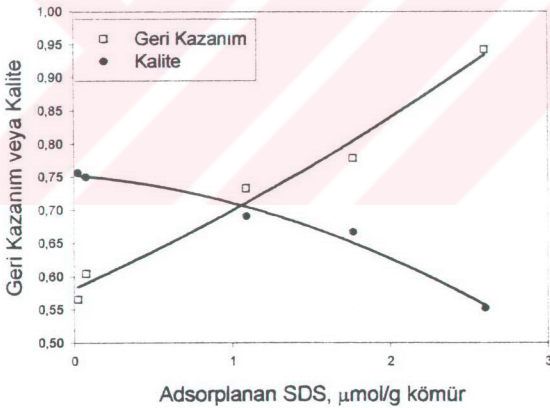
Köpük fazında çökme gözlemlendiğinden 0,90 mg/g kömür'den daha yüksek SDS derişimleri için performans parametreleri belirlenememiştir. SDS başlangıç miktarı 0,084 mg/g kömür'den 0,90 mg/g kömür'e arttığında, kalite değeri 0,7494'den 0,5518'e

düşmektedir. Bununla birlikte, geri kazanım değeri 0,6043'den 0,9423'e yükselmektedir.

Çizelge 4.6. SDS başlangıç miktarının köpük flotasyonu performansına etkisi

Deney No.	Başlangıç Derişimi (mg/g kömür)	Başlangıç Derişimi (μmol/g kömür)	Adsorplanan (μmol/g kömür)	Fraksiyonel Geri Kazanım	Kümülatif Kalite
S1	0,084	0,2913	0,0743	0,6043	0,7494
S2	0,133	0,4612	0,0231	0,5653	0,7564
S3	0,45	1,5604	1,0866	0,7325	0,6918
S4	0,60	2,0806	1,7631	0,7783	0,6664
S5	0,90	3,1209	2,5988	0,9423	0,5518

SDS başlangıç miktarının artışı ile flote olmuş toplam katı parçacık miktarı ve konsantrelerin kül içeriği artmıştır (Ek 10). Bu sonuç flotasyon prosesi sırasında, bazı hidrofilik katı parçacıkların da sürüklenmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.28. Kömür yüzeyine adsorplanan SDS miktarı ile flotasyon performansının değişimi

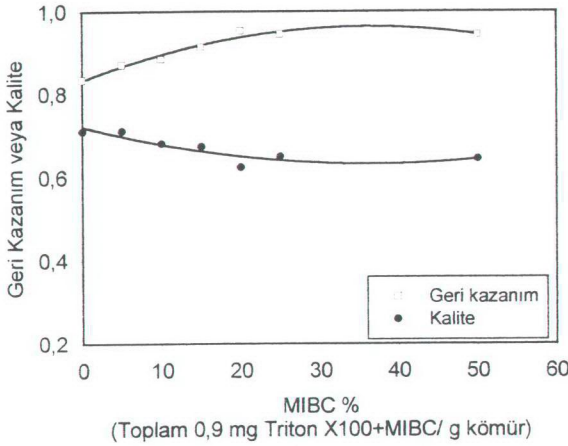
Kullanılan tüm yüzey aktif maddeler ile elde edilen geri kazanım ve kalite değerlerinin değişimi, yüzey aktif madde tipi ve miktarının flotasyon performansı açısından önemini göstermektedir. Ürün kalitesindeki azalma, yüksek derişimlerde kullanılan yüzey aktif maddelerin toplayıcı özelliğine ve kömür taneciklerinin yüzey özelliklerinin değişmesi sonucu bazı minerallerin de köpikle birlikte sürüklenmesine bağlanmıştır.

Yüzey aktif madde tipi ve miktarının flotasyon performansına etkisi birçok çalışmada incelenmiş, benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Flynn ve Woodburn 1987, Aktaş ve Woodburn 1995, Jia *et al.* 2000, Vamvuka ve Agridiotis 2001).

Saf halde kullanılan yüzey aktif maddelerden Triton X-100, Brij-35 ve SDS'nin MIBC ile belirli oranlarda ikili karışımları hazırlanmıştır. Toplam yüzey aktif madde miktarı sabit kalacak şekilde, karışım içerisindeki MIBC oranı değiştirilmiştir. MIBC oranı ile adsorplanan yüzey aktif madde miktarı ve flotasyon performansı verileri çizelge 4.7-4.9'da; MIBC oranı ile kalite ve geri kazanımın değişimi şekil 4.29- 4.31'de verilmiştir.

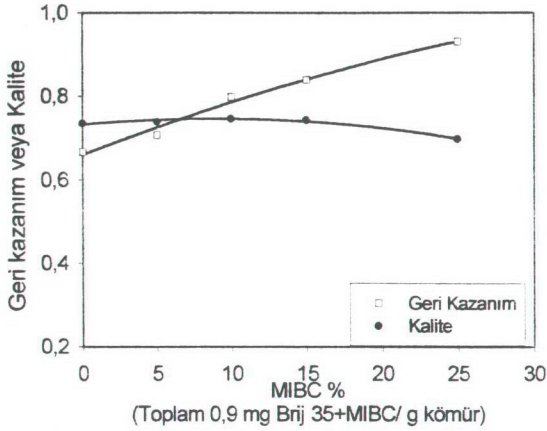
Çizelge 4.7. Triton X-100 ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi [Toplam başlangıç derişimi: 0,9 mg/g kömür]

Deney No.	Karışımındaki MIBC (%)	Adsorplanan MIBC ($\mu\text{mol/g}$ kömür)	Adsorplanan Triton X-100 ($\mu\text{mol/g}$ kömür)	Fraksiyonel Geri Kazanım	Kümülatif Kalite
TM1	2,5	0,2202	0,9154	0,7979	0,7124
TM2	5	0,4404	1,0780	0,8710	0,7123
TM3	10	0,8808	1,0275	0,8847	0,6821
TM4	15	1,3212	0,9287	0,9142	0,6751
TM5	20	1,4814	0,7583	0,9532	0,6254
TM6	25	2,0220	0,7435	0,9448	0,6502
TM7	50	4,3661	0,3549	0,9435	0,6449



Şekil 4.29. Triton X-100 ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi

Triton X-100 ve MIBC karışımı toplam başlangıç yüzey aktif madde miktarı 0,9 mg/g kömür değerinde sabit tutularak, içerisindeki MIBC oranı %5-50 (ağ.) aralığında değiştirilerek kullanılmıştır. Yüzey aktif madde karışımı içerisindeki MIBC oranı ile flotasyon performansının önemli ölçüde değiştiği görülmüştür. Triton X-100 ve MIBC karışımı içerisindeki MIBC oranının artırılmasıyla, geri kazanım hızla artarken, kalite değerleri yavaş yavaş azalmaktadır (Şekil 4.29). Karışımdaki MIBC fraksiyonunun artması, kömürün flotasyon tekniği ile temizlenmesinde seçiciliği etkilemiştir. Geri kazanımdaki dikkate değer artış, MIBC'nin yüzey aktif madde karışımı içinde köpük yapıcıdan çok toplayıcı olarak davrandığını göstermektedir.



Şekil 4.30. Brij-35 ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi

Yapılan deneylerde en yüksek kalite değerleri Brij-35 kullanıldığında elde edilmiştir. MIBC'nin toplayıcı özelliği bilindiğinden, Brij-35 ile MIBC'nin karışım halinde kullanılması uygun görülmüştür. Toplam yüzey aktif madde miktarı, Triton X-100+MIBC karışımında olduğu gibi 0,90 mg/g kömür değerinde sabit tutulmuştur. Karışım içerisindeki MIBC oranı %5-25 (ağ.) olacak şekilde değiştirilerek kullanılmıştır.

Çizelge 4.8. Brij-35 ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi [Toplam başlangıç derişimi: 0,9 mg /g kömür]

Deney No.	Karışımındaki MIBC (%)	Fraksiyonel Geri Kazanım	Kümülatif Kalite
B2	0	0.6668	0.7351
BM1	5	0.7074	0.7392
BM2	10	0.7986	0.7461
BM3	15	0.8391	0.7425
BM4	25	0.9307	0.6980

MIBC ve Brij-35 karışımı içerisindeki MIBC oranının artışı ile, geri kazanım değeri 0,7074'den 0,9307'ye yükselmiştir. Triton X-100 ve MIBC karışımı ile yapılan deneylerle karşılaştırıldığında, geri kazanım artışının daha hızlı olduğu belirlenmiştir.

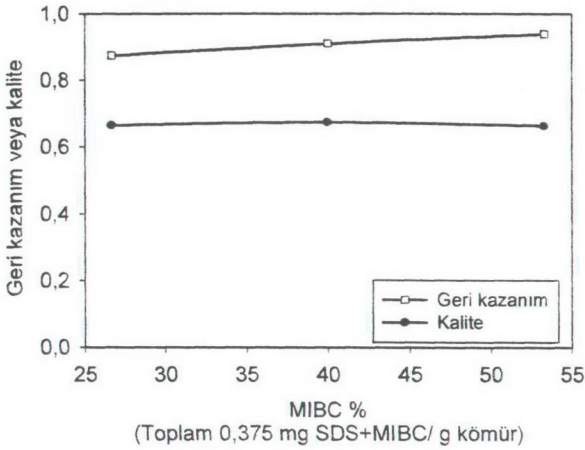
Bu farklılığın, kullanılan yüzey aktif maddelerin kimyasal özelliğinden kaynaklandığı ileri sürülebilir. Ancak kesin sonuç elde edilebilmesi için Brij-35'in köpük flotasyonu sırasında kömür yüzeyine adsorpsiyon davranışı araştırılmalıdır.

SDS ve MIBC karışımı toplam başlangıç yüzey aktif madde miktarı 0,375 mg/g kömür değerinde sabit tutularak, içerisindeki MIBC oranı %27, %40 ve %53,3 (ağ.) olacak şekilde değiştirilerek kullanılmıştır.

Çizelge 4.9. SDS ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi [Toplam başlangıç derişimi: 0,375 mg /g kömür]

Deney No.	Karışımındaki MIBC (%)	Adsorplanan MIBC ($\mu\text{mol/g}$ kömür)	Adsorplanan SDS ($\mu\text{mol/g}$ kömür)	Fraksiyonel Geri Kazanım	Kümülatif Kalite
SM1	27	0,9787	0,7461	0,8752	0,6979
SM2	40	1,4680	0,6362	0,9110	0,6753
SM3	53,3	1,9573	0,3577	0,9402	0,6662

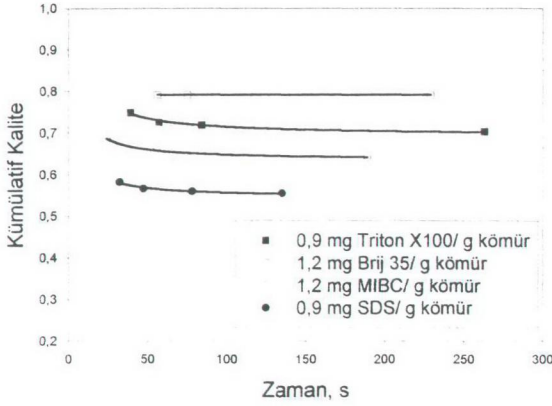
SDS ve MIBC karışımı içerisindeki MIBC oranının artışı ile, kalite değerleri 0,6979'dan 0,6662'ye azalmış, geri kazanım değerleri ise, 0,8752'den 0,9402'ye yükselmiştir.



Şekil 4. 31. SDS ve MIBC karışımındaki MIBC oranı ile flotasyon performansının değişimi

Köpük flotasyonu sırasında belirli sürelerde alınan konsantrelerin kül içeriğinden yararlanarak ürün kalitesi belirlenebilmektedir. Yapılan deneylerde, köpük yapısındaki değişimlere bağlı olarak, konsantrelerin kül içeriğinde zamanla artış olduğu gözlenmiştir. Bu durumda, ilk konsantrede alınan ürünün kalitesi en yüksek değerde iken zamanla kalite azalmaktadır (Ek 7-15).

Yüzey aktif maddeler farklı başlangıç derişimlerinde kullanılarak, konsantrelerin kümülatif kalite değerleri zamana bağlı olarak hesaplanmıştır. Şekil 4. 32'de, her bir yüzey aktif madde için seçilmiş deneylerde kümülatif kalitenin zamanla değişimi verilmiştir.

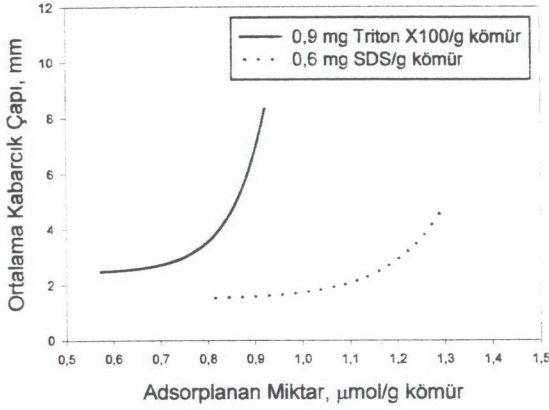


Şekil 4.32. Seçilen deneylerde kümülatif kalitenin zamanla değişimi

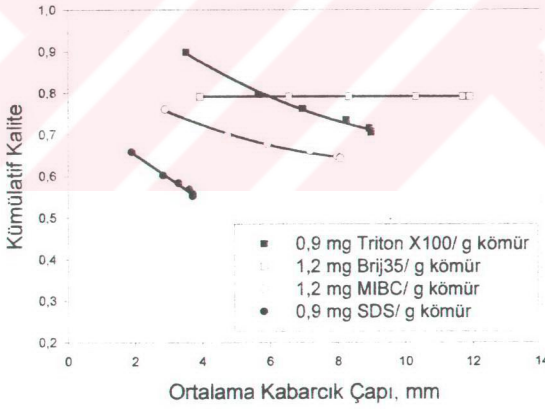
4.4.1.4. Yüzey aktif madde adsorpsiyonunun köpük yapısı ve flotasyon performansına etkisi

Köpük flotasyonunda, geçen süre ile birlikte yüzey aktif madde adsorpsiyonunun arttığı belirlenmiştir. Buna bağlı olarak köpük yapısındaki değişim incelenmiş ve ortalama kabarcık çapının zamanla arttığı gözlenmiştir.

Şekil 4.13 ve şekil 4.25 'de oluşturulan eğri denklemlerinin ortak çözümünden, adsorplanan yüzey aktif madde miktarı ile köpüğü oluşturan kabarcıkların ortalama çap değerleri arasındaki ilişki matematiksel olarak belirlenmiştir. Örnek olarak seçilen 0,9 mgTriton X-100/g kömür ve 0,6 mg SDS/g kömür başlangıç derişimleri ile yapılan deneylerde ortalama kabarcık çapının adsorplanan yüzey aktif madde miktarı ile değişimi şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.33. Triton X-100 ve SDS için seçilen deneylerde köpük yapısının adsorplanan yüzey aktif madde miktarı ile değişimi



Şekil 4.34. Ortalama kabarcık çapı ile kümülatif kalitenin değişimi

Köpüğü oluşturan kabarcıkların ortalama çapının, flotasyonun başlangıcından itibaren zamanla arttığı (Şekil 4.17- 4.20); kümülatif kalitenin ise zamanla azaldığı (Şekil 4.32) bilinmektedir. Deneysel verilere uygun eğri denklemlerinin ortak çözümünden kümülatif kalitenin ortalama kabarcık çapı ile değişimi matematiksel olarak belirlenmiştir. Seçilen deneyler için bulunan sonuçlar şekil 4.34'de verilmiştir. Deneysel verilerden türetilen bu ilişki, flotasyon performansının büyük ölçüde köpük yapısına bağlı olduğunu göstermektedir.

4. 4. 2. Kömür parçacık boyutunun köpük yapısı ve flotasyon performansına etkisi

Köpük flotasyonu deneylerinde parçacık boyutunun köpük yapısı ve flotasyon performansına etkisi incelenmiştir. Toplam kömür besleme miktarları sabit (30 g) kalacak şekilde, orjinal kömür örneğine belirli oranlarda ince kömür örneği karıştırılarak kullanılmıştır. Yüzey aktif madde olarak, ağırlıca %5 oranında MIBC içeren Triton X-100 ve MIBC karışımı seçilmiş ve toplam 0,9 mg/ g kömür başlangıç derişimi ile kullanılmıştır.

Triton X-100 ve MIBC'nin kömür yüzeyine adsorplanan miktarları, deneylerin sonunda sıvı fazdan alınan örneklerin UV/ GC analizleri ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ve performans parametreleri çizelge 4. 10'da verilmiştir.

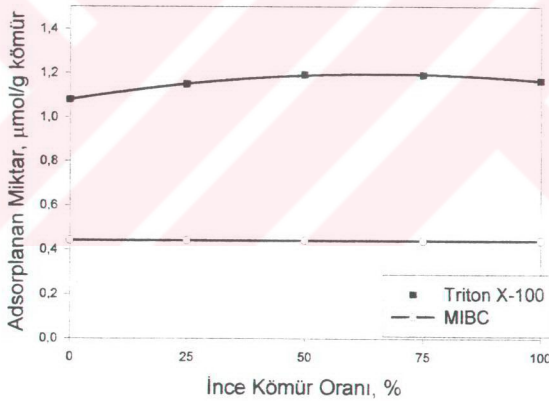
Besleme içerisindeki ince kömür oranı ile adsorplanan yüzey aktif madde miktarının değişimi şekil 4. 35'de verilmiştir.

Yüzey aktif madde karışımı içerisindeki MIBC miktarı oldukça düşük olduğundan flotasyon sırasında tamamı kömür parçacıklarına adsorplanmıştır. Beslemedeki ince kömür oranı arttırıldığında toplam yüzey alanı artacağından adsorplanan Triton X-100 miktarı artmıştır.

Çizelge 4.10. Kömür parçacık boyutunun yüzey aktif madde adsorpsiyonu ve flotasyon performansına etkisi [Toplam başlangıç derişimi: %5 MIBC içeren 0,9mg (Triton X100+MIBC)/g kömür]

Deney No.	İnce Kömür Oranı (%)	Adsorplanan MIBC ($\mu\text{mol/g}$ kömür)	Adsorplanan Triton X-100 ($\mu\text{mol/g}$ kömür)	Fraksiyonel Geri Kazanım	Kümülatif Kalite
TM2	0	0,4404	1,0780	0,8710	0,7123
P1	25	0,4404	1,1478	0,6823	0,6360
P2	50	0,4404	1,1908	0,5788	0,5251
P3	75	0,4404	1,1890	0,5046	0,4631
P4	100	0,4404	1,1639	0,3774	0,2454

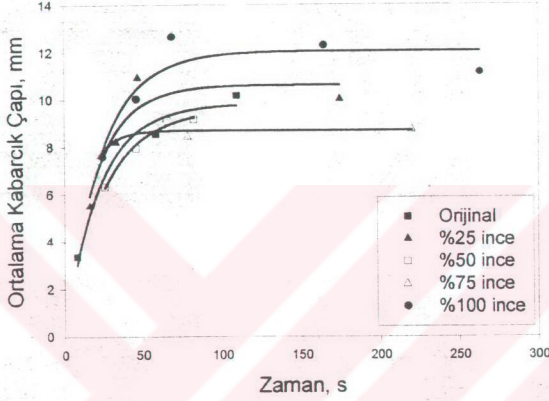
Yüzey aktif madde karışımı içerisindeki MIBC miktarı oldukça düşük olduğundan flotasyon sırasında tamamı kömür parçacıklarına adsorplanmıştır. Beslemedeki ince kömür oranı artırıldığında toplam yüzey alanı artacağından adsorplanan Triton X-100 miktarı artmıştır.



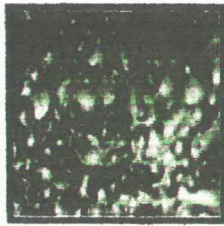
Şekil 4. 35. Beslemedeki ince kömür oranı ile adsorplanan yüzey aktif madde miktarının değişimi

Köpük flotasyonu deneylerinde çekilen fotoğrafların görüntü analizi ile belirlenen ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi ise şekil 4. 36'da verilmiştir. Şekil 4. 37'de farklı boyut dağılımına sahip olan kömür örnekleri ile elde edilen köpük yapısı için

örnek fotoğraflar verilmiştir. Flotasyonun başlangıcından itibaren ortalama kabarcık çapı zamanla artmaktadır. Aynı sürede bulunan ortalama kabarcık çapı değerleri karşılaştırıldığında, ince kömür ile gerçekleştirilen deneylerde ortalama kabarcık çapının daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 36. Farklı kömür örnekleri için ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi



t=8 s

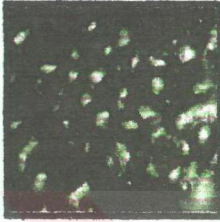


t=58 s



t=109 s

(a) Orjinal kömür



t=16 s

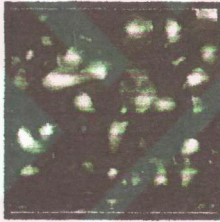


t=33 s

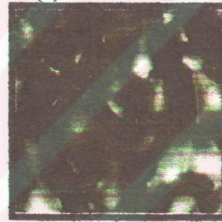


t=61 s

(b) %25 ince kömür



t=26 s

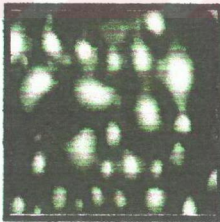


t=46 s



t=185 s

(c) % 50 ince kömür



t=24 s



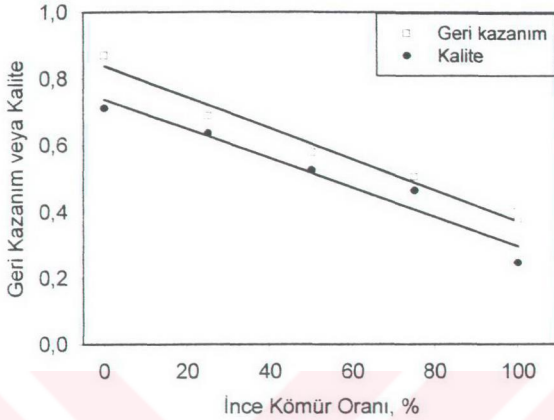
t=68 s



t=164 s

(d) % 100 ince kömür

Şekil 4.37. Farklı boyut dağılımına sahip kömür örnekleri ile elde edilen köpük yapısı
[Toplam başlangıç derişimi: %5 MIBC içeren 0,9 mg Triton X100+MIBC/g kömür]



Şekil 4. 38. Kömür parçacık boyutunun flotasyon performansına etkisi

Besleme içerisindeki ince kömür oranı ile geri kazanım ve kalitenin değişimi şekil 4.38'de verilmiştir. Karışımdaki ince kömür oranı arttığında beslemenin parçacık boyutu düşerken toplam yüzey alanı artmaktadır. Buna bağlı olarak kömür parçacıklarına adsorplanan yüzey aktif madde miktarı da artmıştır. Kullanılan yüzey aktif madde karışımı içerisindeki MIBC'nin tamamı adsorlandığından, parçacık boyutunun düşmesi ile birim yüzey alana adsorplanan yüzey aktif madde miktarının azalması geri kazanımın azalmasına neden olmuştur. Daha yüksek geri kazanım elde edilebilmesi için yüzey aktif maddelerin başlangıç derişimi artırılmalıdır. Ancak MIBC toplayıcı özelliğe sahip olduğundan, sadece MIBC oranı arttırılarak geri kazanımda artış sağlanabilir.

Köpük flotasyonunda kullanılan yüzey aktif maddelerin kömür parçacıklarına adsorpsiyonu mineral parçacıkların yüzey özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır. Hidrofobik özellik kazanan mineral parçacıkları köpük ile birlikte konsantre fazına geçtiğinden ürün kül içeriğinin artmasına ve buna bağlı olarak kalitenin azalmasına yol açarlar.

Parçacık boyutunun köpük flotasyonuna etkileri bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Bustamante ve Warren 1984, Tsai 1985, Vanangamudi *et al.* 1989, Akdemir ve Sönmez 2003). Çok küçük hidrofobik parçacıkların, flotasyon performansını etkilediği rapor edilmiştir.

4. 4. 3. Hava akış hızının köpük yapısı ve flotasyon performansına etkisi

Hava akış hızının köpük flotasyonu performansına etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerde yüzey aktif madde olarak, toplam başlangıç derişimi 0,9 mg/ g kömür olan ve ağırlıça %5 oranında MIBC içeren Triton X100+MIBC karışımı kullanılmıştır. Hava akış hızı ROTA L 10/400-9209 rotametreleri kullanılarak ayarlanmıştır.

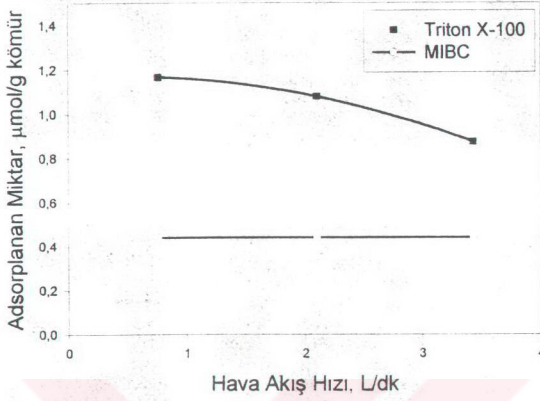
Farklı hava akış hızlarında adsorplanan yüzey aktif madde miktarları ve performans parametreleri çizelge 4. 11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Hava akış hızının yüzey aktif madde adsorpsiyonu ve flotasyon performansına etkisi [Toplam başlangıç derişimi: %5 MIBC içeren 0,9 mg Triton X100+MIBC/g kömür]

Deney No.	Hava Akış Hızı (L/dk)	Adsorplanan MIBC ($\mu\text{mol/g}$ kömür)	Adsorplanan Triton X-100 ($\mu\text{mol/g}$ kömür)	Fraksiyonel Geri Kazanım	Kümülatif Kalite
H1	0,76	0,4404	1,1675	0,7916	0,7238
TM2	2,10	0,4404	1,0780	0,8710	0,7123
H2	3,43	0,4404	0,8723	0,8719	0,6818

Farklı hava akış hızlarında adsorplanan yüzey aktif madde miktarlarının değişimi şekil 4. 39'da verilmiştir.

Şekil 4. 39'da görüldüğü gibi kullanılan MIBC'nin tamamı adsorplanmakta ve hava akış hızı ile değişmemektedir. Ancak hava akış hızı arttırıldığında, flotasyon süresinin azalmasına bağlı olarak, kömür yüzeyine adsorplanan Triton X-100 miktarı hızla azalmaktadır.



Şekil 4. 39. Adsorplanan yüzey aktif madde miktarlarının hava akış hızı ile değişimi

Hava akış hızının köpük yapısına etkileri incelenmiştir. Farklı hava akış hızları ile elde edilen köpük yapısını gösteren örnek fotoğraflar şekil 4.40'da, görüntü analizi tekniği ile belirlenen ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi, şekil 4. 41'de verilmiştir.

Yüksek hava akış hızında flotasyon hızının da artması sonucu köpük kararlılığının azaldığı ve ortalama kabarcık çapının arttığı gözlenmiştir. Kabarcık çapının hava akış hızındaki artışa bağlı olarak arttığı Laplante *et al.* (1983) tarafından belirtilmiştir.



t=61 s

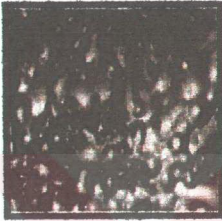


t=115 s

(a) 0,76 L/dk



t=349 s



t=8 s



t=58 s

(b) 2,10 L/dk



t=109 s



t=4 s



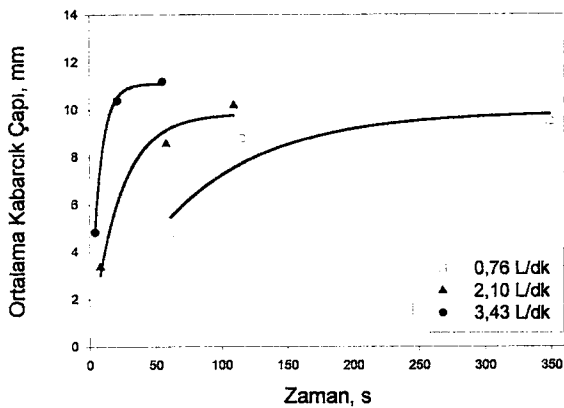
t=21 s

(c) 3,43 L/dk

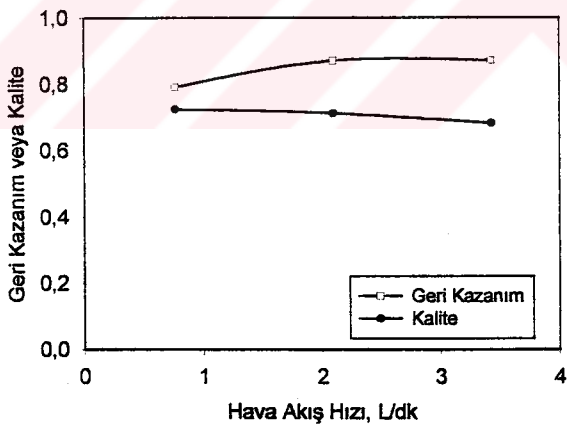


t=55 s

Şekil 4.40. Farklı hava akış hızları ile elde edilen köpük yapısı [Toplam başlangıç derişimi: %5 MIBC içeren 0,9 mg Triton X100+MIBC/g kömür]



Şekil 4. 41. Farklı hava akış hızlarında ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi

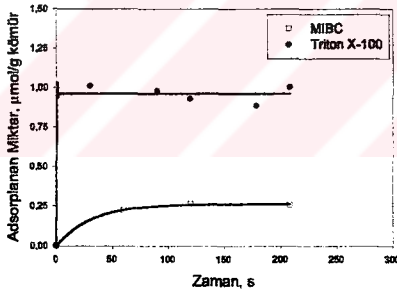


Şekil 4. 42. Hava akış hızının flotasyon performansına etkisi

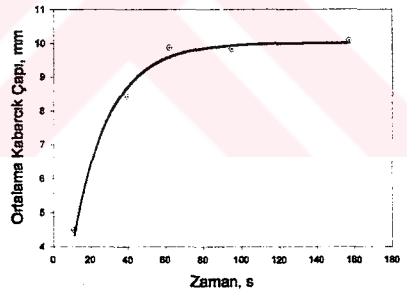
Hava akış hızının flotasyon performansına etkisi şekil 4. 42'de verilmiştir. Hava akış hızı artırıldığında flotasyon hızı artacağından adsorpsiyon ve drenaj süresi azalmaktadır. Bu durumda ayırma etkinliği azaldığı için mineral parçacıkları da köpükle taşınarak konsantreye geçmiştir. Böylece son ürünün kül içeriği %6,6145'den %7,6202'ye yükselirken, kalite 0,7238'den 0,6818 değerine düşmüştür (Ek 15).

4.4.4. Yüzey aktif madde adsorpsiyonunun köpük yapısı ve flotasyon performansına etkisi

Köpük flotasyonu deneylerinde elde edilen performans değerleri ve köpük yapısı birlikte değerlendirilmiştir. Orjinal kömür örneğinin köpük flotasyonunda yüzey aktif madde olarak, ağırlıça %5 oranında MIBC içeren Triton X-100 ve MIBC karışımı (toplam başlangıç derişimi 0,9 mg/g kömür) ve 2,10 L/dk hava akış hızının uygun olduğu belirlenmiştir (Deney TM2). Bu koşullarda elde edilen deney verilerinden yararlanarak yüzey aktif madde adsorpsiyonu ile köpük yapısı ve flotasyon performansı arasındaki ilişki araştırılmıştır.



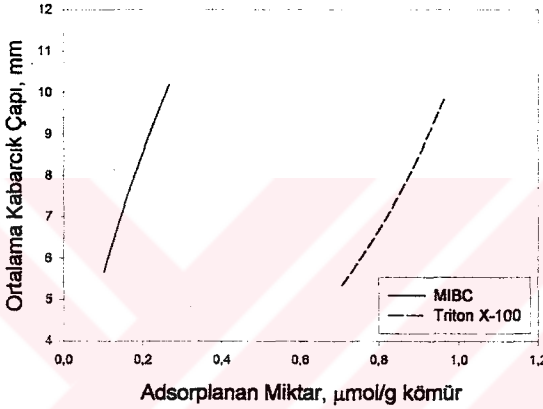
(a) Adsorplanan yüzey aktif madde miktarının zamanla değişimi



(b) Ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi

Şekil 4.43. Adsorplanan yüzey aktif madde miktarı ve ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi (Deney TM2)

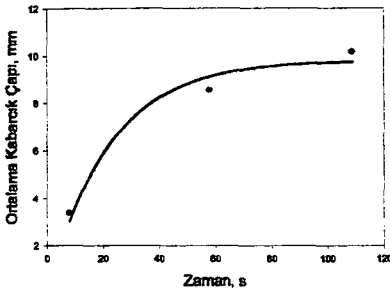
Şekil 4. 43'de, adsorplanan yüzey aktif madde miktarlarının ve ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi verilmiştir. Deneysel verilere regresyon uygulanarak uygun eğri denklemleri bulunmuştur. Eğri denklemlerinin ortak çözümü sonucunda adsorplanan yüzey aktif madde miktarları ile ortalama kabarcık çapı arasındaki ilişki elde edilmiştir (Şekil 4. 44).



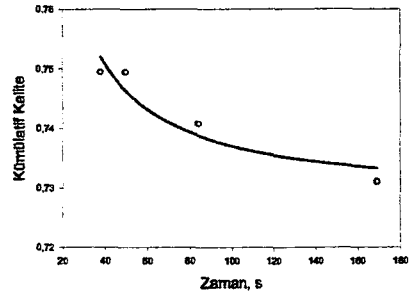
Şekil 4. 44. Yüzey aktif madde adsorpsiyonu ile ortalama kabarcık çapının değişimi

Karışım halinde kullanılan her iki yüzey aktif maddenin adsorplanan miktarlarındaki artış, ortalama kabarcık çapının artmasına neden olmaktadır. Yüzey aktif maddelerin adsorpsiyonu sonucu mineral parçacıkların yüzey özellikleri değişmektedir. Ayrıca kömür-su karışımının viskozitesindeki azalmaya bağlı olarak flotasyon hızı artmaktadır. Bu durumda drenaj için yeterli süre sağlanamadığından ayırma etkinliği azalmaktadır.

Şekil 4.45'de, ortalama kabarcık çapı ve kümülatif kalitenin zamanla değişimi verilmiştir. Regresyon ile bulunan eğri denklemlerinin ortak çözümü sonucunda ortalama kabarcık çapı ile konsantrelerin anlık kümülatif kalitesi arasındaki ilişki elde edilmiştir (Şekil 4. 46).

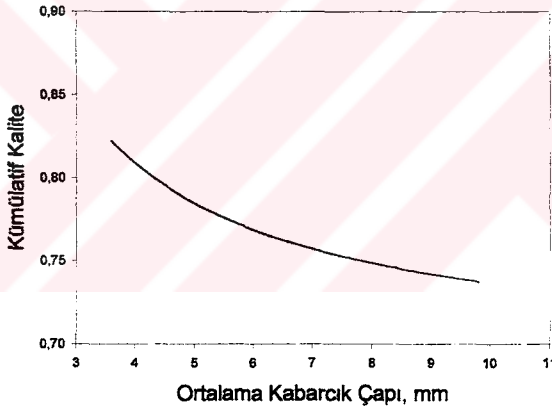


(a) Ortalama kabarcık çapının zamanla değişimi



(b) Kümülatif kalitenin zamanla değişimi

Şekil 4. 45. Ortalama kabarcık çapı ve kümülatif kalitenin zamanla değişimi



Şekil 4. 46. Ortalama kabarcık çapı ile kümülatif kalitenin değişimi

Şekil 4. 46'da görüldüğü gibi ortalama kabarcık çapının artması kümülatif kalitenin azalmasına neden olmaktadır. Bu ilişki köpük yapısının flotasyon performansını belirleyen önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇLAR

Kömürdeki mineral maddelerin uzaklaştırılmasında uygulanacak yöntem, kömürün kullanım amacına göre seçilmelidir. Kül içeriği çok düşük ürün elde edebilmek için ağır ortam ayırması tercih edilmelidir. Ancak yüksek geri kazanım için küresel yağ aglomerasyonu veya köpük flotasyonu uygulanmalıdır.

Köpük flotasyonu prosesinin ilk yatırım maliyeti yüksek olduğu halde işletim maliyeti oldukça düşüktür. Uygun koşullar sağlandığında, köpük flotasyonu ile kabul edilebilir kalite ve geri kazanım değerlerine ulaşılabilir.

Köpük flotasyonunda kullanılan yüzey aktif maddelerin başlangıç derişimi artırıldığında adsorplanan miktarları da artmıştır. Kömür parçacıklarına adsorplanan yüzey aktif madde miktarı arttıkça geri kazanım artma eğilimi gösterirken, kalite azalmıştır. Bu sonuç, yüksek yüzey aktif madde derişimlerinde, yüzey özelliklerinin değişmesi nedeniyle bazı mineral parçacıkların da flotasyona uğramasına ve ayırma etkinliğinin azalmasına bağlanmıştır.

Seçilen yüzey aktif maddeler belirli oranlarda MIBC ile karıştırılarak kullanılmıştır. Karışımındaki MIBC oranının artışı, kalitenin azalmasına ancak geri kazanımın artmasına neden olmuştur. Geri kazanımdaki bu iyileşme, MIBC'nin toplayıcı olarak etki ettiğini göstermektedir.

Flotasyonun başlangıcından itibaren yüzey aktif madde adsorpsiyonu incelenmiştir. Yüzey aktif madde adsorpsiyonunun büyük ölçüde ilk 30 s içerisinde gerçekleştiği ve zamanla arttığı belirlenmiştir. Kullanılan yüzey aktif maddelerin önemli bir kısmı adsorlandıktan, olgunlaşma süresi için 2 dk yeterli olmuştur.

Köpük flotasyonu deneylerinde belirli sürelerde oluşan köpüğün fotoğrafları çekilerek görüntü analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. RADIS 026 programı kullanılarak köpüğü oluşturan kabarcıkların ortalama çapları tespit edilmiştir. Flotasyon sırasında,

h lcredeki katı ve yüzey aktif madde miktarı sürekli olarak azaldığından, zamanla ortalama kabarcık çapının arttığı ve köpüğün kararsız hale geldiği gözlenmiştir.

 yonik olmayan Triton X-100 ve Brij-35 ile polihedral kabarcıklardan oluşan oldukça kararlı bir köpük elde edilmiştir. Buna bağlı olarak seçici bir ayırma gerçekleşmiş ve düşük kül içeriğine sahip konsantreler alınmıştır. MIBC kullanıldığında ise polihedral kabarcıklardan oluşan ancak kararsız yapıda k pt k elde edilmiştir. K p kteki   kme nedeniyle ayırma etkinliği azalmıştır. Anyonik bir yüzey aktif madde olan SDS ile k    k, küresel kabarcıklardan oluşan ve çabuk s nen, kararsız köpük elde edilmiştir. Bu köpük yapısında drenaj yetersiz olduğundan ürün k l içeriği yüksek, kalitesi d ş ktir. Buna göre polihedral k pt k yapısında ayırma seçiciliğinin arttığı ve iyi bir drenaj gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Köpük flotasyonu deneylerinde, başlangıçtan itibaren ayrılan konsantrelerin k l içeriğinin zamanla arttığı, buna bağlı olarak kümülatif kalitenin azaldığı belirlenmiştir.

Adsorplanan yüzey aktif madde miktarı, ortalama kabarcık çapı ve kümülatif kalite değerlerinin zamanla değişimi kullanılarak yüzey aktif madde adsorpsiyonu, köpük yapısı ve flotasyon performansı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yüzey aktif madde adsorpsiyonundaki artışın, ortalama kabarcık çapında artışa, kümülatif kalitede azalmaya neden olduğunu göstermiştir.

Köpük yapısı ve flotasyon performansı arasında kuvvetli bir bağıntı olduğu saptanmıştır. K pt k flotasyonunda kullanılan yüzey aktif maddelerin kömür yüzeyine adsorpsiyonu, köpük yapısını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, köpük flotasyonunda öncelikli olarak yüzey aktif madde seçilmeli ve miktarına karar verilmelidir.

Kömür parçacık boyutunun azalması sonucu toplam yüzey alanı artmıştır. Flotasyon deneylerinde sabit miktarda yüzey aktif madde kullanıldığından, birim yüzey alana adsorplanan yüzey aktif madde miktarı azalmıştır. Bu durumda kalite ve geri kazanımın oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.  nce kömür parçacıklarının flotasyon

performansında iyileşme sağlamak için yüzey aktif maddelerin başlangıç derişimi artırılmalıdır. Ayrıca toplayıcı özelliğe sahip olan MIBC ilavesi ile geri kazanımda artış sağlanabilir.

Hava akış hızının artırılması sonucunda flotasyon hızı artmıştır. Buna bağlı olarak yüzey aktif madde adsorpsiyonu azalmıştır. Köpüğü oluşturan kabarcıkların kısa sürede birleşerek sönmesi ve drenaj süresinin azalması nedeniyle ayırma seçiciliği azalmıştır.

Görüntü analizi, köpük flotasyonu için uygun bir kontrol yöntemidir. Köpük flotasyonunda hava akış hızı, parçacık boyutu, parçacık yüzey özellikleri, pH, hücredeki katı/su içeriği, vb. parametrelerin değiştirilmesi ve kontrol edilmesi oldukça güçtür. Ancak köpük yapısındaki değişimler izlenerek yüzey aktif madde miktarının ayarlanması mümkündür. Böylece flotasyon performansının kabul edilebilir değerlerde olması sağlanabilir.

Görüntü analizinde ortalama kabarcık çaplarının belirlenmesi amacıyla kullanılan RADIS 026 programı, laboratuvar ölçekli kesikli flotasyon deneyleri için başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak büyük ölçekli ve sürekli flotasyon sistemlerinin kontrolü için görüntü analizi on-line olarak gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle program geliştirilmeli ve sürekli sistemlere uyarlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abbott, J. and Miles, N. J. 1991. Smoothing and Interpolation of Float/Sink Data For Coals. *Minerals Engineering*, 4, ¾, 511-524.
- Abdelrahman, A. A., Brookes, G. F. 1987. An economic assessment of using surfactants in cleaning coal by the oil agglomeration method. *Energy Prog.*, 7 (1), 47-50.
- Ahmed, N. and Jameson, G. J. 1985. The effect of bubble size on the rate of flotation of fine particles. *International Journal of Mineral Processing*, 14, pp 195-215.
- Akdemir, Ü., Sönmez, İ. 2003. Investigation of coal and ash recovery and entrainment in flotation. *Fuel Processing Technology*, 82, 1-9.
- Aktaş, Z. 1993. The adsorption behaviour for non-ionic reagents on two low rank British coals and their influence on the froth structure and flotation performance. PhD Thesis, The Victoria University of Manchester.
- Aktaş, Z. 2002. Some factors affecting spherical oil agglomeration performance of coal fines. *Int. J. Miner. Process.*, 65, 177-190.
- Aktaş, Z., Woodburn, E.T. 1994. The Adsorption Behaviour of Nonionic Reagents on Two Low Rank British Coals. *Minerals Engineering*, 7(9); 1115-1126.
- Aktaş, Z., Woodburn, E. T. 1995. The effect of non-ionic reagent adsorption on the froth structure and flotation performance of two low rank British coals. *Powder Technology*, 1995, 83, 149-158.
- Aktaş, Z., Karacan, F. and Olcay, A. 1998. Centrifugal float-sink separation of fine Turkish coal in dense media. *Fuel Processing Technology*, 55, 235-250.
- Aldrich, C. and Feng, D. 2000. The Effect of Frothers On Bubble Size Distributions In Flotation Pulp Phases and Surface Froths. *Minerals Engineering*, Vol. 13, No. 10-1, pp 1049-1057.
- Alonso, M. I., Valdes, A. F., Tarazona, M. R. M., Garcia, A. B. 1999. Coal recovery from coal fines cleaning wastes by agglomeration with vegetable oils: effects of oil type and concentration. *Fuel*, 78, 753-759.
- Al Taweel, A. M., Delory, B. and Wozniczek, J. 1986. Influence of the surface characteristics of coal on its floatability. *Colloids and Surfaces*, 18, 9-18.
- Andrejka, M. J. and Cohen, A. D. 1984. Contribution of ash and silica from the major peat-producing plants in the Okefenokee swamp-marsh complex in the Okefenokee swamp. ed. A. D. Cohen. D. J. Casagrande, M. J. Andrejko and G. R. Best. *Wetland Survey*, Los Alamos, N. M., 575-592.
- Anthony, R. M., Kelsall, D. F. and Trahar, W. J. 1975. Effect of particle size on the activation and flotation of sphalerite. *Chem. Abstract*, Vol. 83, 1975, 101060; *Proc., Australas. Ins. Min. Metall.*, 1975, 254, 47-58.
- Ateşok, G. and Çelik, M. S. 2001. A new flotation scheme for a difficult-to-float coal using pitch additive in dry grinding. *Fuel*, 79, 1509-1513.
- Ayat, M. G. 1987. Composition of coal relative to its functionality and processability. *Mining Science and Technology*, 4, 105-112.
- Ayat, M. G. 1989. The effect of contact angle on the processability of coal by froth flotation. *Powder Handling & Processing*, Vol. 1, No.1, 117-121.
- Ayub, A.L., Roberts, S.L., Kwak, J.C.T. 1985. Surface properties of coal fines in water, II isotherms, elektrokinetics and chainlength dependance for cationic surfactant adsorption. *Coal preparation*, 1(2); 1-17.

- Banford, A. W. 1996. The Use Of Off-Line Image Analysis In assessing The effect Of Various Reagent Addition Strategies On The Performance Of Coal Flotation In a Batch Cell. PhD Thesis, The Victoria University of Manchester.
- Banford, A. W., Aktaş, Z. and Woodburn, E. T. 1998. Interpretation of the effect of froth structure on the performance of froth flotation using image analysis. *Powder Technology*, 98, 61-73.
- Barber, A. D. and Hartland, S. 1975. The Collapse Of Cellular Foams. *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, Vol. 53, pp 106-111.
- Barret, E. P., Joyner, L. G. and Halenda, P. H. 1951. The determination of pore volume and area distribution in porous substances: I. Computation from nitrogen isotherms. *J. Am. Chem. Soc.*, 73, 373.
- Bartsch, O. 1924. *Kolloidchem. Beihefte*, 20, 1-49.
- Baruah, M. K., Kotoky, P., Baruah, J., Bora, G. C., 2000. Cleaning of Indian coals by agglomeration with xylene and hexane. *Sep. Purif. Technol.*, 20, 235-241.
- Benett, A. S. R., Chapman, W. R. and Dell, C. C. 1958. Froth flotation of coal. *Chem. Abst.*, Vol. 54, 23260b, *Intern. Coal Prep. Congr.*, 3rd, Brussel-Liege, E2, pp 452-462.
- Berkowitz, N. 1979. *An Introduction to Coal Technology*. Chapter 2, 8. New York.
- Bikerman, J. J. 1953. *Foams, Theory and Industrial Applications*. Reinhold Publishing Corporation, N.Y.
- Bonner, C. M. and Aplan, F. F. 1993. The influence of reagent dosage on the floatability of pyrite during coal flotation. *Separation Science and Technology*, 28 (1-3), 747-764.
- Brown, A. G., Thuman, W. C, McBain, J. W. 1953. The surface viscosity of detergent solutions as a factor in foam stability.
- Brunauer, S., Deming, L. S., Deming, W. E. and Teller, E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Soc.*, 60, 309.
- Bujnowska, B. 1985. Studies on floatability of petrographic constituents of subbituminous coal. *Coal Preparation*, vol. 1, 169-188.
- Bustamante, H. and Warren, L. J. 1984. The joint effect of rank and grain size on the flotation of Australian bituminous coals. *International Journal of Mineral Processing*, 13, pp 13-28.
- Capes, C. E., Coleman, R. D., Thayer, W. L. 1985. Treatment of crude petroleum/water emulsions by agglomeration methods using fine coal. *Coal Prep.*, 1, 131-143.
- Capes, C. E. and Germain, R. J. 1982. Selective oil agglomeration in fine coal beneficiation, in *Physical cleaning of coal: Present and developing methods*. Liu, Y. A. (Ed.), Marcel Dekker Inc., NewYork, 293-351.
- Capes, C. E. and Jonasson, K. A. 1989. Application of oil-water wetting of coals in beneficiation, in: G. D. Botsaris, Y. M. Glazman (Eds.), *Interfacial Phenomena in Coal Technology*. Marcel Dekker, NewYork, pp 115-155, Chapter 4.
- Capes, C. E., McIlhinney, A. E., Russel, D. S., Sirianni, A. F. 1974. Rejection of trace metals from coal during beneficiation by agglomeration. *Environ. Sci. Technol.*, 8, 35-38.
- Cebeci, Y. and Eroğlu, N. 1998. Determination of bridging liquid type in oil agglomeration of lignites. *Fuel*, 77 (5), 419-424.
- Chadra, D., Roy, P., Mishra, A. K., Chakrabarti, J. N. and Sengupta, B. 1979. Microbial removal of organic sulphur from coal. *Fuel*, 58, 549-550.

- Citir, C., Aktaş, Z., Berber, R. 2003. Off-line Image Analysis for Froth Flotation of Coal. European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE)-13, Lappeenranta, Finland, A. Kraslawski and I. Turunen (Ed.), pp. 605-610, Elsevier Science B. V.
- Clunie, J. S. and Ingram, B. T. 1983. In adsorption From Solution at the solid/Liquid Interface (Eds. Parfitt, G. D. and Rochester, C. H.). Academic Press, London, pp 105-152.
- Collins, G.L., Jameson, G.J. 1972. Experiments on the flotation of fine particles. The influence of particle size and charge. Colloid and Surface Chemistry Pure App. Chem., 31, 578.
- Crawford, R.J., Mainwaring, D.E. 2001. The influence of surfactant adsorption on the surface characterisation of Australian coals. Fuel, 80; 313-320.
- Cutting, G. W., Barber, S. P., Newton, S. 1986. Effects of froth structure and mobility on the performance and simulation of continuously operated flotation cells. Int. J. Miner. Process., Vol. 16, n 1-2, pp 43-61.
- Çilek, E. C., Yilmazer, B. Z. 2003. Effects of hydrodynamic parameters on entrainment and flotation performance. Minerals Engineering, 16, 745-756.
- Davis, A., Russell, S. J., Rimmer, S. M. and Yaekel, J. D. 1984. Some genetic implications of silica and alumina-silicates in peat and coal. Int. J. Coal Geol., 3,293-314.
- Denby, B., Elverson, C., Hal, S. 2002. The use of short chain volatile fatty acids in fine coal preparation. Fuel, 81, 595-603.
- Digre, M. and Sandvik, K. L. 1968. Adsorption of amine on quartz through bubble interaction, Trans. Inst. Mining. Met., 77, C61.
- Dippenaar, A. 1982 (a). , The destabilization of froth by solids. I. The mechanism of film rupture. Int. J. Miner. Process., 9, pp 1-14.
- Dippenaar, A. 1982 (b). , The destabilization of froth by solids. II. The rate determining step. Int. J. Miner. Process., 9, pp 15-27.
- Drykacz, G. R., Bloomquist, C. A. A., Ruscic, L. 1984 (a). Chemical Variations in Coal Macerals Separated by Density Gradient Centrifugation. Fuel 63, August, 1166-1173.
- Drykacz, G. R., Bloomquist, C. A. A., Ruscic, L. 1984 (b). High-Resolution Density Variations of Coal Macerals. Fuel, 63, October, 1367-1373.
- Drykacz, G. R., Bloomquist, C. A. A., Ruscic, L. and Crelling, J. C. 1991. An Investigation of Vitrinite Maceral Group in Microlithotypes Using Density Gradient Centrifugation Methods. Energy&Fuels, 5, 155-163.
- Drykacz, G. R. and Horwitz, E. P. 1982. Separation of Coal Macerals. Fuel, 61, January, 3-12.
- Drykacz, G. R. and Ruscic, L. 1992. An Investigation Into the Process of Centrifugal Sink/Float Separations of Micronized Coals. 2. Multiple Fractionation of Single Coal Samples. Energy&Fuels, 6, 743-752.
- Drykacz, G. R., Ruscic, L. and Fredericks, J. 1992. An Investigation Into the Process of Centrifugal Sink/Float Separations of Micronized Coals. 1. Some Inferences for Coal Maceral Separation. Energy&Fuels, 6, 720-742.
- Dubinin, M.M. 1960. The potential theory of adsorption of gases and vapors for adsorbents with energetically nonuniform surfaces. Chemical Reviews, 60; 235-241.

- Dugan, P. R. and Apel, W. A. 1978. Microbial desulfurization of coal, in: metallurgical applications of bacterial leaching and related microbiological phenomena. Torma, L.E. and Bierley, J.A. (Ed.), Academic Press, 223-250, New York.
- Durie, R. A. 1961. The inorganic constituents in Australian coals III. Morwell and Yallourn brown coals. Fuel, London, Vol. 40, pp 407-422.
- Edgecombe, L. J. and Manning, A. B. 1952. Origin and nature of ash; sampling and analysis. Journal of the Institute of Fuel, 25, pp 166-170.
- Elliott, M. A. 1981. Chemistry of Coal Utilization. 2nd Supplementary Volume, John Wiley & Sons, N.Y.
- Ely, F. G. and Barnhart, D. H. 1963. In Chemistry of Coal Utilisation (Ed. Lowry, H.H.). Supplementary Volume, Wiley, New York, Chapter 19, pp 820-891.
- Engel, M. D. and Smitham, J. B. 1988. The relationship between coal particle size and hydrophobicity in the formation of particle-stabilised froths. The AusIMM Bulletin and Proceedings, Vol.293, No. 4, 63-66.
- Erdik, E., Obalı, M., Yüksekşık, N., Öktemer, A., Pekel, T., İnsanoğlu, E. 2000. Denel Organik Kimya (Redaksiyon Erdik, E.), AÜFF Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No. 44, Ankara.
- Erol, M., Çolduroğlu, F. Ç., Aktaş, Z. 2003. The effect of reagents and reagent mixtures on froth flotation of coal fines. Int. J. Miner. Process., 71, 131-145.
- Eskenazy, G. 1970. Adsorption of beryllium on peat and coals. Fuel, 49, 61-67.
- Esumi, K., Meguro, K., Honda, H. 1982. Adsorption of Surface Active Agents on Coals. Bull. Chem. Soc., 55(9); 3021-3022.
- Flynn, S. A. and Woodburn, E. T. 1987. A froth ultra-fine model for the selective separation of coal from mineral in a dispersed air flotation cell. Powder Technology, 49, 127-142.
- Fowkes, F.M. 1987. Role of acid-base interfacial bonding in adhesion. Adhesion Sci. Tech., 1(1); 7-27.
- Gala, H.B., Chiang, S.H., Kuzing, G.E., Tierney, J.W. 1983. Effect of surfactant adsorption to the hydrophobicity of fine coal. Int. Conf. On Coal Sci., 260-263.
- Gandolfi, E. A., Papachristodoulou, G. and Trass, O. 1984. Preparation of coal slurry fuel with the Szego mill. Powder Technology, 40, 269-282.
- Garcia, A. B., Tarazona, M. R. M., Vega, J. M. G. 1996. Cleaning of Spanish high-rank coals by agglomeration with vegetable oils. Fuel, 77 (5), 885-890.
- Garcia, A. B., Tarazona, M. R. M., Vega, J. M. G., Wheelock, T. D., 1998. On the role of oil wetting in the cleaning of high rank coals by agglomeration. Fuel, 77 (5), 387-392.
- Gaudin, A. M. 1932. Flotation. 1st ed., McGrawHill, New York.
- Gaudin, A. M. 1957. Flotation. 2nd ed., McGrawHill, New York.
- Giles, C.H., D'silva, A.P., Easton, L.A. 1974. A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm Part II. Experimental Interpretation. Journal of Colloid and Interface Science, 47(3); 766-778.
- Given, P. H. 1960. Fuel, 39; 147.
- Given, P. H. and Miller, R. N. 1987. The association of major, minor and trace element profiles in four seams. III The trace elements in four lignite's and general discussion of the results of the whole study. Geochim. Cosmochim. ACTA, 51, 1843-1853.

- Glass, A.S., Wenger, E.K. 1998. Surface Thermodynamics for Polar Adsorbates on Wyodak Coals. *Energy & Fuels*, 12; 152-158.
- Glembotskii, V. A. 1972. *Flotation*. McGraw Hill, New York.
- Glick, D. C. and Davis, A. 1987. Variability in the inorganic element content of US coal including results of cluster analysis. *Organic Geochemical*, 11, 331-342.
- Gorbaty, M. L., Larsen, J. W. , Wender, I. 1983. *Coal Science*. Volume 2, Academic Press, 2-25, 47-48. New York.
- Gourram-Badri, F., Conil, P., Morizot, G. 1997. Measurements of selectivity due to coalescence between two mineralized bubbles and characterization of MIBC action on froth flotation. *Int. J. Miner. Process.*, 51, 197-208.
- Gökçay, C. F. and Yurteri, R. N. 1983. Microbial desulfurization of lignites by a thermophilic bacterium. *Fuel*, 62, 1223-1224.
- Grady, W. C. and Muter, R. B. 1979. Bacterial removal of sulphur from coal; in: *Coal Preparation*. Leonard, J.W. Ed., 4th edition, Am. Inst. Mining, Metallurgical and Petroleum Eng., 20-43-20-45, New York.
- Grounds, A. and Wandless, A. M. 1952. The mineral matter in coal and its relation to coal-preparation problems. *Journal of the Institute of Fuel*, 25, pp 170-177.
- Gutwald, S. and Mersmann, A. 1997. Bubble growth in secondary foams. *Chem. Eng. Tech.*, 20, 293-296.
- Güleç, C. 1999. Küresel Yağ Aglomerasyonu Tekniği İle Kömürden Mineral Madde Uzaklaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bil. Ens., Ankara.
- Gürses, A., Bayrakçeken, S., Doymuş, K., Güllaboğlu, M.S. 1995. Adsorption of CTAB at lignite-aqueous solution interface. *Fuel Processing Technology*, 45; 75-84.
- Hargrave, J. M., Hall, S. T. 1997. Diagnosis of concentrate grade and mass flowrate in tin flotation from colour and surface texture analysis. *Minerals Engineering*, 10 (6), 613-621.
- Harris, P. J. 1982. Frothing phenomena and frothers. In: *Principles of Flotation* (Ed. King, R. P.), Inst. Min. Metall., Mammography Ser., pp 237-250.
- Hartland, S. and Barber, A. D. 1974. A model for a cellular foam. *Trans. Inst. Chem. Engrs.*, 52, 43-52.
- Holtham, P. N., Nguyen, K. K. 2002. On-line analysis of froth surface in coal and mineral flotation using JKFrothCam. *Int. J. Miner. Process.*, 64, 163-180.
- Jia, R., Harris, H. G. and Fuerstenau, D. W. 2000. An improved class of universal collectors for the flotation of oxidized and/or low rank coal. *Int. J. Mineral Processing*, 58, 99-118.
- Joseph, J. T. and Forrai, T. R. 1992. Effect of exchangeable cations on liquefaction of low rank coals. *Fuel*, 71, 75-80.
- Karatepe, N. 2003. Adsorption of a non-ionic dispersant on lignite particle surfaces. *Energy Conversion and Management*, 44, 1275-1284.
- Karner, F. R., Benson, S. A., Schobert, H. H. and Roaldson R. G. 1984. Geochemical variation of inorganic constituents in a North Dacoto lignite, in the chemistry of low rank coals ed. H.H. Schobert. *Amer. Chem. Soc. Symp. Ser.*: 264, 175-194.
- Karşılayan, H., Afşar, H., Yanıç, C. and Yılmaz, N. 1992. A study of the flotation of oxidized Amasra coal. *Fuel Science and Technology International*, 10 (10), 1641-1651.

- Kawashima, Y., Hande, T., Takeuchi, H., Niwa, T., Niwa, K., Sunada, H., Otsuka, A. 1989. Computer simulation of agglomeration by a two-dimensional random addition model-agglomeration kinetics and micromeritic properties of agglomerate accompanied by compaction process. *Powder Technol.*, 57, 157-163.
- Kirk, R. E. and Othmer, D. F. 1951. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol.6, 772-778, N.Y.
- Klassen, V. I. and Mokrousov, V. A. 1963. *An Introduction to the Theory of Flotation*. Butterworth, London.
- Klimpel, R. R. and Hansen, R. D. 1987. *Chemistry of Fine Coal Flotation, Fine Coal Processing*. Edited by S. K. Mishra and R. R. Klimpel, Ch. 4, 78-109, Noyes Data Corporation, noyes Publications.
- Kohler, J. L., Sottile, J. and Placha, D. 1987. Process Control of heavy-media system for coal-preparation plants. *IEEE Transaction on Industry Application*, IA-23(2), 382-388.
- Kural, O. (ed.). 1991. *Kömür. İstanbul*.
- Laplane, A. R., Toguri, J. M. and Smith, H. W. 1983. The effect of air flow rate on the kinetics of flotation. Part 1: The transfer of material from the slurry to the froth. *International Journal of Mineral Processing*, 11, pp 203-209.
- Law, J. P. and Kunze, G.W. 1966. Reactions of surfactants with montmorillonite: adsorption mechanisms. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30(3); 321-327.
- Livhits, A. K. and Dudenkov, S. V. 1965. Some factors in flotation froth stability. *Proc. VIIth Int. Mineral Processing Congress*, New York, 367-371.
- Lowry, H. H. (ed.). 1963. *Chemistry of Coal Utilization*. Sup. Vol. , John Wiley & Sons Inc, 220-231, 822, 1097-1098, New York.
- McKee, D. 1990. Control of flotation circuits. *AMMTEC-CSIRO Flotation Colloquium*, Perth, 22 February.
- Meyers, R. A. 1977. Coal desulfurization. *Marcel Deckker Inc.*, 187-191.
- Miller, R. N. 1977. A geochemical study of the inorganic constituents in some low rank coals. PhD Thesis, Pennsylvania State University, University Park, 67-68.
- Miller, R. N. and Given, P. H. 1986. The association of major, minor and trace inorganic elements with lignite's. *Experimental Approach and Study of a North Dakota Lignite*, *Geochim. Cosmochim ACTA*, 50, 2033-2044.
- Mishra, S. K., Kanungo, S. B. and Rajeev. 2003. Adsorption of sodium dodecyl benzenesulfonate onto coal. *Journal of Colloid and Interface Science*, 267, 42-48.
- Moolman, D. W., Aldrich, C., Schmitz, G. P. J., Van Deventer, J. S. J. 1996. The interrelationship between surface froth characteristics and industrial flotation performance, *Minerals Engineering*, 9, (8), 837-854.
- Moxon, N. T. and Keast-Jones, R. 1986. The effect of collector emulsification using non-ionic surfactants on the flotation of coarse coal particles. *International Journal of Mineral Processing*, 18, 21-32.
- Myers, D. 1988. *Surfactant Science and Technology*. VCH Publishers.
- Neavel, R. C. 1981. In *Chemistry of Coal Utilisation* (Ed. Elliot, M.A.). Second Supplementary Volume, Chapter 3, pp 91-158.
- O'Connell, W. L. 1963. *Transactions. Society of Mining Engineers*, 126-132.
- Ottewill, R. H. 1984. In *Surfactants* (Ed. Tadros, Th. F.), Academic Press, London, pp 1-18.

- Özbayoglu, G. and Mamurekli, M. 1994. Super-Clean Coal Production From Turkish Bituminous Coal. *Fuel*, 73, 1221-1223.
- Parks, B. C. , 1952. 2nd Conf. On Origin and Constitution of Coal. Crystal Cliffs, Nova Scotia, 272-284.
- Perry, R.W.and Aplan, F.F. 1988. Adsorption of polysaccharides and related compounds onto coal their effect on the flotation of coal and pyrite. *Separation Science and Technology*, 23(12813); 2097-2112.
- Petela, R., Ignasiak, B., Pawlak, W. 1995. Selective agglomeration of coal: analysis of laboratory batch test results. *Fuel*, 74 (8), 1200-1210.
- Pope, M. I. and Sutton, D. I. 1971. Collector Adsorption During Froth Flotation. *Powder Technology*, 5, 101-104.
- Pryor, E. J. 1965. *Mineral Processing*. 3rd edn., Elsevier, Amsterdam.
- Rhodes, D. and Miles, N. J. 1991. Fine Coal Characterisation., *Minerals Engineering*, 4, ¼, 503-510.
- Rincon, J. M., Cruz, S. 1988. Influence of pre-swelling on liquefaction of coal. *Fuel*, 67; 1162.
- Rodrigues, R. T., Rubio, J. 2003. New basis for measuring the size distribution of bubbles. *Minerals Engineering*, 16, 757-765.
- Rosen, M. J. 1989. *Surfactants and Interfacial Phenomena*. Second Edition, John Wiley&Sons.
- Rosenbaum, J. M. and Fuerstenau, D. W. 1982. Beneficiation of fine Western coal by froth flotation. *The American Institute of Chemical Engineers (Symposium Series)*, 19-28.
- Sadr-Kazemi, N. and Cilliers, J. J. 1997. An Image Processing Algorithm For Measurement of Flotation Froth Bubble Size and Shape Distributions. *Minerals Engineering*, Vol. 10, pp. 1075-1083.
- Sarikaya, Y. 1993. *Fizikokimya*. Gazi Büro Kitabevi, 633-649.
- Shinn, J. H. 1984. From coal to single-stage and two-stage products: A reactive model of coal structure. *Fuel*, 63, 1187.
- Shrauti, S. M., Arnold, D. W. 1995. Recovery of waste fine coal by oil agglomeration. *Fuel*, 74 (3), 459-465.
- Silverman, M. P., Rogoff, M.H. and Wender, I. 1963. Removal of pyritic sulphur from coal by bacterial action. *Fuel*, 42, 113-124.
- Singh, B.P., Besra, L., Reddy, P.S.R., Sengupta, D.K. 1998. Use of surfactants to aid the dewatering of fine clean coal. *Fuel*, 77(2); 1349-1356.
- Sis, H., Ozbayoglu, G., Sarikaya, M. 2003. Comparison of non-ionic and ionic collectors in the flotation of coal fines. *Minerals Engineering*, 16, 399-401.
- Slaghuis, J. H., Ferreira, L. C. 1987. Selective spherical agglomeration of coal. *Fuel*, 66, 1427-1430.
- Snyder, L.R. 1968. Interactions responsible for the selective adsorption of nonionic organic compounds on alumina. Comparisons with adsorption on silica. *The Journal of Physical Chemistry*, 72(2); 489-494.
- Solomon, P. R. 1981. *New Approaches in Coal Chemistry Symposium Series 169*, American Chemical Society, Washington DC; 61.
- Somasundaran, P., Roberts, C. E. and Ramesh, R. 1991. Effect of oxidizing methods on the flotation of coal. *Minerals Engineering*, Vol. 4, No.1, 43-48.

- Sripriya, R., Rao, P. V. T., Choudhury, B. R. 2003. Optimisation of operating variables of fine coal flotation using a combination of modified flotation parameters and statistical techniques. *Int. J. Miner. Process.*, 68, 109-127.
- Stach, E., Mackowsky, M.Th., Teichmüller, M., Taylor, G. H. and Teichmüller, R. 1975. *Stach's Textbook of Victoria University of Manchester, Chem. Eng. Dept., Manchester, UK.*
- Steedman, W. G., Krishnan, S. V. 1987. Oil agglomeration process for the treatment of fine coal, in: S. K. Mishra, R. R. Klimpel (Eds.). *Fine Coal Processing*, Dow Chemical, Midland, MI, pp 179-204, Chapter 8.
- Stockton, J. B. 1989. The effect of froth structure on flotation kinetics and selectivity. PhD Thesis, Victoria University of Manchester, Chemical Engineering Dept., Manchester, UK.
- Subrahmanyam, T. V. and Forssberg, E. 1988. Froth stability, particle entrainment and drainage in flotation: A review. *International Journal of Mineral Processing*, 23, pp. 33-53.
- Sun, S. C. and McMorris III, W. L. 1959. Factors affecting the cleaning of fine coals by the converal process. *Min. Eng. Nov.*, 1151-1156.
- Szatkowski, M. and Freyberger, W. L. 1985. Kinetics of flotation with fine bubbles. *Trans. Inst. Min. Metall., Section C*, 94, pp. C61-C70.
- Tarasevich, Y.I. 2001. Porous structure and adsorption properties of natural porous coal. *Colloids and Surfaces A*, 176; 267-272.
- Trahar, W. J. 1976. The selective flotation of galena from sphalerite with special reference to the effects of particle size. *Chem. Abst.*, Vol. 85, 1976,85: 146180 k; *J. Miner. Process.*, 1976, 3(2), 151-166.
- Trahar, W. J. 1981. A rational interpretation of the role particle size in flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 8, 289-327.
- Trass, O. and McCracken, T. 1985. Grinding and oil agglomeration of coal in the Szego mill. *Pro. Fourth Int. symp. on agglomeration*, Capes, c. E. ed., pp 891-897, Toronto Ont.
- Tsai, S. C. 1985. Effects of surfactant chemistry and particle size and density on froth flotation of fine coal. *Colloids and Surfaces*, 16, 323-336.
- Tsai, S. C. 1988. Staged flotation of fine coal and the effects of mineral size and distribution. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 27, 1669-1674.
- Tursun, U. D. 2002. *Organik Bileşiklerin Farklı Adsorbentlere Adsorbsiyon Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bil. Ens., Ankara.*
- Ünal, İ. 1999. *Kömürün yağ aglomerasyonu ve ekstraksiyon çarının iyileştirilmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bil. Ens., Ankara.*
- Ünal, İ., Aktaş, Z. 2001. Effect of various bridging liquids on coal fines agglomeration performance. *Fuel Processing Technology*, 69, 141-155.
- Valkovic, V. 1983. *Trace Elements in Coal. II- Trace Elements*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Vamvuka, D. and Agridiotis, V. 2001. The effect of chemical reagents on lignite flotation. *Int. J. Mineral Processing*, 61, 209-224.
- Vanangamudi, M., Surya Kumar, S., and Rao, T. C. 1989. Effect of fines content on the froth flotation of coal. *Powder Technology*, 58, pp 99-105.
- Van Krevelen, D. W. , 1965. *Fuel*, 44, 229.

- Ventura-Medina, E., Cilliers, J. J. 2002. A model to describe flotation performance based on physics of foams and froth image analysis. *Int. J. Miner. Process.*, 67, 79-99.
- Volsicky, Z., Puncmanova, J., Hasek, V. and Spacek, F. 1976. Bacteriological leaching out of finally intergrown sulphur in coal: method and features. Presented at International Coal Preparation Con.
- Wakamatsu, T., Fuerstenau, D.W. 1968. In Adsorption from aqueous solution. American Chem. Soc., Washington DC, 161-172.
- Weelock, T. D., Milana, G., Vettor, A. 1994. The role of air in oil agglomeration of coal at a moderate shear rate. *Fuel*, 73 (7), 1103-1107.
- Wen, C. Y. and Lee, S. E. 1979. *Coal Conversion Technology*, Addison-Wesley Company. Inc. Canada, ISBN 0-201-08300-0.
- Wender, I. 1976. Catalytic synthesis of chemicals from coal. *Catalysis Reviews-Science and Engineering*, 14, 1.
- Whitehurst, D. D. 1978. Organic chemistry of coal ACS Symposium Series, 71, Washington.
- Wójcik, W., Jaficzuk, B. and Białopiotrowicz, T. 1989. Correlation between flotation activity of coal, the contact angle and stability of the coal/ n-alkane film-air bubble-water system. *The Chemical Engineering Journal*, 42, 63-67.
- Wójcik, W., Jaficzuk, B. and Białopiotrowicz, T. 1990. The influence of an apolar collector on the contact angle detachment force and work of adhesion to the coal surface in agglomeration flotation of a low rank coal. *Fuel*, vol. 69, 207-210.
- Woodburn, E. T. 1983. Some Observations on the Utility of Separation Measures in Coal Flotation Tests. *The Chemical Engineering Journal*, 27, 113-115.
- Woodburn, E. T., Flynn, S. A., Cressey, B. A. and Cressey, G. 1984. The effect of froth stability on the beneficiation of low-rank coal by flotation. *Powder Tech.*, 40, pp 167-177.
- Woodburn, E. T., Austin, L. G. and Stockton, J. B. 1994. A froth based flotation kinetic model. *Trans. IChemE*, Vol. 72, Part A, 211-226.
- Wright, A. 1984. Magnetite recovery systems for heavy-media cleaning circuits. *Coal Age*, July, 89, 58-61.
- Yoon, R. H., Adel, G. T. and Luttrell, G. H. 1987. Development of Microbubble Column Flotation Process. *Processing and Utilization of High Sulphur Coals II*, Yoginder P. Chugh and Rodney D. Caudle Editors, Elsevier science Publishing Company Inc.
- Zervent, R. 2003. Ön İşlem Görmüş Türk Kömürlerinin Mikroalgalar Enerji İle Sıvılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bil. Ens., Ankara.

E K L E R

- Ek 1. Adsorpsiyon/Desorpsiyon İzotermi ve Gözenek Boyut Dağılımı Verileri
- Ek 2. Karıştırma Ünitesinin Kalibrasyon Grafiği
- Ek 3. ROTA L 10/400-9209 Rotametesinin Kalibrasyon Grafiği
- Ek 4. Deney TM2’de Elde Edilen Konsantr ve Atık Fraksiyonların Parçacık Boyut Parametreleri
- Ek 5. Yüzey Aktif Madde Değişimlerinin Hesaplanması
- Ek 6. Köpük Flotasyonu Deney Verilerinin Değerlendirilmesi
- Ek 7. Triton X-100 ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri
- Ek 8. Brij-35 ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri
- Ek 9. MIBC ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri
- Ek 10. SDS ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri
- Ek 11. Triton X-100 ve MIBC Karışımı ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri
- Ek 12. Brij-35 ve MIBC Karışımı ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri
- Ek 13. SDS ve MIBC Karışımı ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri
- Ek 14. Farklı Boyut Dağılımına Sahip Kömür Örnekleri ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri
- Ek 15. Hava Akış Hızı Değişimi ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri
- Ek 16. Köpük Flotasyonu Deney Sistemi

Ek 1. Adsorpsiyon/Desorpsiyon İzotermi ve Gözenek Boyut Dağılımı Verileri

Çizelge E.1.1. Orijinal kömür örneğinin azot adsorpsiyon ve desorpsiyon izoterm verileri

ADSORPSİYON	
Bağıl Basınç, P/P_0	Hacim [cc/g] STP
0,0559	0,8612
0,1166	0,9842
0,1771	1,0847
0,2380	1,1793
0,2987	1,2716
0,4133	1,4546
0,5293	1,6680
0,6420	1,9170
0,7632	2,2982
0,8798	2,9322
0,9901	4,5624

DESORPSİYON	
Bağıl Basınç, P/P_0	Hacim [cc/g] STP
0,9901	4,5624
0,9349	3,7710
0,8799	3,2543
0,8310	3,1741
0,7811	2,9112
0,7290	2,7327
0,6757	2,5742
0,6238	2,4079
0,5714	2,2795
0,5180	2,1478
0,4653	1,9649
0,4120	1,8221
0,3588	1,6888
0,3065	1,5506
0,2534	1,4030
0,2007	1,2512

Çizelge E.1.2. İnce kömür örneğinin azot adsorpsiyon ve desorpsiyon izoterm verileri

ADSORPSİYON	
Bağıl Basınç, P/P_0	Hacim [cc/g] STP
0,0590	1,6709
0,1180	1,9128
0,1780	2,1031
0,2381	2,2799
0,2983	2,4450
0,4122	2,7621
0,5278	3,1336
0,6414	3,5804
0,7609	4,2627
0,8771	5,4173
0,9914	8,9696

DESORPSİYON	
Bağıl Basınç, P/P_0	Hacim [cc/g] STP
0,9914	8,9696
0,9417	7,2308
0,8842	6,1307
0,8360	5,7975
0,7738	5,2177
0,7277	4,9167
0,6761	4,6221
0,6237	4,3617
0,5719	4,1248
0,5191	3,8937
0,4661	3,5823
0,4126	3,3600
0,3593	3,1420
0,3070	2,9292
0,2542	2,6986
0,2014	2,4595

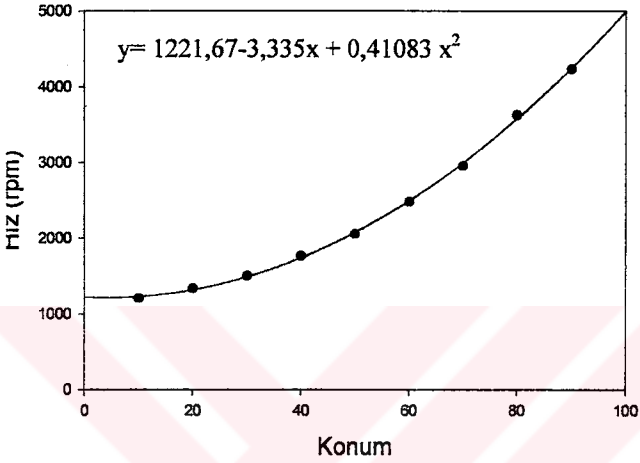
Çizelge E.1.3. Orijinal kömür örneğinin gözenek boyut dağılımı verileri

Çap (Å)	Gözenek Hacmi [cc/g]	Gözenek yüzey alanı [m ² /g]	D _v (d) [cc/Å/g]	D _s (d) [m ² /Å/g]	D _v (log d) [cc/g]	D _s (log d) [m ² /g]
21,90	0,0003661	0,669	0,0001365	0,2493	0,006874	12,55
24,70	0,0007289	1,256	0,0001247	0,2020	0,007085	11,48
27,73	0,001063	1,738	0,0001056	0,1524	0,006738	9,719
31,13	0,001376	2,140	0,00008620	0,1108	0,006171	7,930
35,05	0,001719	2,532	0,00008156	0,09310	0,006574	7,503
39,60	0,002196	3,014	0,00009712	0,09808	0,008845	8,933
45,08	0,002497	3,281	0,00004980	0,04419	0,005162	4,580
51,80	0,002779	3,499	0,00003816	0,02947	0,004544	3,509
60,22	0,003161	3,752	0,00004047	0,02688	0,005600	3,720
71,52	0,003504	3,944	0,00002608	0,01459	0,004283	2,395
87,39	0,003884	4,118	0,00002041	0,009341	0,004090	1,872
110,62	0,004448	4,322	0,00002023	0,007316	0,005127	1,854
148,94	0,004580	4,358	0,000002715	0,0007292	0,0009227	0,2478
242,51	0,005555	4,518	0,000007039	0,001161	0,003821	0,6303
1129,28	0,006838	4,564	0,0000007849	0,00002780	0,001613	0,05714

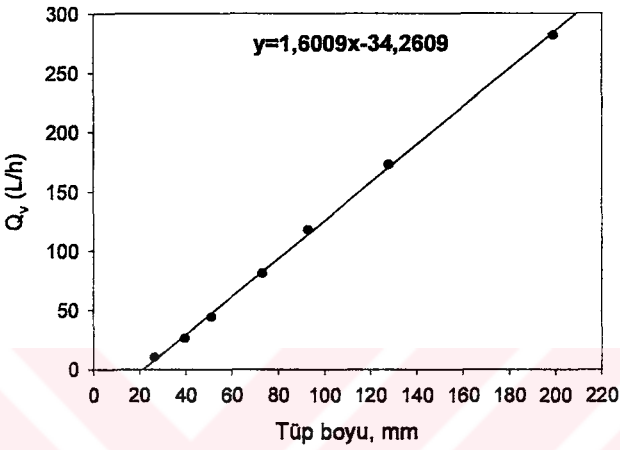
Çizelge E.1.4. İnce kömür örneğinin gözenek boyut dağılımı verileri

Çap (Å)	Gözenek Hacmi [cc/g]	Gözenek yüzey alanı [m ² /g]	D _v (d) [cc/Å/g]	D _s (d) [m ² /Å/g]	D _v (log d) [cc/g]	D _s (log d) [m ² /g]
21,93	0,0005485	1,000	0,0002040	0,3720	0,01029	18,76
24,73	0,001085	1,868	0,0001849	0,2991	0,01052	17,01
27,76	0,001561	2,553	0,0001503	0,2165	0,009597	13,83
31,17	0,002048	3,179	0,0001339	0,1718	0,009596	12,32
35,11	0,002541	3,741	0,0001164	0,1326	0,009396	10,71
39,70	0,003332	4,538	0,0001599	0,1611	0,01459	14,71
45,17	0,003847	4,993	0,00008579	0,07597	0,008910	7,890
51,82	0,004363	5,392	0,00007067	0,05454	0,008419	6,498
60,25	0,004923	5,763	0,00005864	0,03893	0,008118	5,389
71,37	0,005550	6,115	0,00004943	0,02770	0,008101	4,540
85,65	0,006181	6,410	0,00003973	0,01856	0,007814	3,649
110,94	0,007392	6,847	0,00003490	0,01258	0,008843	3,188
153,88	0,008020	7,010	0,00001227	0,003189	0,004306	1,119
262,83	0,01006	7,321	0,00001226	0,001865	0,007162	1,090
1297,01	0,01287	7,407	0,000001474	0,00004546	0,003450	0,1064

Ek 2. Karıştırma Ünitesinin Kalibrasyon Grafiği



Ek 3. ROTA L 10/400-9209 Rotamettesinin Kalibrasyon Grafiği



Deney TM2’de Elde Edilen Konsantre ve Atık Fraksiyonların Parçacık Boyut Parametreleri

	d(0.1)	d(0.2)	d(0.5)	d(0.8)	d(0.9)	Spesifik yüzey alanı (m ² /g)
Konsantre 1	3,966	6,845	17,089	34,604	46,166	0,487
Konsantre 2	3,914	6,903	17,842	36,041	47,939	0,485
Konsantre 3	3,652	6,529	17,549	35,423	46,644	0,506
Konsantre 4	3,409	6,361	18,363	36,992	48,562	0,524
Konsantre 5	3,210	6,005	17,832	36,442	47,925	0,549
Atık	2,235	4,213	16,145	36,559	48,820	0,699

Not: d(0.1), d(0.2), d(0.5), d(0.8), d(0.9): % 10, % 20, % 50, % 80, % 90 noktalarındaki parçacık çapları

Ek 5. Yüzey Aktif Madde Derişimlerinin Hesaplanması

Zonguldak bitümlü kömürünün köpük flotasyonu deneyleri, hücredeki süspansiyon derişimi %5 (ağ) olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. 30 g kömür için 570 mL damıtık su kullanılmıştır.

Kullanılan yüzey aktif maddelerin molekül ağırlıkları (MA):

Triton X-100: 694

Brij-35: 362,55

MIBC: 102,18

SDS: 288,38

Yüzey Aktif Madde Derişimi: 1 mg/ g kömür

$$1 \frac{mg}{g.kömür} = 1 \frac{mg}{g.kömür} * \frac{30g.kömür}{570.10^{-3} L} = 52,6316 \frac{mg}{L} = 52,6316 ppm$$

$$1 \frac{mg}{g.kömür} = 1 \frac{mg}{g.kömür} * \frac{1mmol}{(MA).mg} * \frac{1000 \mu mol}{1mmol} = \frac{1000}{(MA)} \frac{\mu mol}{g.kömür}$$

Ek 6. Köpük Flotasyonu Deney Verilerinin Değerlendirilmesi

Köpük flotasyonu deney sonuç çizelgeleri, hazırlanan bir MS Excel programı yardımıyla oluşturulmuştur. Deney TM 2 için örnek hesaplama aşağıda verilmiştir.

Kömür örneği: Orijinal, -53 μ m

Kül (%): 23,947 = K

Nem (%): 0,88 = N

Toplam Kömür Besleme (g): 30

Kuru Kömür Besleme (g): 29,74 =A

Kuru-Külsüz Kömür Besleme (g): 22,556 =B

Su Besleme (g): 570

Toplam Su Miktarı (g): = (570)+(30*0,0088) =570,26 =C

Kullanılan yüzey aktif madde: Triton X-100 ve MIBC karışımı

Toplam başlangıç yüzey aktif madde miktarı: 0,9 mg/g kömür (%5 MIBC)

(0,045 mg MIBC/g kömür + 0,855 mg Triton X-100/g kömür)

Hava Akış Hızı (L/ dk): 2,1

İslatma Süresi (dk): 1

Adsorpsiyon Süresi (dk): 2

Köpük flotasyonu işlemi sonunda elde edilen deney verileri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Konsantre No.	ZAMAN, s	M ₁ , g	M ₂ , g	KÜL, %
1	38	14,01	3,75	6
2	50	12,74	3,47	6
3	84	17,48	5,08	6,5
4	169	9,25	2,75	7,5
5	-	13,27	6,05	8
ATIK	-	-	8,64	62,5

M₁ : Konsantre sulu tartım (g), M₂ : Konsantre kuru tartım (g)

Ek 6 (devam)

[1] KÜMÜLATİF KATI GERİ KAZANIMI (g) = ΣM_2

3,75

3,75+3,47=7,22

3,75+3,47+7,22=12,3

3,75+3,47+7,22+12,3=15,05

3,75+3,47+7,22+12,3+15,05=21,1

[2] KONSANTREDEKİ SU MİKTARI (g) = $M_1 - M_2$

14,01-3,75=10,26

12,74-3,47=9,27

17,48-5,08=12,4

9,25-2,75=6,5

13,27-6,05=7,22

[3] KÜMÜLATİF SU GERİ KAZANIMI (g) = $\Sigma (M_1 - M_2)$

10,26

10,26+9,27=19,53

10,26+9,27+12,4=31,93

10,26+9,27+12,4+6,5=38,43

10,26+9,27+12,4+6,5+7,22=45,65

[4] HÜCREDEKİ SU MİKTARI (g) = $C - [3]$

570,26-10,26=560

570,26-19,53=550,73

570,26-31,93=538,33

570,26-38,43=531,83

570,26-45,65=524,61

[5] HÜCREDEKİ KATI MİKTARI (g) = $A - [1]$

29,74-3,75=25,99

29,74-7,22=22,52

29,74-12,3=17,44

29,74-15,05=14,69

29,74-21,1=8,64

Ek 6 (devam)

[6] KARIŞIMDAKİ KATI (%) = [5]*100 / ([5]+ [4])

$(25,99*100)/ (25,99+560) = 4,4352$

$(22,52*100)/ (22,52+550,73) = 3,9285$

$(17,44*100)/ (17,44+538,33) = 3,1380$

$(14,69*100)/ (14,69+531,83) = 2,6879$

$(8,64*100)/ (8,64+524,61) = 1,6203$

[7] KONSANTREDEKİ KATI (%) = (M₂/M₁)*100

$(3,75/14,01)*100=26,7666$

$(3,47/12,74)*100=27,2370$

$(5,08/17,48)*100=29,0618$

$(2,75/9,25)*100=29,7297$

$(6,05/13,27)*100=45,5916$

[8] KURU-KÜLSÜZ KÖMÜR GERİ KAZANIMI (g) = M₂ *[1-(%KÜL)/100]

$3,75*(1-0,06)= 3,525$

$3,47*(1-0,06)= 3,2618$

$5,08*(1-0,065)= 4,7498$

$2,75*(1-0,075)= 2,5438$

$6,05*(1-0,08)= 5,556$

[9] KÜMÜLATİF KURU-KÜLSÜZ KÖMÜR GERİ KAZANIMI (g) = Σ [8]

3,525

$3,525+3,2618=6,7868$

$3,525+3,2618+4,7498=11,5366$

$3,525+3,2618+4,7498+2,5438=14,0804$

$3,525+3,2618+4,7498+2,5438+5,556=19,6464$

[10] KONSANTREDEKİ KÜL MİKTARI (g) = M₂* (%KÜL)/100

$3,75*0,06=0,2250$

$3,47*0,06=0,2082$

$5,08*0,065=0,3302$

$2,75*0,075=0,2063$

$6,05*0,08=0,484$

Ek 6 (devam)

[11] KONSANTREDEKİ KÜMÜLATİF KÜL MİKTARI (g) = Σ [10]

0,225

0,225+0,2082=0,4332

0,225+0,2082+0,3302=0,7634

0,225+0,2082+0,3302+0,2063=0,9697

0,225+0,2082+0,3302+0,2063+0,4840=1,4537

[12] KONSANTREDEKİ KÜMÜLATİF KÜL (%) = ([11]/ [1]) *100

(0,225/3,75)*100=6

(0,4332/7,22)*100=6

(0,7634/12,3)*100=6,2065

(0,9697/15,05)*100=6,4429

(1,4537/21,1)*100=6,8893

[13] FRAKSİYONEL KURU-KÜLSÜZ KÜMÜLATİF GERİ KAZANIM=[9]/ B

3,525/22,556=0,1563

6,7868/22,556=0,3009

11,5366/22,556=0,5115

14,0804/22,556=0,6242

19,6464/22,556=0,8710

[14] ANINDAKİ KALİTE =1- (%KÜL/ K)

1-(6/23,947)= 0,7494

1-(6/23,947)= 0,7494

1-(6,5/23,947)= 0,7286

1-(7,5/23,947)= 0,6868

1-(8/23,947)= 0,6659

[15] KÜMÜLATİF KALİTE = 1- ([12]/ K)

1-(6/23,947)=0,7494

1-(6/23,947)=0,7494

1-(6,2065/23,947)=0,7408

1-(6,4429/23,947)=0,7310

1-(6,8893/23,947)=0,7123

Ek 7. Triton X-100 ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri

Çizelge E.7.1 Deney T1 (0,45 mg Triton X-100/ g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	42	12.01	3,45	3,45
2	90	12.74	3,7	7,15
3	205	9,48	2,94	10,09
4	370	9,25	2,74	12,83
5	*	8,27	4,28	17,11

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
8,56	8,56	561,7	26,29	4,4712
9,04	17,6	552,66	22,59	3,9270
6,54	24,14	546,12	19,65	3,4731
6,51	30,65	539,61	16,91	3,0385
3,99	34,64	535,62	12,63	2,3037

Kons. Katı ,%	Anımsaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
28,7261	6	3,2430	3,2430	0,2070
29,0424	5	3,5150	6,7580	0,1850
31,0127	6,5	2,7489	9,5069	0,1911
29,6216	5,5	2,5893	12,0962	0,1507
51,7533	6	4,0232	16,1194	0,2568

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kk(küm)	Anımsaki Kalite	Küm. Kalite
0,2070	6,0000	0,1438	0,7494	0,7494
0,3920	5,4825	0,2996	0,7912	0,7711
0,5831	5,7790	0,4215	0,7286	0,7587
0,7338	5,7194	0,5363	0,7703	0,7612
0,9906	5,7896	0,7146	0,7494	0,7582

ATIK MİKTARI (kuru): 12,63 g

ATIK KÜL : % 46

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.7.2. Deney T2 (0,6 mg Triton X-100/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	25	8,18	2,33	2,33
2	44	14,08	4,1	6,43
3	92	11,09	3,5	9,93
4	*	19,04	7,97	17,9

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışındaki Katı ,%
5,85	5,85	564,41	27,41	4,6315
9,98	15,83	554,43	23,31	4,0347
7,59	23,42	546,84	19,81	3,4960
11,07	34,49	535,77	11,84	2,1621

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
28,4841	5	2,2135	2,2135	0,1165
29,1193	5,94	3,8565	6,0700	0,2435
31,5600	7	3,2550	9,3250	0,2450
41,8592	6,43	7,4575	16,7825	0,5125

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kü(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,1165	5,0000	0,0981	0,7912	0,7912
0,3600	5,5994	0,2691	0,7520	0,7662
0,6050	6,0931	0,4134	0,7077	0,7456
1,1175	6,2431	0,7440	0,7315	0,7393

ATIK MİKTARI (kuru):11,84 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. 22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : %48,26

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.7.3. Deney T3 (0,72 mg Triton X-100/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	35	12,26	3,28	3,28
2	50	15,18	4,25	7,53
3	95	16,08	4,53	12,06
4	264	14,09	4,18	16,24
5	*	5,04	2,98	19,22

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
8,98	8,98	561,28	26,46	4,5020
10,93	19,91	550,35	22,21	3,8791
11,55	31,46	538,8	17,68	3,1771
9,91	41,37	528,89	13,5	2,4890
2,06	43,43	526,83	10,52	1,9578

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
26,7537	6	3,0832	3,0832	0,1968
27,9974	6	3,9950	7,0782	0,2550
28,1716	6	4,2582	11,3364	0,2718
29,6664	7	3,8874	15,2238	0,2926
59,1270	7	2,7714	17,9952	0,2086

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,1968	6,0000	0,1367	0,7494	0,7494
0,4518	6,0000	0,3138	0,7494	0,7494
0,7236	6,0000	0,5026	0,7494	0,7494
1,0162	6,2574	0,6749	0,7077	0,7387
1,2248	6,3725	0,7978	0,7077	0,7339

ATIK MİKTARI (kuru): 10,52 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru: 29,74 g} \\ \text{K.K. : 22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 53,00

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.7.4. Deney T4 (0,9 mg Triton X-100/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	50	6,35	1,85	1,85
2	71	8,13	2,36	4,21
3	125	10,92	3,23	7,44
4	-	14,13	4,34	11,78
5	*	18,76	8,6	20,38

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karşımdaki Katı ,%
4,5	4,5	565,76	27,89	4,6981
5,77	10,27	559,99	25,53	4,3602
7,69	17,96	552,3	22,3	3,8810
9,79	27,75	542,51	17,96	3,2045
10,16	37,91	532,35	9,36	1,7279

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
29,1339	6,54	1,7290	1,7290	0,1210
29,0283	5,97	2,2191	3,9481	0,1409
29,5788	5,91	3,0391	6,9872	0,1909
30,7148	7	4,0362	11,0234	0,3038
45,8422	6,86	8,0100	19,0335	0,5900

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,1210	6,5400	0,0767	0,7269	0,7269
0,2619	6,2205	0,1750	0,7507	0,7402
0,4528	6,0857	0,3098	0,7532	0,7459
0,7566	6,4225	0,4887	0,7077	0,7318
1,3465	6,6071	0,8438	0,7135	0,7241

ATIK MİKTARI (kuru):9,36 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 57,21

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.7.5. Deney T5 (1,2 mg Triton X-100/g kömür)

Kons.No	Zaman (sa)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	49	14,13	3,86	3,86
2	66	12,05	3,45	7,31
3	101	11,27	3,35	10,66
4	160	14,28	4,55	15,21
5	*	11,72	5,47	20,68

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
10,27	10,27	559,99	25,88	4,4174
8,6	18,87	551,39	22,43	3,9089
7,92	26,79	543,47	19,08	3,3917
9,73	36,52	533,74	14,53	2,6502
6,25	42,77	527,49	9,06	1,6886

Kons. Katı ,%	Anımdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
27,3178	6,47	3,6103	3,6103	0,2497
28,6307	6,9	3,2120	6,8222	0,2381
29,7249	6,44	3,1343	9,9565	0,2157
31,8627	7,39	4,2138	14,1702	0,3362
46,6724	8	5,0324	19,2026	0,4376

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kg(küm)	Anımdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2497	6,4700	0,1601	0,7298	0,7298
0,4878	6,6729	0,3025	0,7119	0,7213
0,7035	6,5997	0,4414	0,7311	0,7244
1,0398	6,8361	0,6282	0,6914	0,7145
1,4774	7,1440	0,8513	0,6659	0,7017

ATIK MİKTARI (kuru):9,06 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 58,21

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.7.6. Deney T6 (1,35 mg Triton X-100/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	36	16,51	3,39	3,39
2	72	17,74	4,22	7,61
3	113	13,98	3,64	11,25
4	241	13,25	3,58	14,83
5	*	4,77	3,57	18,4

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karşımdaki Katı ,%
13,12	13,12	557,14	26,35	4,5159
13,52	26,64	543,62	22,13	3,9116
10,34	36,98	533,28	18,49	3,3510
9,67	46,65	523,61	14,91	2,7687
1,2	47,85	522,41	11,34	2,1246

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kıl ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kıl ,g
20,5330	7	3,1527	3,1527	0,2373
23,7880	7	3,9246	7,0773	0,2954
26,0372	8	3,3488	10,4261	0,2912
27,0189	7	3,3294	13,7555	0,2506
74,8428	7,6	3,2987	17,0542	0,2713

Kons.Küm.Kıl ,g	Kons.Küm.Kıl,%	Fraks.GK ,kıl(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2373	7,0000	0,1398	0,7077	0,7077
0,5327	7,0000	0,3138	0,7077	0,7077
0,8239	7,3236	0,4622	0,6659	0,6942
1,0745	7,2454	0,6098	0,7077	0,6974
1,3458	7,3142	0,7561	0,6826	0,6946

ATIK MİKTARI (kuru): 11,34 g

ATIK KÜL : % 48,00

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.7.7. Deney T7 (1,5 mg Triton X-100/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	30	17,72	3,84	3,84
2	59	18,35	4,21	8,05
3	100	16,13	3,93	11,98
4	220	13,92	3,44	15,42
5	*	3,63	3,26	18,68

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımdaki Katı ,%
13,88	13,88	556,38	25,9	4,4480
14,14	28,02	542,24	21,69	3,8462
12,2	40,22	530,04	17,76	3,2421
10,48	50,7	519,56	14,32	2,6823
0,37	51,07	519,19	11,06	2,0858

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kıl ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kıl ,g
21,6704	7,5	3,5520	3,5520	0,2880
22,9428	8,5	3,8522	7,4042	0,3579
24,3645	9	3,5763	10,9805	0,3537
24,7126	7,92	3,1676	14,1480	0,2724
89,8072	7,92	3,0018	17,1498	0,2582

Kons.Küm.Kıl ,g	Kons.Küm.Kıl ,%	Fraks.GK ,ıkd(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2880	7,5000	0,1575	0,6868	0,6868
0,6459	8,0230	0,3283	0,6450	0,6650
0,9996	8,3435	0,4868	0,6242	0,6516
1,2720	8,2490	0,6272	0,6693	0,6555
1,5302	8,1916	0,7603	0,6693	0,6579

ATIK MİKTARI (kuru): 11,06 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 48,00

SU Besleme : 570 g

Ek 8. Brij-35 ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri

Çizelge E.8.1. Deney B1 (0,6 mg Brij-35/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	57	10,72	3,21	3,21
2	240	21,85	6,62	9,83
3	*	11,63	5,46	15,29

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
7,51	7,51	562,75	26,53	4,5021
15,23	22,74	547,52	19,91	3,5088
6,17	28,91	541,35	14,45	2,5999

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
29,9440	6	3,0174	3,0174	0,1926
30,2975	6	6,2228	9,2402	0,3972
46,9475	6	5,1324	14,3726	0,3276

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,ık(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,1926	6,0000	0,1338	0,7494	0,7494
0,5898	6,0000	0,4097	0,7494	0,7494
0,9174	6,0000	0,6372	0,7494	0,7494

ATIK MİKTARI (kuru): 14,45g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 41,5

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.8.2. Deney B2 (0,9 mg Brij-35/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	48	8,51	2,67	2,67
2	77	12,74	3,68	6,35
3	158	14,48	4,2	10,55
4	*	11,25	5,51	16,06

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karşımdaki Katı ,%
5,84	5,84	564,42	27,07	4,5766
9,06	14,9	555,36	23,39	4,0415
10,28	25,18	545,08	19,19	3,4009
5,74	30,92	539,34	13,68	2,4737

Kons. Katı ,%	Anındaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
31,3749	6	2,5098	2,5098	0,1602
28,8854	6	3,4592	5,9690	0,2208
29,0055	6	3,9480	9,9170	0,2520
48,9778	7	5,1243	15,0413	0,3857

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kg(küm)	Anındaki Kalite	Küm. Kalite
0,1602	6,0000	0,1113	0,7494	0,7494
0,3810	6,0000	0,2646	0,7494	0,7494
0,6330	6,0000	0,4397	0,7494	0,7494
1,0187	6,3431	0,6668	0,7077	0,7351

ATIK MİKTARI (kuru):13,68 g

ATIK KÜL : % 41

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.8.3. Deney B3 (1,2 mg Brij-35/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	56	10,51	3,08	3,08
2	75	10,74	3,24	6,32
3	229	17,48	5,36	11,68
4	*	10,25	4,08	15,76

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hilcredeki Su ,g	Hilcredeki Katı ,g	Karışındaki Katı ,%
7,43	7,43	562,83	26,66	4,5226
7,5	14,93	555,33	23,42	4,0467
12,12	27,05	543,21	18,06	3,2177
6,17	33,22	537,04	13,98	2,5371

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
29,3054	5	2,9260	2,9260	0,1540
30,1676	5	3,0780	6,0040	0,1620
30,6636	5	5,0920	11,0960	0,2680
39,8049	6,5	3,8148	14,9108	0,2652

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kg(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,1540	5,0000	0,1297	0,7912	0,7912
0,3160	5,0000	0,2662	0,7912	0,7912
0,5840	5,0000	0,4919	0,7912	0,7912
0,8492	5,3883	0,6611	0,7286	0,7750

ATIK MİKTARI (kuru):13,98 g

ATIK KÜL : %44

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.8.4. Deney B4 (1,35 mg Brij-35/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	40	9,26	2,51	2,51
2	62	11,18	3,06	5,57
3	90	11,08	3,37	8,94
4	185	14,09	4,21	13,15
5	*	7,04	3,72	16,87

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
6,75	6,75	563,51	27,23	4,6095
8,12	14,87	555,39	24,17	4,1704
7,71	22,58	547,68	20,8	3,6589
9,88	32,46	537,8	16,59	2,9925
3,32	35,78	534,48	12,87	2,3513

Kons. Katı ,%	Anımsdaki Kıl ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kıl ,g
27,1058	5	2,3845	2,3845	0,1255
27,3703	5	2,9070	5,2915	0,1530
30,4152	5	3,2015	8,4930	0,1685
29,8793	7	3,9153	12,4083	0,2947
52,8409	7	3,4596	15,8679	0,2604

Kons.Küm.Kıl ,g	Kons.Küm.Kıl ,%	Fraks.GK ,ık(küm)	Anımsdaki Kalite	Küm. Kalite
0,1255	5,0000	0,1057	0,7912	0,7912
0,2785	5,0000	0,2346	0,7912	0,7912
0,4470	5,0000	0,3765	0,7912	0,7912
0,7417	5,6403	0,5501	0,7077	0,7645
1,0021	5,9401	0,7035	0,7077	0,7519

ATIK MİKTARI (kuru): 12,87g

ATIK KÜL : %45,5

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.8.5. Deney B5 (1,5 mg Brij-35/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	30	6,27	1,73	1,73
2	47	9,72	2,44	4,17
3	74	10,85	3,2	7,37
4	110	12,63	3,8	11,17
5		9,92	2,81	13,98
6	*	9,63	3,82	17,8

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
4,54	4,54	565,72	28,01	4,7176
7,28	11,82	558,44	25,57	4,3783
7,65	19,47	550,79	22,37	3,9029
8,83	28,3	541,96	18,57	3,3129
7,11	35,41	534,85	15,76	2,8623
5,81	41,22	529,04	11,94	2,2071

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
27,5917	6	1,6262	1,6262	0,1038
25,1029	5,5	2,3058	3,9320	0,1342
29,4931	5	3,0400	6,9720	0,1600
30,0871	5	3,6100	10,5820	0,1900
28,3266	7	2,6133	13,1953	0,1967
39,6677	7,5	3,5335	16,7288	0,2865

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül,%	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,1038	6,0000	0,0721	0,7494	0,7494
0,2380	5,7074	0,1743	0,7703	0,7617
0,3980	5,4003	0,3091	0,7912	0,7745
0,5880	5,2641	0,4691	0,7912	0,7802
0,7847	5,6130	0,5850	0,7077	0,7656
1,0712	6,0180	0,7417	0,6868	0,7487

ATIK MİKTARI (kuru): 11,94 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : %48

SU Besleme : 570 g

Ek 9. MIBC ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri

Çizelge E.9.1. Deney M1 (0,075mg MIBC/ g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	46	16,51	4,78	4,78
2	144	22,74	6,61	11,39
3	*	16,48	6,64	18,03

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karşımdaki Katı ,%
11,73	11,73	558,53	24,96	4,2777
16,13	27,86	542,4	18,35	3,2724
9,84	37,7	532,56	11,71	2,1515

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
28,9522	6	4,4932	4,4932	0,2868
29,0677	5,5	6,2465	10,7397	0,3636
40,2913	6	6,2416	16,9813	0,3984

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2868	6,0000	0,1992	0,7494	0,7494
0,6504	5,7098	0,4761	0,7703	0,7616
1,0488	5,8167	0,7528	0,7494	0,7571

ATIK MİKTARI (kuru): 11,71g

ATIK % KÜL : % 50,5

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.9.2. Deney M2 (0,15 mg MIBC/ g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	43	19,75	5,51	5,51
2	137	31,27	9,16	14,67
3	*	16,72	6,24	20,91

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karşımdaki Katı ,%
14,24	14,24	556,02	24,23	4,1758
22,11	36,35	533,91	15,07	2,7451
10,48	46,83	523,43	8,83	1,6590

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
27,8987	5,5	5,2070	5,2070	0,3031
29,2933	6,5	8,5646	13,7716	0,5954
37,3206	7	5,8032	19,5748	0,4368

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,3031	5,5000	0,2308	0,7703	0,7703
0,8985	6,1244	0,6105	0,7286	0,7443
1,3353	6,3857	0,8678	0,7077	0,7333

ATIK MIKTARI (kuru): 8,83 g

Kömür Besleme : 30 g { Kuru:29,74 g
K.K. :22,556 g }

ATIK % KÜL : % 63

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.9.3. Deney M3 (0,3 mg MIBC/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	36	32,26	7,5	7,5
2	56	19,18	5,02	12,52
3	115	19,58	5,35	17,87
4	255	7,59	2,03	19,9
5	*	7,54	2,86	22,76

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
24,76	24,76	545,5	22,24	3,9173
14,16	38,92	531,34	17,22	3,1391
14,23	53,15	517,11	11,87	2,2439
5,56	58,71	511,55	9,84	1,8873
4,68	63,39	506,87	6,98	1,3584

Kons. Katı ,%	Anımdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbır Kons. Kül ,g
23,2486	7	6,9750	6,9750	0,5250
26,1731	7	4,6686	11,6436	0,3514
27,3238	8	4,9220	16,5656	0,4280
26,7457	9	1,8473	18,4129	0,1827
37,9310	9	2,6026	21,0155	0,2574

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kk(köm)	Anımdaki Kalite	Küm. Kalite
0,5250	7,0000	0,3092	0,7077	0,7077
0,8764	7,0000	0,5162	0,7077	0,7077
1,3044	7,2994	0,7344	0,6659	0,6952
1,4871	7,4729	0,8163	0,6242	0,6879
1,7445	7,6648	0,9317	0,6242	0,6799

ATIK MİKTARI (kuru): 6,98 g

ATIK KÜL : % 74,50

Kömür Besleme : 30 g

SU Besleme : 570 g

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

Çizelge E.9.4. Deney M4 (0,45 mg MIBC/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım .g	Kons.Kuru Tartım.g	Küm.Katı GK.g
1	27	19,01	4,13	4,13
2	47	20,24	4,77	8,9
3	84	23,48	6,16	15,06
4	205	14,25	3,63	18,69
5	*	10,27	4,35	23,04

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su .g	Hücredeki Katı .g	Karışımındaki Katı ,%
14,88	14,88	555,38	25,61	4,4080
15,47	30,35	539,91	20,84	3,7165
17,32	47,67	522,59	14,68	2,7323
10,62	58,29	511,97	11,05	2,1127
5,92	64,21	506,05	6,7	1,3067

Kons. Katı ,%	Anıdaki Käl ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Käl .g
21,7254	7	3,8409	3,8409	0,2891
23,5672	7,5	4,4123	8,2532	0,3578
26,2351	8	5,6672	13,9204	0,4928
25,4737	8	3,3396	17,2600	0,2904
42,3564	9	3,9585	21,2185	0,3915

Kons.Küm.Käl .g	Kons.Küm.Käl ,%	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2891	7,0000	0,1703	0,7077	0,7077
0,6469	7,2680	0,3659	0,6868	0,6965
1,1397	7,5674	0,6171	0,6659	0,6840
1,4301	7,6514	0,7652	0,6659	0,6805
1,8216	7,9060	0,9407	0,6242	0,6699

ATIK MİKTARI (kuru): 6,70 g

ATIK KÖL : %75,5

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.9.5. Deney M5 (0,6 mg MIBC/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım .g	Kons.Kuru Tartım.g	Küm.Katı GK.g
1	33	15,51	3,55	3,55
2	44	13,74	3,21	6,76
3	61	14,98	3,81	10,57
4	182	12,25	3,05	13,62
5	270	13,27	3,67	17,29
6	*	12,27	6,55	23,84

Kons.Su miktarı.g	Küm.Su GK.g	Hücredeki Su .g	Hücredeki Katı .g	Karışımdaki Katı .%
11,96	11,96	558,3	26,19	4,4808
10,53	22,49	547,77	22,98	4,0263
11,17	33,66	536,6	19,17	3,4493
9,2	42,86	527,4	16,12	2,9659
9,6	52,46	517,8	12,45	2,3479
5,72	58,18	512,08	5,9	1,1390

Kons. Katı .%	Anımdaki Kül .%	KK-Kömür GK.g	Küm. KK-KömürGK.g	Herbir Kons. Kül .g
22,8885	6,93	3,3040	3,3040	0,2460
23,3624	8,87	2,9253	6,2293	0,2847
25,4339	7,96	3,5067	9,7360	0,3033
24,8980	7,42	2,8237	12,5597	0,2263
27,6564	7,96	3,3779	15,9375	0,2921
53,3822	8,95	5,9638	21,9013	0,5862

Kons.Küm.Kül .g	Kons.Küm.Kül. %	Fraks.GK .Jd(küm)	Anımdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2460	6,9300	0,1465	0,7106	0,7106
0,5307	7,8512	0,2762	0,6296	0,6721
0,8340	7,8904	0,4316	0,6676	0,6705
1,0603	7,7851	0,5568	0,6901	0,6749
1,3525	7,8222	0,7066	0,6676	0,6734
1,9387	8,1321	0,9710	0,6263	0,6604

ATIK MİKTARI (kuru):5,90 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 79,31

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.9.6. Deney M6 (0,9 mg MIBC/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	37	19,77	4,34	4,34
2	62	16,72	3,89	8,23
3	107	20,35	5,19	13,42
4	167	16,13	4,36	17,78
5		5,42	1,42	19,2
6	*	9,63	4,92	24,12

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karşımdaki Katı ,%
15,43	15,43	554,83	25,4	4,3776
12,83	28,26	542	21,51	3,8171
15,16	43,42	526,84	16,32	3,0046
11,77	55,19	515,07	11,96	2,2693
4	59,19	511,07	10,54	2,0207
4,71	63,9	506,36	5,62	1,0977

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
21,9525	7,96	3,9945	3,9945	0,3455
23,2656	8,33	3,5660	7,5605	0,3240
25,5037	8,46	4,7509	12,3114	0,4391
27,0304	8,83	3,9750	16,2864	0,3850
26,1993	7,42	1,3146	17,6011	0,1054
51,0903	9,05	4,4747	22,0758	0,4453

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kg(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,3455	7,9600	0,1771	0,6676	0,6676
0,6695	8,1349	0,3352	0,6521	0,6603
1,1086	8,2606	0,5458	0,6467	0,6550
1,4936	8,4002	0,7220	0,6313	0,6492
1,5989	8,3277	0,7803	0,6901	0,6522
2,0442	8,4751	0,9787	0,6221	0,6461

ATIK MİKTARI : 5,62 g (kuru)

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 79,83

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.9.7. Deney M7 (1,2 mg MIBC/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım .g	Kons.Kuru Tartım.g	Küm.Katı GK.g
1	24	22,13	4,36	4,36
2	56	20,55	4,48	8,84
3	66	29,77	7,33	16,17
4	189	16,78	4,09	20,26
5	*	8,22	3,37	23,63

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hilcredeki Su .g	Hilcredeki Katı .g	Karışındaki Katı ,%
17,77	17,77	552,49	25,38	4,3920
16,07	33,84	536,42	20,9	3,7501
22,44	56,28	513,98	13,57	2,5723
12,69	68,97	501,29	9,48	1,8560
4,85	73,82	496,44	6,11	1,2158

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbır Kons. Kül ,g
19,7018	7,5	4,0330	4,0330	0,3270
21,8005	8,5	4,0992	8,1322	0,3808
24,6221	9	6,6703	14,8025	0,6597
24,3743	9	3,7219	18,5244	0,3681
40,9976	9,5	3,0499	21,5743	0,3202

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,3270	7,5000	0,1788	0,6868	0,6868
0,7078	8,0068	0,3605	0,6450	0,6656
1,3675	8,4570	0,6563	0,6242	0,6468
1,7356	8,5666	0,8213	0,6242	0,6423
2,0558	8,6997	0,9565	0,6033	0,6367

ATIK MİKTARI (kuru): 6,11 g

ATIK KÜL : % 79,00

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Ek 10. SDS ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri

Çizelge E.10.1. Deney S1 (0,084 mg SDS/ g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Köm.Katı GK,g
1	142	27,26	7,53	7,53
2	316	11,18	2,9	10,43
3	*	8,08	4,07	14,5

Kons.Su miktarı,g	Köm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
19,73	19,73	550,53	22,21	3,8779
8,28	28,01	542,25	19,31	3,4386
4,01	32,02	538,24	15,24	2,7535

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Köm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
27,6229	6	7,0782	7,0782	0,4518
25,9392	6	2,7260	9,8042	0,1740
50,3713	6	3,8258	13,6300	0,2442

Kons.Köm.Kül ,g	Kons.Köm.Kül, %	Fraks.GK ,kk(köm)	Anıdaki Kalite	Köm. Kalite
0,4518	6,0000	0,3138	0,7494	0,7494
0,6258	6,0000	0,4347	0,7494	0,7494
0,8700	6,0000	0,6043	0,7494	0,7494

ATIK MİKTARI (kuru): 15,24 g

Kömür Besleme : 30 g

{ Kuru:29,74 g
K.K. :22,556 g }

ATIK % KÜL : %40,00

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.10.2. Deney S2 (0,133 mg SDS /g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım .g	Kons.Kuru Tartım.g	Küm.Katı GK.g
1	65	14,09	4,07	4,07
2	149	14,04	3,65	7,72
3	*	15,63	5,82	13,54

Kons.Su miktarı.g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su .g	Hücredeki Katı .g	Karışındaki Katı ,%
10,02	10,02	560,24	25,67	4,3812
10,39	20,41	549,85	22,02	3,8505
9,81	30,22	540,04	16,2	2,9124

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK.g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül .g
28,8857	5	3,8665	3,8665	0,2035
25,9972	6,5	3,4128	7,2793	0,2373
37,2361	6	5,4708	12,7501	0,3492

Kons.Küm.Kül .g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2035	5,0000	0,1714	0,7912	0,7912
0,4408	5,7092	0,3227	0,7286	0,7616
0,7900	5,8342	0,5653	0,7494	0,7564

ATIK MİKTARI (kuru): 16,20 g

ATIK KÜL : % 37,00

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.10.3. Deney S3 (0,45 mg SDS /g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kurn Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	35	12,63	2,53	2,53
2	51	11,55	2,53	5,06
3	70	12,77	3,25	8,31
4	129	17,28	4,76	13,07
5	*	11,72	4,77	17,84

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karşımdaki Katı , %
10,1	10,1	560,16	27,21	4,6325
9,02	19,12	551,14	24,68	4,2861
9,52	28,64	541,62	21,43	3,8061
12,52	41,16	529,1	16,67	3,0544
6,95	48,11	522,15	11,9	2,2283

Kons. Katı , %	Anımdaki Kül , %	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
20,0317	7,5	2,3403	2,3403	0,1898
21,9048	7	2,3529	4,6932	0,1771
25,4503	6,5	3,0388	7,7319	0,2113
27,5463	7,5	4,4030	12,1349	0,3570
40,6997	8	4,3884	16,5233	0,3816

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kg(küm)	Anımdaki Kalite	Küm. Kalite
0,1898	7,5000	0,1038	0,6868	0,6868
0,3669	7,2500	0,2081	0,7077	0,6972
0,5781	6,9567	0,3428	0,7286	0,7095
0,9351	7,1546	0,5380	0,6868	0,7012
1,3167	7,3806	0,7325	0,6659	0,6918

ATIK MİKTARI (kuru): 11,90 g

ATIK KÜL : % 47

Kömür Besleme : 30 g

SU Besleme : 550,71 g

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

Çizelge E.10.4. Deney S4 (0,6 mg SDS/g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	34	19,26	3,43	3,43
2	49	23,18	4,18	7,61
3	104	26,08	5,87	13,48
4	270	11,09	2,9	16,38
5	*	5,04	2,7	19,08

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışındaki Katı ,%
15.83	15.83	554.43	26.31	4.5304
19	34.83	535.43	22.13	3.9691
20.21	55.04	515.22	16.26	3.0594
8.19	63.23	507.03	13.36	2.5673
2.34	65.57	504.69	10.66	2.0685

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
17,8089	8	3,1556	3,1556	0,2744
18,0328	8	3,8456	7,0012	0,3344
22,5077	7,5	5,4298	12,4310	0,4403
26,1497	8	2,6680	15,0990	0,2320
53,5714	9	2,4570	17,5560	0,2430

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,g(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2744	8,0000	0,1399	0,6659	0,6659
0,6088	8,0000	0,3104	0,6659	0,6659
1,0491	7,7823	0,5511	0,6868	0,6750
1,2811	7,8208	0,6694	0,6659	0,6734
1,5241	7,9877	0,7783	0,6242	0,6664

ATIK MİKTARI (kuru): 10,66 g

ATIK KÜL : % 51,50

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 544,29 g

Çizelge E.10.5. Deney S5 (0,9 mg SDS /g kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	32	34,51	6,35	6,35
2	47	27,74	3,79	10,14
3	78	24,48	4,03	14,17
4	135	17,25	3,66	17,83
5	*	18,27	5,98	23,81

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımdaki Katı ,%
28,16	28,16	542,1	23,39	4,1362
23,95	52,11	518,15	19,6	3,6448
20,45	72,56	497,7	15,57	3,0335
13,59	86,15	484,11	11,91	2,4011
12,29	98,44	471,82	5,93	1,2412

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
18,4005	10	5,7150	5,7150	0,6350
13,6626	11	3,3731	9,0881	0,4169
16,4624	11	3,5867	12,6748	0,4433
21,2174	11	3,2574	15,9322	0,4026
32,7313	11	5,3222	21,2544	0,6578

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kıl(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,6350	10,0000	0,2534	0,5824	0,5824
1,0519	10,3738	0,4029	0,5407	0,5668
1,4952	10,5519	0,5619	0,5407	0,5594
1,8978	10,6439	0,7063	0,5407	0,5555
2,5556	10,7333	0,9423	0,5407	0,5518

ATIK MİKTARI (kuru): 5,93g

ATIK KÜL : % 75

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 531,43 g

Ek 11. Triton X-100 ve MIBC Karışımı ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri

[Toplam Başlangıç Derişimi: 0,9 mg/g kömür]

Çizelge E.11.1 Deney Tm1 (%2,5 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım .g	Kons.Kuru Tartım.g	Küm.Katı GK.g
1	43	14.63	3.91	3.91
2	61	15.55	4.23	8.14
3	111	20.27	5.79	13.93
4	275	10.78	3.07	17
5	*	6.72	2.33	19.33

Kons.Su miktarı.g	Küm.Su GK.g	Hücredeki Su .g	Hücredeki Kan .g	Karışımındaki Katı ,%
10.72	10.72	559.54	25.83	4.4126
11.32	22.04	548.22	21.6	3.7907
14.48	36.52	533.74	15.81	2.8769
7.71	44.23	526.03	12.74	2.3646
4.39	48.62	521.64	10.41	1.9566

Kons. Katı ,%	Anıındaki Kül ,%	KK-Kömür GK.g	Küm. KK-KömürGK.g	Herbir Kons. Kül .g
26.7259	6	3,6754	3,6754	0.2346
27.2026	6.5	3,9551	7,6305	0.2750
28.5644	7	5,3847	13,0152	0.4053
28.4787	7.5	2,8398	15,8549	0.2303
34.6726	8	2,1436	17,9985	0.1864

Kons.Küm.Kül .g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK .ık(küm)	Anıındaki Kalite	Küm. Kalite
0.2346	6.0000	0.1629	0.7494	0.7494
0.5096	6.2598	0.3383	0.7286	0.7386
0.9149	6.5675	0.5770	0.7077	0.7257
1.1451	6.7359	0.7029	0.6868	0.7187
1.3315	6.8883	0.7979	0.6659	0.7124

ATIK MİKTARI (kuru): 7,96 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK % KÜL : % 59,50

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.11.2. Deney TM2 (%5 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	38	14.01	3.75	3.75
2	50	12.74	3.47	7.22
3	84	17.48	5.08	12.3
4	169	9.25	2.75	15.05
5	*	13.27	6.05	21.1

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
10.26	10.26	560	25.99	4.4352
9.27	19.53	550.73	22.52	3.9285
12.4	31.93	538.33	17.44	3.1380
6.5	38.43	531.83	14.69	2.6879
7.22	45.65	524.61	8.64	1.6203

Kons. Katı ,%	Anımsaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbır Kons. Kül ,g
26.7666	6	3.5250	3.5250	0.2250
27.2370	6	3.2618	6.7868	0.2082
29.0618	6.5	4.7498	11.5366	0.3302
29.7297	7.5	2.5438	14.0804	0.2063
45.5916	8	5.5660	19.6464	0.4840

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kk(küm)	Anımsaki Kalite	Küm. Kalite
0.2250	6.0000	0.1563	0.7494	0.7494
0.4332	6.0000	0.3009	0.7494	0.7494
0.7634	6.2065	0.5115	0.7286	0.7408
0.9697	6.4429	0.6242	0.6868	0.7310
1.4537	6.8893	0.8710	0.6659	0.7123

ATIK MİKTARI (kuru): 8,64 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29.74 g} \\ \text{K.K. :22.556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 62,5

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.11.3. Deney TM3 (%10 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	30	14,72	3,81	3,81
2	44	18,85	4,75	8,56
3	75	18,13	4,95	13,51
4	139	8,92	2,56	16,07
5	*	12,63	5,53	21,6

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
10,91	10,91	559,35	25,93	4,4304
14,1	25,01	545,25	21,18	3,7392
13,18	38,19	532,07	16,23	2,9601
6,36	44,55	525,71	13,67	2,5344
7,1	51,65	518,61	8,14	1,5453

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
25,8832	7	3,5433	3,5433	0,2667
25,1989	7,5	4,3938	7,9371	0,3563
27,3028	7	4,6035	12,5406	0,3465
28,6996	8	2,3552	14,8958	0,2048
43,7846	8,5	5,0600	19,9557	0,4701

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül,%	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2667	7,0000	0,1571	0,7077	0,7077
0,6230	7,2775	0,3519	0,6868	0,6961
0,9695	7,1758	0,5560	0,7077	0,7003
1,1743	7,3071	0,6604	0,6659	0,6949
1,6443	7,6125	0,8847	0,6450	0,6821

ATIK MİKTARI (kuru): 8,14 g

Kömür Besleme : 30 g { Kuru:29,74 g }
{ K.K. :22,556 g }

ATIK KÜL : % 66

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.11.4. Deney TM4 (%15 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım .g	Kons.Kuru Tartım.g	Küm.Katı GK.g
1	28	18.26	4,49	4,49
2	38	19,68	4,74	9,23
3	82	20,58	5,51	14,74
4	146	11,59	3,29	18,03
5	*	11,04	4,33	22,36

Kons.Su miktarı.g	Küm.Su GK.g	Hücredeki Su .g	Hücredeki Katı .g	Karışımındaki Katı , %
13,77	13,77	556,49	25,25	4,3404
14,94	28,71	541,55	20,51	3,6491
15,07	43,78	526,48	15	2,7702
8,3	52,08	518,18	11,71	2,2099
6,71	58,79	511,47	7,38	1,4224

Kons. Katı , %	Anıındaki Kül , %	KK-Kömür GK.g	Küm. KK-KömürGK.g	Herbir Kons. Kül .g
24,5893	7	4,1757	4,1757	0,3143
24,0854	7	4,4082	8,5839	0,3318
26,7736	8	5,0692	13,6531	0,4408
28,3865	8	3,0268	16,6799	0,2632
39,2210	9	3,9403	20,6202	0,3897

Kons.Küm.Kül .g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,ıkı(küm)	Anıındaki Kalite	Küm. Kalite
0,3143	7,0000	0,1851	0,7077	0,7077
0,6461	7,0000	0,3806	0,7077	0,7077
1,0869	7,3738	0,6053	0,6659	0,6921
1,3501	7,4881	0,7395	0,6659	0,6873
1,7398	7,7809	0,9142	0,6242	0,6751

ATIK MİKTARI (kuru): 7,38 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 71

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.11.5. Deney TM5 (%20 MIBC)

Kons.No	Zaman (sa)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	32	42,18	8,71	8,71
2	71	22,08	5,23	13,94
3	140	22,09	5,49	19,43
4	*	11,04	4,19	23,62

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
33.47	33,47	536,79	21,03	3,7700
16.85	50,32	519,94	15,8	2,9492
16,6	66,92	503,34	10,31	2,0072
6,85	73,77	496,49	6,12	1,2176

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
20,6496	8,5	7,9697	7,9697	0,7404
23,6866	8,5	4,7855	12,7551	0,4446
24,8529	9	4,9959	17,7510	0,4941
37,9529	10,5	3,7501	21,5011	0,4400

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kl(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,7404	8,5000	0,3533	0,6450	0,6450
1,1849	8,5000	0,5655	0,6450	0,6450
1,6790	8,6413	0,7870	0,6242	0,6391
2,1190	8,9710	0,9532	0,5615	0,6254

ATIK MİKTARI (kuru):6,12 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 78,5

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.11.6. Deney TM6 (%25 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	26	24,26	5,18	5,18
2	47	20,18	4,78	9,96
3	98	23,58	6,16	16,12
4	250	13,59	3,53	19,65
5	*	7,54	3,61	23,26

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımdaki Katı ,%
19,08	19,08	551,18	24,56	4,2658
15,4	34,48	535,78	19,78	3,5604
17,42	51,9	518,36	13,62	2,5602
10,06	61,96	508,3	10,09	1,9464
3,93	65,89	504,37	6,48	1,2685

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-Kömür GK,g	Herbir Kons. Kül ,g
21,3520	7,46	4,7936	4,7936	0,3864
23,6868	8	4,3976	9,1912	0,3824
26,1238	9	5,6056	14,7968	0,5544
25,9750	8	3,2476	18,0444	0,2824
47,8780	9,5	3,2671	21,3114	0,3430

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,3864	7,4600	0,2125	0,6885	0,6885
0,7688	7,7192	0,4075	0,6659	0,6777
1,3232	8,2086	0,6560	0,6242	0,6572
1,6056	8,1711	0,8000	0,6659	0,6588
1,9486	8,3774	0,9448	0,6033	0,6502

ATIK MİKTARI (kuru): 6,48 g

ATIK KÜL : % 75

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.11.7. Deney TM7 (%50 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım .g	Kons.Kuru Tartım.g	Küm.Kan GK.g
1	29	18.51	3.71	3.71
2	50	19.74	4.75	8.46
3	94	11.48	2.98	11.44
4	177	13.75	3.12	14.56
5	*	25.27	8.7	23.26

Kons.Su miktarı.g	Küm.Su GK.g	Hücredeki Su .g	Hücredeki Katı .g	Karışımındaki Katı .%
14.8	14.8	555.46	26.03	4.4764
14.99	29.79	540.47	21.28	3.7882
8.5	38.29	531.97	18.3	3.3256
10.63	48.92	521.34	15.18	2.8293
16.57	65.49	504.77	6.48	1.2675

Kons. Katı .%	Anımsındaki Kül .%	KK-Kömür GK.g	Küm. KK-KömürGK.g	Herbir Kons. Kül .g
20.0432	8.41	3.3980	3.3980	0.3120
24.0628	8.37	4.3524	7.7504	0.3976
25.9582	8.95	2.7133	10.4637	0.2667
22.6909	7	2.9016	13.3653	0.2184
34.4282	9	7.9170	21.2823	0.7830

Kons.Küm.Kül .g	Kons.Küm.Kül.%	Fraks.GK .ık(küm)	Anımsındaki Kalite	Küm. Kalite
0.3120	8.4100	0.1506	0.6488	0.6488
0.7096	8.3875	0.3436	0.6505	0.6497
0.9763	8.5341	0.4639	0.6263	0.6436
1.1947	8.2053	0.5925	0.7077	0.6574
1.9777	8.5026	0.9435	0.6242	0.6449

ATIK MİKTARI (kuru): 6.48 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29.74 g} \\ \text{K.K. :22.556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 75.5

SU Besleme : 570 g

Ek 12. Brij-35 ve MIBC Karışımı ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri
 [Toplam Başlangıç Derişimi: 0,9 mg/g kömür]

Çizelge E.12.1. Deney BM1 (%5 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	46	10,27	2,86	2,86
2	76	13,72	4,25	7,11
3	185	18,85	5,72	12,83
4	*	7,63	4,19	17,02

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
7,41	7,41	562,85	26,88	4,5580
9,47	16,88	553,38	22,63	3,9288
13,13	30,01	540,25	16,91	3,0350
3,44	33,45	536,81	12,72	2,3147

Kons. Katı ,%	Anımsaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
27,8481	6	2,6884	2,6884	0,1716
30,9767	6	3,9950	6,6834	0,2550
30,3448	6	5,3768	12,0602	0,3432
54,9148	7	3,8967	15,9569	0,2933

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kk(küm)	Anımsaki Kalite	Küm. Kalite
0,1716	6,0000	0,1192	0,7494	0,7494
0,4266	6,0000	0,2963	0,7494	0,7494
0,7698	6,0000	0,5347	0,7494	0,7494
1,0631	6,2462	0,7074	0,7077	0,7392

ATIK MİKTARI (kuru):12,72 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 45

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.12.2. Deney BM2 (%10 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	39	9,92	2,88	2,88
2	60	14,63	4,41	7,29
3	216	25,26	7,47	14,76
4	*	8,18	4,42	19,18

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
7,04	7,04	563,22	26,86	4,5519
10,22	17,26	553	22,45	3,9013
17,79	35,05	535,21	14,98	2,7227
3,76	38,81	531,45	10,56	1,9483

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
29,0323	5	2,7360	2,7360	0,1440
30,1435	6	4,1454	6,8814	0,2646
29,5724	6	7,0218	13,9032	0,4482
54,0342	7	4,1106	18,0138	0,3094

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kg(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,1440	5,0000	0,1213	0,7912	0,7912
0,4086	5,6049	0,3051	0,7494	0,7659
0,8568	5,8049	0,6164	0,7494	0,7576
1,1662	6,0803	0,7986	0,7077	0,7461

ATIK MİKTARI (kuru):10,56 g

ATIK KÜL : % 52

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.12.3. Deney BM3 (%15 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	45	12,08	3,5	3,5
2	68	23,09	6,66	10,16
3	204	18,04	5,48	15,64
4	*	9,63	4,53	20,17

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
8,58	8,58	561,68	26,24	4,4632
16,43	25,01	545,25	19,58	3,4665
12,56	37,57	532,69	14,1	2,5787
5,1	42,67	527,59	9,57	1,7816

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
28,9735	6	3,2900	3,2900	0,2100
28,8437	5	6,3270	9,6170	0,3330
30,3769	7	5,0964	14,7134	0,3836
47,0405	7	4,2129	18,9263	0,3171

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2100	6,0000	0,1459	0,7494	0,7494
0,5430	5,3445	0,4264	0,7912	0,7768
0,9266	5,9246	0,6523	0,7077	0,7526
1,2437	6,1661	0,8391	0,7077	0,7425

ATIK MİKTARI (kuru):9,57 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 56,5

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.12.4. Deney BM4 (%25 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	42	39.55	9.95	9.95
2	97	27.77	7.41	17.36
3	*	11.28	5.27	22.63

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
29.6	29.6	540.66	19.79	3,5311
20.36	49.96	520.3	12.38	2,3241
6.01	55.97	514.29	7.11	1,3636

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kıl ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kıl ,g
25.1580	7	9.2535	9,2535	0,6965
26,6835	7	6,8913	16,1448	0,5187
46,7199	8	4,8484	20,9932	0,4216

Kons.Küm.Kıl ,g	Kons.Küm.Kıl ,%	Fraks.GK ,kıl(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,6965	7,0000	0,4102	0,7077	0,7077
1,2152	7,0000	0,7158	0,7077	0,7077
1,6368	7,2329	0,9307	0,6659	0,6980

ATIK MİKTARI (kuru):7,11 g

ATIK KÜL : % 71.5

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Ek 13. SDS ve MIBC Karışımı ile Yapılan Köpük Flotasyonu Deney Verileri

[Toplam Başlangıç Derişimi: 0,375 mg/ g kömür]

Çizelge E.13.1. Deney SM1 (%27 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	29	16.51	3.91	3.91
2	41	17.74	4.24	8.15
3	97	25.48	6.92	15.07
4	230	9.25	2.48	17.55
5	*	6.27	3.73	21.28

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
12,6	12,6	557,66	25,83	4,4268
13,5	26,1	544,16	21,59	3,8162
18,56	44,66	525,6	14,67	2,7153
6,77	51,43	518,83	12,19	2,2956
2,54	53,97	516,29	8,46	1,6122

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
23,6826	7	3,6363	3,6363	0,2737
23,9008	7	3,9432	7,5795	0,2968
27,1586	7	6,4356	14,0151	0,4844
26,8108	7,5	2,2940	16,3091	0,1860
59,4896	8	3,4316	19,7407	0,2984

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2737	7,0000	0,1612	0,7077	0,7077
0,5705	7,0000	0,3360	0,7077	0,7077
1,0549	7,0000	0,6213	0,7077	0,7077
1,2409	7,0707	0,7230	0,6868	0,7047
1,5393	7,2336	0,8752	0,6659	0,6979

ATIK MİKTARI (kuru): 8,46 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : %61,50

SU Besleme : 558 g

Çizelge E.13.2. Deney SM2 (%40 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım .g	Kons.Kuru Tartım.g	Küm.Katı GK.g
1	37	35.26	7.81	7.81
2	62	19.18	4.93	12.74
3	114	16.08	4.53	17.27
4	264	9.09	2.32	19.59
5	*	5.04	2.69	22.28

Kons.Su miktarı.g	Küm.Su GK.g	Hücredeki Su .g	Hücredeki Katı .g	Karşımdaki Katı ,%
27.45	27.45	542.81	21.93	3.8832
14.25	41.7	528.56	17	3.1161
11.55	53.25	517.01	12.47	2.3551
6.77	60.02	510.24	10.15	1.9505
2.35	62.37	507.89	7.46	1.4476

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK.g	Küm. KK-KömürGK.g	Herbır Kons. Kül .g
22.1497	7.5	7.2243	7.2243	0.5858
25.7039	7	4.5849	11.8092	0.3451
28.1716	8	4.1676	15.9768	0.3624
25.5226	8,5	2.1228	18.0996	0.1972
53.3730	9	2.4479	20.5475	0.2421

Kons.Küm.Kül .g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0.5858	7.5000	0.3203	0.6868	0.6868
0.9309	7.3065	0.5235	0.7077	0.6949
1.2933	7.4884	0.7083	0.6659	0.6873
1.4905	7.6082	0.8024	0.6450	0.6823
1.7326	7.7763	0.9110	0.6242	0.6753

ATIK MİKTARI (kuru): 7.46 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : %69,5

SU Besleme : 560 g

Çizelge E.13.3. Deney SM3 (%53,3 MIBC)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	33	22,72	4,9	4,9
2	50	18,85	4,51	9,41
3	102	23,63	5,96	15,37
4	234	13,92	3,63	19
5	*	8,63	4,05	23,05

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
17,82	17,82	552,44	24,84	4,3029
14,34	32,16	538,1	20,33	3,6406
17,67	49,83	520,43	14,37	2,6870
10,29	60,12	510,14	10,74	2,0619
4,58	64,7	505,56	6,69	1,3060

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
21,5669	7	4,5570	4,5570	0,3430
23,9257	7,5	4,1718	8,7288	0,3383
25,2222	8,5	5,4534	14,1822	0,5066
26,0776	8	3,3396	17,5218	0,2904
46,9293	9	3,6855	21,2073	0,3645

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,3430	7,0000	0,2020	0,7077	0,7077
0,6813	7,2396	0,3870	0,6868	0,6977
1,1879	7,7284	0,6288	0,6450	0,6773
1,4783	7,7803	0,7768	0,6659	0,6751
1,8428	7,9946	0,9402	0,6242	0,6662

ATIK MIKTARI (kuru): 6,69 g

ATIK KÜL : %73,50

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 562,5 g

Ek 14. Farklı Boyut Dağılımına Sahip Kömür Örnekleri ile Yapılan Köpük Flotasyonu
Deney Verileri [Toplam Başlangıç Derişimi: 0,9 mg(Triton X100+MIBC)/g
kömür (%5MIBC)]

* Çizelge E.11.2’de Deney TM2 (orjinal kömür) flotasyon deney verileri verilmiştir.

Çizelge E.14.1. Deney P1 (%25 ince kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	35	13.01	3.53	3.53
2	54	10.74	2.84	6.37
3	81	14.48	4.19	10.56
4	235	11.25	3.12	13.68
5	*	6.27	3.33	17.01

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hilcredeki Su ,g	Hilcredeki Katı ,g	Karışındaki Katı ,%
9.48	9.48	560.78	26.21	4.4652
7.9	17.38	552.88	23.37	4.0555
10.29	27.67	542.59	19.18	3.4142
8.13	35.8	534.46	16.06	2.9172
2.94	38.74	531.52	12.73	2.3390

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
27.1330	8	3.2476	3.2476	0.2824
26.4432	8	2.6128	5.8604	0.2272
28.9365	9	3.8129	9.6733	0.3771
27.7333	9	2.8392	12.5125	0.2808
53.1100	9.5	3.0137	15.5262	0.3164

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0.2824	8.0000	0.1440	0.6659	0.6659
0.5096	8.0000	0.2598	0.6659	0.6659
0.8867	8.3968	0.4289	0.6242	0.6494
1.1675	8.5344	0.5547	0.6242	0.6436
1.4839	8.7234	0.6883	0.6033	0.6357

ATIK MİKTARI (kuru): 12.73g

ATIK KÜL : % 44

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.14.2. Deney P2 (%50 ince kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	53	12,72	3,26	3,26
2	68	10,85	2,73	5,99
3	118	12,63	3,45	9,44
4	310	11,92	2,78	12,22
5	*	5,63	2,51	14,73

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
9,46	9,46	560,8	26,48	4,5089
8,12	17,58	552,68	23,75	4,1202
9,18	26,76	543,5	20,3	3,6006
9,14	35,9	534,36	17,52	3,1746
3,12	39,02	531,24	15,01	2,7478

Kons. Katı ,%	Anımsaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
25,6289	10	2,9340	2,9340	0,3260
25,1613	11	2,4297	5,3637	0,3003
27,3159	12	3,0360	8,3997	0,4140
23,3221	12	2,4464	10,8461	0,3336
44,5826	12	2,2088	13,0549	0,3012

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK Jık(küm)	Anımsaki Kalite	Küm. Kalite
0,3260	10,0000	0,1301	0,5824	0,5824
0,6263	10,4558	0,2378	0,5407	0,5634
1,0403	11,0201	0,3724	0,4989	0,5398
1,3739	11,2430	0,4809	0,4989	0,5305
1,6751	11,3720	0,5788	0,4989	0,5251

ATIK MİKTARI (kuru): 15,01 g

ATIK KÜL : % 36

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.14.3. Deney P3 (%75 ince kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	35	7.26	1.79	1.79
2	57	8.18	2.16	3.95
3	139	20.58	5.14	9.09
4	290	7.59	1.69	10.78
5	*	5.04	2.28	13.06

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
5.47	5.47	564.79	27.95	4.7154
6.02	11.49	558.77	25.79	4.4119
15.44	26.93	543.33	20.65	3.6615
5.9	32.83	537.43	18.96	3.4077
2.76	35.59	534.67	16.68	3.0253

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
24.6556	10	1.6110	1,6110	0.1790
26.4059	12	1.9008	3,5118	0.2592
24.9757	13	4.4718	7.9836	0.6682
22.2661	15	1.4365	9,4201	0.2535
45.2381	14	1.9608	11,3809	0.3192

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül ,%	FraKS.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0.1790	10.0000	0.0714	0.5824	0.5824
0.4382	11.0937	0.1557	0.4989	0.5367
1.1064	12.1716	0.3539	0.4571	0.4917
1.3599	12.6150	0.4176	0.3736	0.4732
1.6791	12.8568	0.5046	0.4154	0.4631

ATIK MİKTARI (kuru): 16.68 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29.74 g} \\ \text{K.K. :22.556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 32

SU Besleme : 570 g

Çizelge E.14.4. Deney P4 (%100 ince kömür)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	55	8,13	1,87	1,87
2	86	8,55	2,02	3,89
3	193	15,27	3,37	7,26
4	364	7,28	1,44	8,7
5	*	4,72	1,69	10,39

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karışımındaki Katı ,%
6,26	6,26	564	27,87	4,7088
6,53	12,79	557,47	25,85	4,4315
11,9	24,69	545,57	22,48	3,9574
5,84	30,53	539,73	21,04	3,7520
3,03	33,56	536,7	19,35	3,4799

Kons. Katı ,%	Anıdaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
23,0012	16	1,5708	1,5708	0,2992
23,6257	17	1,6766	3,2474	0,3434
22,0694	19	2,7297	5,9771	0,6403
19,7802	19	1,1664	7,1435	0,2736
35,8051	19	1,3689	8,5124	0,3211

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül, %	Fraks.GK ,kk(küm)	Anıdaki Kalite	Küm. Kalite
0,2992	16,0000	0,0696	0,3319	0,3319
0,6426	16,5193	0,1440	0,2901	0,3102
1,2829	17,6708	0,2650	0,2066	0,2621
1,5565	17,8908	0,3167	0,2066	0,2529
1,8776	18,0712	0,3774	0,2066	0,2454

ATIK MİKTARI (kuru): 19,35 g

ATIK KÜL : % 27

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

SU Besleme : 570 g

Ek 15. Hava Akış Hızı Değişimi ile Yapılan Köptük Flotasyonu Deney Verileri

[Toplam Başlangıç Derişimi:0,9 mg(Triton X100+MIBC)/g kömür (%5 MIBC)]

Çizelge E.15.1. Deney H1 (0,76 L/dk)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım .g	Kons.Kuru Tartım.g	Küm.Katı GK.g
1	123	12.26	3,74	3,74
2	150	17.68	5,5	9.24
3	237	14.08	4,6	13.84
4	410	9.09	2.85	16.69
5	*	4.04	2.43	19.12

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su .g	Hücredeki Katı .g	Karışımındaki Katı ,%
8.52	8.52	561.74	26	4.4237
12.18	20,7	549.56	20,5	3.5961
9.48	30,18	540,08	15,9	2.8598
6.24	36,42	533,84	13,05	2.3862
1,61	38,03	532,23	10,62	1,9563

Kons. Katı ,%	Anımdaki Kıl ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kıl .g
30,5057	6,5	3.4969	3.4969	0.2431
31,1086	6	5.1700	8.6669	0.3300
32,6705	7	4.2780	12.9449	0.3220
31,3531	7	2.6505	15.5954	0.1995
60,1485	7	2.2599	17.8553	0.1701

Kons.Küm.Kıl .g	Kons.Küm.Kıl, %	Fraks.GK ,kıl(küm)	Anımdaki Kalite	Küm. Kalite
0.2431	6,5000	0.1550	0.7286	0.7286
0,5731	6.2024	0.3842	0.7494	0.7410
0,8951	6.4675	0.5739	0.7077	0.7299
1.0946	6.5584	0.6914	0.7077	0.7261
1,2647	6.6145	0.7916	0.7077	0.7238

ATIK MİKTARI (kuru): 10,62 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 53,00

SU Besleme : 570 g

* Çizelge E.11.2'de Deney TM2 (2,1 L/dk) flotasyon deney verileri verilmiştir.

Çizelge E.15.2. Deney H2 (3,43 L/dk)

Kons.No	Zaman (sn)	Kons. Islak Tartım ,g	Kons.Kuru Tartım,g	Küm.Katı GK,g
1	14	13,63	3,17	3,17
2	27	20,55	4,89	8,06
3	42	19,27	4,78	12,84
4	100	12,78	3,41	16,25
5	253	10,72	3,04	19,29
6	*	29,5	2	21,29

Kons.Su miktarı,g	Küm.Su GK,g	Hücredeki Su ,g	Hücredeki Katı ,g	Karşımdaki Katı ,%
10,46	10,46	559,8	26,57	4,5313
15,66	26,12	544,14	21,68	3,8316
14,49	40,61	529,65	16,9	3,0921
9,37	49,98	520,28	13,49	2,5273
7,68	57,66	512,6	10,45	1,9979
27,5	85,16	485,1	8,45	1,7121

Kons. Katı ,%	Anındaki Kül ,%	KK-Kömür GK,g	Küm. KK-KömürGK,g	Herbir Kons. Kül ,g
23,2575	6,5	2,9640	2,9640	0,2061
23,7956	7	4,5477	7,5117	0,3423
24,8054	7	4,4454	11,9571	0,3346
26,6823	8	3,1372	15,0943	0,2728
28,3582	9	2,7664	17,8607	0,2736
6,7797	9,65	1,8070	19,6677	0,1930

Kons.Küm.Kül ,g	Kons.Küm.Kül,%	Fraks.GK ,kk(küm)	Anındaki Kalite	Küm. Kalite
0,2061	6,5000	0,1314	0,7286	0,7286
0,5484	6,8033	0,3330	0,7077	0,7159
0,8830	6,8766	0,5301	0,7077	0,7128
1,1558	7,1123	0,6692	0,6659	0,7030
1,4294	7,4098	0,7918	0,6242	0,6906
1,6224	7,6202	0,8719	0,5970	0,6818

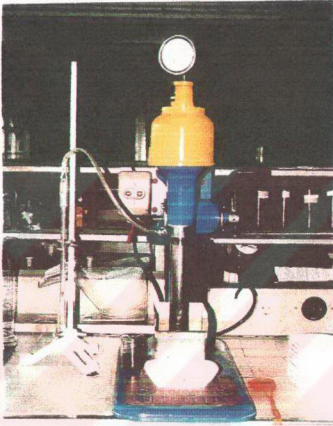
ATIK MİKTARI (kuru): 7,73 g

Kömür Besleme : 30 g $\left\{ \begin{array}{l} \text{Kuru:29,74 g} \\ \text{K.K. :22,556 g} \end{array} \right\}$

ATIK KÜL : % 67

SU Besleme : 570 g

Ek 16. Köpük Flotasyonu Deney Sistemi



ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Ankara'da doğdu. İlköğrenimini Polatlı'da, ortaöğrenimini Ankara'da tamaladı. 1996 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 2000 yılında Kimya Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. 2000-2001 öğretim yılı Bahar yarıyılında Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 12 Kasım 2002 tarihinden itibaren Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.