

Adıyaman-Gölbaşı Linyitinin Değerlendirilme Olanaklarının Araştırılması

Halime Abakay Temel

DOKTORA TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan 2007

Investigation on Evaluation Possibilities of Adıyaman-Gölbaşı Lignite

Halime Abakay Temel

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Mining Engineering

April 2007

Adıyaman-Gölbaşı Linyitinin Değerlendirilme Olanaklarının Araştırılması

Halime ABAKAY TEMEL

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Cevher Hazırlama Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Volkan BOZKURT

Nisan-2007

Halime Abakay Temel'in DOKTORA tezi olarak hazırladığı “Adıyaman-Gölbaşı Linyitinin Değerlendirilme Olanaklarının Araştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Doç Dr Volkan BOZKURT (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA

Üye : Prof. Dr. Yaşar UÇBAŞ

Üye : Prof. Dr. Sabiha KOCA

Üye : Doç. Dr. Halim MUTLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ADİYAMAN-GÖLBAŞI LİNYİTİNİN DEĞERLENDİRİLMİŞ OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

HALİME ABAKAY TEMEL

ÖZET

Bu çalışmada, Soykan kömür işletmesinden alınan Adıyaman-Gölbaşı linyitinin değerlendirilme olanakları araştırılmıştır. Deneyisel çalışmalar, kuru bazda %29,47 kül, %46,15 uçucu madde, %24,38 sabit karbon, %2,78 toplam kükürt ve 4271 kcal/kg üst ısı değerine sahip linyit numunesi üzerinde yapılmıştır. Yüzdürme-batırma çalışmaları sonucunda, linyit numunesinin yıkanabilirliğinin iyi olmadığı belirlenmiştir. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin kül ve kükürt içeriklerinin azaltılması amacı ile karıştırma ve şlam atma, flotasyon, aglomerasyon ve agloflotasyon çalışmaları yapılmıştır.

Karıştırma ve şlam atma çalışmaları sonucunda, %28,29 kül içeren +0,038 mm'lik kısım, %75,24 yanabilir verimle elde edilmiştir. Şlam uzaklaştırıldıktan sonra yapılan flotasyon çalışmaları sonucunda, %15,04 küllü konsantre %1,19 toplam kükürt ve %27,59 yanabilir verim ile elde edilmiştir. Şlam uzaklaştırılmadan yapılan flotasyon deneyi sonucunda, %22,11 küllü konsantre %2,25 toplam kükürt ve %13,44 yanabilir verim ile elde edilmiştir. Şlam uzaklaştırıldıktan sonra yapılan aglomerasyon çalışmaları sonucunda, %16,60 küllü konsantre %1,33 toplam kükürt ve %79,36 yanabilir verim ile elde edilmiştir. Şlam uzaklaştırılmadan yapılan aglomerasyon deneyi sonucunda, %27,48 küllü konsantre %2,62 toplam kükürt ve %49,06 yanabilir verim ile elde edilmiştir. Şırnak asfaltiti aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon deneyleri sonucunda, %19,15 küllü konsantre %1,80 toplam kükürt ve %85,13 yanabilir verimle elde edilmiştir. Hazro kömürü aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon deneyleri sonucunda, %14,23 küllü konsantre, %1,71 toplam kükürt ve %86,59 yanabilir verim ile elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kömür, Yıkanabilirlik, Flotasyon, Aglomerasyon, Agloflotasyon

INVESTIGATION ON EVALUATION POSSIBILITIES OF ADİYAMAN-GÖLBAŞI LIGNITE

HALİME ABAKAY TEMEL

SUMMARY

In this study, the evaluation possibilities of Adıyaman-Gölbaşı lignite taken from Soykan Coal Management were investigated. Experimental studies were performed with the lignite sample on dry bases with ash, total sulfur, volatile matter, fixed carbon and gross calorific value of 29,47%, 2,78%, 46,15%, 24,38% and 4271 kcal/kg, respectively. Sink and float experiments revealed that washability of lignite sample was not satisfactory. Mixing and desliming, flotation, agglomeration and agglototation studies were performed further to reduce the ash and sulfur contents of Adıyaman-Gölbaşı lignite.

As a result of mixing and desliming studies, a product (+ 0,038 mm) containing 28,29% ash with 75,24% combustible yield was obtained. In flotation studies with desliming, a concentrate containing 15,04% ash and 1,19% total sulfur with 27,59% combustible yield was obtained. At the end of flotation experiments without desliming, a concantrate containing 22,11% ash and 2,25% total sulfur with 13,44% combustible yield was obtained. In agglomeration studies with desliming, a concentrate containing 16,60% ash and 1,33% total sulfur with 79,36% combustible yield was obtained. In the case of agglomeration studies without desliming, a concantrate containing 27,48% ash and 2,62% total sulfur with 49,06% combustible yield was obtained. In agglototation experiments with Şırnak asphaltite agglomerates, a concantrate containing 19,15% ash and 1,80% total sulfur with 85,13% combustible yield was obtained. In the case of agglototation experiments with Hazro coal agglomerates, a concentrate containing 14,23% ash and 1,71% total sulfur with 86,59% combustible yield was obtained.

Keywords: Coal, Washability, Flotation, Agglomeration, Agglototation

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan Danışman Hocam Doç. Dr. Volkan BOZKURT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında değerli fikirleri ve manevi desteği ile her zaman yön ve destek veren Yrd. Doç. Dr. Fatma Deniz AYHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA, Prof. Dr. Yaşar UÇBAŞ, Prof. Dr. Sabiha KOCA ve Doç. Dr. Halim MUTLU'ya katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında değerli fikirlerinden yararlandığım Doç. Dr. Mustafa AYHAN'a ve Yrd. Doç. Dr. M. Şefik İMAMOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. SOYKAN Enerji Madencilik İnşaat Turizm ve Süt Ürünleri Sanayi Ticaret A.Ş.'den Mustafa İLHAN'a numune alımı sırasında gösterdiği yakın ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında her türlü kolaylığı sağlayan Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ1	1
2. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER	3
2.1 Kömürün Tanımı ve Sınıflandırılması	3
2.2 Kömürün Petrografik Özellikleri	4
2.2.1 Maseraller (Organik yapıcılar)	4
2.2.1.1 Makropetrografik yapıcılar	5
2.2.1.1 Mikropetrografik yapıcılar	6
2.2.2 Mineraller ve iz elementler.....	8
2.3 Kömürün Kimyasal Özellikleri	13
2.4 Kömürün Fiziksel Özellikleri.....	13
2.4.1 Nem	13
2.4.2 Özgül ağırlık.....	13
2.4.3 Yapı ve kırılma	14
2.4.4 Tane boyu dağılımı.....	14
2.4.5 Sertlik	15
2.4.6 Gevreklik ve mukavemet.....	15
2.4.7 Öğünebilirlik.....	16
2.4.8 Açık havada dağılganlık.....	16
2.4.9 Aşındırıcılık.....	16
2.4.10 Renk ve çizgi rengi.....	16
2.4.11 Parlaklık.....	17

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3. KÖMÜR HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ	18
3.1 Kömürün Yıkanabilirliği	18
3.1.1 Kömür yıkanabilme özelliğinin tespiti	18
3.1.2 Kömür yıkama sonuçlarının değerlendirilmesi	19
3.2 Boyutlandırma ve Kurutma	21
3.3 Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme	21
3.3.1 Ağır ortam ayırma	21
3.3.2 Ağır ortam siklonları	22
3.3.3 Jigler	22
3.3.4 Sallantılı masalar	23
3.2 Manyetik Zenginleştirme	23
3.3 Düşük Sıcaklık Karbonizasyonu	23
3.2 Flotasyon	24
3.3 Selektif Flokülasyon ve Aglomerasyon	25
4. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE KÖMÜR REZERVİ.....	28
4.1 Dünyada Kömür Rezervi.....	28
4.2 Türkiye’de Kömür Rezervi	29
5. ADIYAMAN-GÖLBAŞI LİNYİT SAHASI	34
5.1 Coğrafi Durum	34
5.2 Adıyaman-Gölbaşı Linyitinin Kimyasal, Fiziksel ve Petrografik Özellikler. 34	
5.2.1 Kimyasal özellikler.....	34
5.2.2 Fiziksel özellikler	36
5.2.3 Petrografik özellikler.....	36
5.3 Genel Jeoloji.....	36
5.3.1 Stratigrafi.....	36
5.3.2 Tektonizma	38

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.3.3	Palinolojik özellikler	39
5.3.4	Kömür kalınlığı	39
5.3.5	Kömürün taban ve tavan kayaçları	39
5.4	Rezerv.....	39
6.	ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	40
7.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	60
7.1	Malzeme	60
7.2	Yöntem	67
7.2.1	Boyut Küçültme.....	67
7.2.2	Yüzdürme-Batırma Deneyleri	67
7.2.3	Karıştırma ve Şlam Atma	67
7.2.4	Flotasyon	68
7.2.5	Aglomerasyon.....	68
7.2.6	Agloflotasyon	69
8.	DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	70
8.1	Boyut Küçültme	70
8.2	Yüzdürme-Batırma Deneyleri	73
8.3	Karıştırma ve Şlam Atma	76
8.3.1	Katı oranının etkisi	76
8.3.2	NaOH'in etkisi.....	77
8.3.3	HCl'in etkisi	78
8.4	Flotasyon	80
8.4.1	Öğütme süresinin etkisi	80
8.4.2	Katı oranının etkisi	83
8.4.3	pH'in etkisi	84

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

8.4.4	Bastırıcı türü ve miktarının etkisi	86
8.4.5	Toplayıcı türünün etkisi.....	88
8.4.6	Toplayıcı miktarının etkisi	89
8.4.7	Köpürtücü türünün etkisi	91
8.4.8	Köpürtücü miktarının etkisi.....	91
8.4.9	Temizleme flotasyonu	94
8.4.10	Deniz suyu ve Sodalı göl suyunun etkisi.....	95
8.4.11	Şlam uzaklaştırılmadan yapılan flotasyon.....	99
8.5	Aglomerasyon	107
8.5.1	pH'nın etkisi	107
8.5.2	Katı oranının etkisi	109
8.5.3	Bağlayıcı türünün etkisi.....	111
8.5.4	Bağlayıcı oranının etkisi.....	111
8.5.5	Elek boyutunun etkisi	113
8.5.6	Sodalı göl suyu ve deniz suyunun etkisi.....	114
8.5.7	Farklı tuzların etkisi.....	115
8.5.8	Şlam uzaklaştırılmadan yapılan aglomerasyon	119
8.6	Agloflotasyon	131
8.6.1	Şırnak asfaltiti aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon.....	132
8.6.2	Hazro kömürü aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon.....	135
9.	SONUÇ VE ÖNERİLER	141
	KAYNAKLAR DİZİNİ	148

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

EK AÇIKLAMALAR.....	160
Ek Açıklamalar-A	160
Ek Açıklamalar-B	165
Ek Açıklamalar-C	166
Ek Açıklamalar-D	167
Ek Açıklamalar-E	170
Ek Açıklamalar-F	171
Ek Açıklamalar-G	175
Ek Açıklamalar-H	177
 ÖZGEÇMİŞ	 181

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Adıyaman-Gölbaşı linyit sahasının yer bulduru haritası.....	35
7.1 Adıyaman-Gölbaşı linyiti numune hazırlama akım şeması	61
7.2 Adıyaman-Gölbaşı linyitinin X-Ray analiz sonuçları.....	63
7.3 Şırnak asfaltiti numune hazırlama akım şeması.....	64
7.4 Hazro kömür numune hazırlama akım şeması.....	64
8.1 Adıyaman-Gölbaşı linyitinin nem oranının güne göre değişimi.....	71
8.2 Adıyaman-Gölbaşı linyitinin öğütme testlerinin toplu sonuçları.....	71
8.3 Adıyaman-Gölbaşı linyiti -50+20 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri.....	73
8.4 Adıyaman-Gölbaşı linyiti -20+4,75 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri.....	74
8.5 Adıyaman-Gölbaşı linyiti -4,75+0,5 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri.....	75
8.6 Katı oranının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi.....	77
8.7 NaOH'in kül ve yanabilir verim üzerine etkisi	78
8.8 HCl'in kül ve yanabilir verim üzerine etkisi	79
8.9 Öğütme süresinin kül ve yanabilir verim üzerine etkisi	82
8.10 Öğütme süresinin toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi.....	82
8.11 Katı oranının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi.....	83
8.12 Katı oranının toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi	84
8.13 pH'nın kül ve yanabilir verim üzerine etkisi	85
8.14 pH'nın toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi	85
8.15 Na ₂ SiO ₃ 'ün flotasyon üzerindeki etkisi	87
8.16 Calgon'un flotasyon üzerindeki etkisi	87
8.17 Toplayıcı miktarının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi.....	90
8.18 Toplayıcı miktarının toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi ..	90
8.19 Köpürtücü miktarının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi.....	92
8.20 Köpürtücü miktarının toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi.	92
8.21 Çeşme suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin flotasyon akım şeması ve malzeme dengesi	103

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.22 Ege denizi suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin flotasyon akım şeması ve malzeme dengesi	104
8.23 Sodalı göl suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin flotasyon akım şeması ve malzeme dengesi	105
8.24 Adıyaman-Gölbaşı linyitinin karıştırma ve şlam atma işlemi yapılmadan yapılan flotasyon akım şeması ve malzeme dengesi	106
8.25 pH'ın kül içeriği ve yanabilir verim üzerine etkisi	108
8.26 pH'ın toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi	108
8.27 Katı oranının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi.....	110
8.28 Katı oranının toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi	110
8.29 Bağlayıcı oranının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi	112
8.30 Bağlayıcı oranının toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi....	112
8.31 NaCl'ün kül ve yanabilir verimi üzerine etkisi	116
8.32 NaCl'ün toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi.....	116
8.33 MgCl ₂ 'ün kül ve yanabilir verim üzerine etkisi.....	117
8.34 MgCl ₂ 'ün toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi	117
8.35 FeCl ₃ 'ün kül ve yanabilir verimi üzerine etkisi	118
8.36 FeCl ₃ 'ün toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi.....	118
8.37 Çeşme suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi	122
8.38 Ege denizi suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi	123
8.39 Karadeniz suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi	124
8.40 Akdeniz suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi	125
8.41 Sodalı göl suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi	126
8.42 300 mg/lı NaCl ortamında Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi	127

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.43 200 mg/lt $MgCl_2$ ortamında Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi	128
8.44 200 mg/lt $FeCl_3$ ortamında Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi	129
8.45 Şlam uzaklaştırılmadan Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi	130
8.46 Şırnak asfaltiti aglomeratları ile yapılan agloflotasyondaki kül azalması	134
8.47 Şırnak asfaltiti aglomeratları ile yapılan agloflotasyondaki toplam kükürt azalması.....	134
8.48 Hazro kömürü aglomeratları ile yapılan agloflotasyondaki kül azalması.....	137
8.49 Hazro kömürü aglomeratları ile yapılan agloflotasyondaki toplam kükürt azalması.....	137
8.50 %10 oranında Şırnak asfaltiti aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon akım şeması ve malzeme dengesi	139
8.51 %25 oranında Hazro kömürü aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon akım şeması ve malzeme dengesi	140

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Uluslararası genel kömür sınıflaması.....	4
2.2 Çeşitli ranklarda (kömürleşme derecelerinde) kömür özellikleri	4
2.3 Taşkömürlerinin organik yapıcılar.....	5
2.4 Kahverengi kömürlerin ve linyitlerin organik yapıcılar	8
2.5 Kömürlerde az miktarda veya iz olarak bulunan elementler	11
2.6 Kömürün içerdiği mineral maddeler	12
3.1 Ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarına göre kömürün yıkanma kolaylığı	20
4.1 Dünya fosil yakıtları mevcut rezervlerinin kullanılabilme süreleri	28
4.2 Türkiye taşkömürü rezervleri.....	29
4.3 Türkiye’de linyit rezervlerinin bölgesel dağılımı ve ortalama kimyasal özellikleri	30
4.4 Türkiye’deki asfaltitlerin kimyasal özellikleri.....	31
4.5 Filonlar itibariyle Türkiye asfaltit rezervleri.....	32
7.1 Adıyaman-Gölbaşı linyitinin kimyasal analiz sonuçları.....	60
7.2 Adıyaman-Gölbaşı linyitinin petrografik analiz sonuçları.....	62
7.3 Adıyaman-Gölbaşı linyitinin major element analiz sonuçları	62
7.4 Şırnak asfaltitinin kimyasal analiz sonuçları	65
7.5 Şırnak asfaltitinin major element analiz sonuçları.....	65
7.6 Şırnak asfaltitinin minör element analiz sonuçları.....	65
7.7 Hazro kömürünün kimyasal analiz sonuçları.....	66
7.8 Hazro kömürünün major element analiz sonuçları	66
8.1 Adıyaman-Gölbaşı linyitinin elek analiz sonuçları.....	70
8.2 Şırnak asfaltitinin elek analiz sonuçları	72
8.3 Hazro kömürünün elek analiz sonuçları.....	72
8.4 Farklı öğütme sürelerinde öğütülen linyit numunesinin, şlam uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen + 0,038 mm’lik kısımların kül ve toplam kükürt içerikleri	81
8.5 Toplayıcı türünün flotasyon üzerindeki etkisi	88
8.6 Köpürtücü türünün flotasyon üzerindeki etkisi.....	91

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
8.7 Optimum karıştırma ve şlam atma koşullarında, şlam uzaklaştırıldıktan sonra Adıyaman-Gölbaşı linyitinin üç aşamalı temizleme flotasyon deney sonuçları.	95
8.8 %3,5 tuzluluk oranında deniz suyunun ayrıntılı bileşimi	96
8.9 Başlıca tuz iyonları.....	97
8.10 Ege denizi suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin üç aşamalı temizleme flotasyon deney sonuçları.....	98
8.11 Sodalı göl suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin üç aşamalı temizleme flotasyon deney sonuçları	98
8.12 Karıştırma ve şlam atma işlemi yapmadan, optimum flotasyon koşullarında Adıyaman-Gölbaşı linyitinin üç aşamalı temizleme flotasyonu	100
8.13 Adıyaman-Gölbaşı linyitinin farklı su ortamlarında yapılan flotasyon çalışmalarının toplu sonuçları	100
8.14 Bağlayıcı türünün aglomerasyon üzerindeki etkisi	111
8.15 Elek boyutunun aglomerasyon üzerindeki etkisi	113
8.16 Sodalı göl suyu ve deniz suyunun aglomerasyon üzerindeki etkisi.....	114
8.17 Karıştırma ve şlam atma işlemi yapılmadan Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyonu	119
8.18 Adıyaman-Gölbaşı linyitinin farklı su ortamlarında yapılan aglomerasyon çalışmalarının toplu sonuçları	120
8.19 Farklı oranlarda Şırnak asfaltitinin aglomeratları ile karıştırılan şlamdan uzaklaştırılmış Adıyaman-Gölbaşı linyiti ile oluşturulan malzemelerin kül ve toplam kükürt içerikleri.....	133
8.20 Farklı oranlarda Hazro kömürünün aglomeratları ile karıştırılan şlamdan uzaklaştırılmış Adıyaman-Gölbaşı linyiti ile oluşturulan malzemelerin kül ve toplam kükürt içerikleri.....	136

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin en önemli göstergelerinden birisi enerji üretimidir. Enerji üretiminin tüketimden fazla olması, sanayinin gelişmesine ve milli gelirin artmasına neden olan etkenlerden birisidir. Enerji üretimi, onu sağlayan kaynakların bulunmasına ve bu kaynaklardan optimum düzeyde yararlanılmasına bağlıdır. Enerji üretiminde, fosil yakıtlar (kömür, bitümlü şeyl, petrol ve doğal gaz) büyük önem taşımaktadır.

Fosil yakıtlar sadece enerji hammaddesi değil, aynı zamanda birçok sanayinin (boya, plastik, eczacılık, kozmetik, demir-çelik, alüminyum vs. gibi) ana girdilerinin üretildiği hammaddelerdir. Bugünkü tüketim seviyeleri ile dünya petrol rezervlerinin 40 yıl, doğalgaz rezervlerinin 60 yıl ve kömür rezervlerinin ise 200 yılda tükeneceği tahmin edilmektedir. Petrol ve doğal gazın aksine kömür, altı kıtada 50'den fazla ülkede üretilmektedir (DPT, 2001).

Kömür jeolojik devirler boyunca dönüşüme uğrayarak, yüksek bir kalori değeri kazanmış bitki artıklarından oluşan, farklı fiziksel ve kimyasal özellikteki katı organik yakıtlara verilen isimdir (Yaman vd., 1998). Kömür, dünyanın en bol, en sağlam ve en güvenilir fosil yakıtıdır. Aynı zamanda rekabet edebilir bir maliyete sahiptir. Mevcut madencilik teknolojisi ile dünyada 1 trilyon ton kömür ekonomik olarak üretilecek seviyededir (TKİ, 2006).

Isınma ve ısıtma amacı ile kömür, termik santrallerde, konutlarda, sanayi ve kazan fırınlarında ve ulaşırmada kullanılmaktadır. Kömür enerji hammaddelerinin en önemlilerinden biridir. Kömürde bulunan en önemli safsızlıklar, inorganik maddeler, kükürt ve nemdir. İnorganik maddelerin kömürden ayrılması ile kömürün kül yüzdesi düşürülür ve yanabilir kısım oranı yükseltilebilmektedir (Önal ve Atak, 1988). Kömür temizleme teknolojilerinden en yaygın olanı kömürün yıkanarak mineral madde içeriğinin azaltılmasıdır. Bu fiziksel ayırma işlemi ile kül içeriği kömürden daha az olan yıkanmış kömür elde edilebilmektedir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998).

Kömürün yıkanabilirlik verilerine göre fiziksel yöntemler ile kömürün ne ölçüde temizlenebileceği veya belli bir kalitede kömür elde etmek için verimin ne olacağı belirlenebilmektedir. Yıkanabilirlik verilerinin değerlendirilmesi sonucu kömürün fiziksel yöntem ile temizlenmesinin kolay veya zor olduğu tespit edilmektedir. Bu amaçla, Soykan kömür işletmesinden alınan Adıyaman-Gölbaşı linyiti üzerinde kimyasal, petrografik analizler yapıldıktan sonra linyit numunesinin yıkanabilme özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra; flotasyon, aglomerasyon ve agloflotasyon yöntemlerini kullanılarak Adıyaman-Gölbaşı linyitinin kül ve kükürt içeriğinin azaltılması araştırılmıştır.

2. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Kömürün Tanımı ve Sınıflandırılması

Kömür değişik oranlarda organik ve inorganik bileşenler içeren tortul bir kayadır. Kömür, uygun ortamlarda, bataklıklarda bozunma ve çürümeden kurtulan, bitki kalıntı birikimlerinin zamanla biyokimyasal ve fiziksel etkilerle değişimi sonucu oluşur (Özpeker, 1988).

Uluslararası Kömür Kurulunca kömürler için genel bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamada kömürler iki ayrı sınıfa ayrılmıştır.

- a) *Sert kömürler*; ıslak ve külsüz bazda 5,700 kcal/kg'ın üzerinde kalorifik değerdedir. Uçucu madde içeriği, kalorifik değer ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılırlar.
- b) *Kahverengi kömürler*; ıslak ve külsüz bazda 5,700 kcal/kg'ın altında kalorifik değerdedir. Toplam nem içeriği ve kalorifik değerlere göre alt sınıflara ayrılırlar (DPT, 2001).

Uluslararası kömür sınıflamasında kabul edilen diğer bir sınıflama işlemi ise kömürleşme derecesi sınıflamasıdır (kömür rank sınıflaması). Bu sınıflamada karbon içeriği temel değişkendir. Kömürleşme derecesi yüksek kömürlerde uçucu madde içeriği, kömürleşme derecesi düşük kömürlerde ise kalorifik değer baz alınarak sınıflandırılmıştır (DPT, 2001). Uluslararası genel kömür sınıflaması ve kömür rank sınıflaması ve özellikleri Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Uluslararası genel kömür sınıflaması (DPT, 2001)

A- SERT KÖMÜRLER	B- KAHVERENGİ KÖMÜRLER
1- Koklaşabilir kömürler (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede)	1- Alt bitümlü kömürler (4,165-5,700 kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
2- Koklaşmayan kömürler	2- Linyit (4,165 kcal/kg'ın altında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
a) Bitümlü kömürler	
b) Antrasit	

Çizelge 2.2. Çeşitli ranklarda (kömürleşme derecelerinde) kömür özellikleri (DPT, 2001)

Kömürleşme derecesi (rank)	Uçucu madde içeriği (% Ağırlık, Islak-külsüz)	Karbon içeriği (% Ağırlık, Islak-külsüz)	Kalorifik değer (Btu/Lb, Mineral maddesiz)	Nem içeriği (% Ağırlık)
1. LİNYİT	69-44	76-62	8.300-6.300	52-30
2. ALT BİTÜMLÜ	52-40	80-71	11.500-8.300	30-12
3. BİTÜMLÜ				
a) Yüksek uçuculu-B	50-29	86-76	13.000-10.500	15-2
b)Yüksek uçuculu-C				
c) Yüksek uçuculu-A	49-31	88-78	14.000	5-1
d) Orta uçuculu	31-22	91-86	14.000	5-1
e)Düşük uçuculu	22-14	91-86	14.000	5-1
4. ANTRASİT	14-2	99-91	14.000	5-1

2.2 Kömürün Petrografik Özellikleri

2.2.1 Maseraller (Organik yapıcılar)

Kömür organik ve inorganik bileşenlerden oluşmaktadır. Organik bileşenlere *maseral* denilmektedir. Maserallerin kimyasal ve fiziksel özellikleri çok değişkendir.

2.2.1.1 Makropetrografik yapıcılar

Kömürler, makroskobik olarak yataklanmaya dik kesitlerde parlak, yarı parlak, mat veya ince bantlar halindedir. Bu karakteristik bantlar, kömürlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimi göstermektedir. Çıplak gözle görülebilen bu bantlı bileşenlere *litotip* denilmektedir.

Uluslararası Kömür Petrolojisi Komitesi tarafından kabul edilen Stopes-Heerlen sistemine göre taşkömürleri, vitren, klaren, duren ve füslen olmak üzere dört ayrı litotip içermektedir. Kahverengi kömürler veya linyitler ise hüminit, liptinit ve inertinit'ten meydana gelmektedir. Taşkömürlerinin organik yapıcılarını, Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Taşkömürlerinin organik yapıcılarını (Özpeker, 1988)

Makroskobik bileşenler		Mikroskobik bileşenler		
Litotipler	Maseralları	Maseraller	Mikrolitotip grup	Mikrolitotipler
Vitrain	Kollinit Tellinit Vitrodetrinit	Vitrinit (V)	Vitrit	V>95 %
Fusain	Makrinit Mikrinit Semifusinit Fusinit Eklerotinit İnertodetrinit	Vitrinertit İnertinit	Vitrinertit İnertit	V + I>95 % I>95%
	Kütinit Resinit Sporinit Alginit Liptodetrinit	Eksinit (E) (Liptinit)	Liptit	E>95 %
Klarain Durain	Tüm maseralleri kapsar		Klarit Durit Duraklarit (V I) Klarodurit (I V) Vitrinertoliptit	V + E >95 % I + E >95 % V>E, I V, I, E 5 % I>V, E V, I, E 5 % E>I, V V, I, E 5 %

1- *Vitren (Vitrain)*: Kompakt ve homojen bir yapıda olan, en parlak kömür türüdür. Camsı görünüşte, konkoidal küpler şeklinde kırılmaktadır ve eli boyamamaktadır. Bantların kalınlığı genellikle 3-5 mm arasındadır.

2. *Klaren (Klarain)*: Vitren'e göre daha az parlak, kompakt ve parlaklığı vitren-düren oranına göre değişen kömür türüdür. Bantlaşma yüzeylerine dik, çok sayıda çatlakları olan kömür bantıdır. Hümik kömürlerin en yaygın yapıcısıdır.

3- *Duren (Durain)*: Mat siyah veya kahverengimsi siyah renkte masif bir kömür türüdür. Çok serttir, kırıldığında düzgün yüzeyler içermeyen taneler halinde ayrılır.

4- *Füsen (Fusain)*: Odun kömürünü andıran ipliksi yapısı, siyah ve grimsi siyah rengi, kırıldığında eli boyayan, çok kırılğan ve toz haline gelebilen bir banttır. İçerdiği minerallerden dolayı sertlik kazanabilmektedir (Özpeker, 1988).

2.2.1.2 Mikropetrografik yapıcılar

Mikroskopta kömürün bitki kökenli üç bileşeni görülebilmektedir. Kömürde biçim ve yapısı, mikroskobik olarak tanınabilen en küçük organik birimlere, inorganik kayalardaki minerallere benzediklerinden dolayı organik yapıcı, *maseral* adı verilmektedir. Maseraller, biçim ve yapıları ile kömürleşme süresinde korunmuş olan kömürleşmiş bitki kalıntılarıdır. Organik yapıcılar, kendilerini oluşturan bitki kalıntılarının fiziksel ve kimyasal yapılarına göre vitrinit, eksinit (liptinit) ve inertinit olmak üzere üç ana maseral kümesinde toplanmaktadır. Üç maseral kümesi, farklı bileşimde olduklarından dolayı ışığı yansıtma güçleri ile ayrılmakta olup, biçimlerine göre bölümlenmiş basit maseralleri içerirler. Değişik maseral kümelerinin bir araya gelmesinden mikrolitotipler oluşmaktadır.

1- Vitrinit grubu maseraller:

Linyitlerde hüminit olarak adlandırılan bu maseraller, taşkömürlerinin en önemli maseral grubu olup hümitik maddelerin kömürleşme ürünüdürler. Vitrinitin özellikleri kömürleşme derecesi ile değişmektedir. Vitrinitler, %77-96 karbon, %1-6 hidrojen, %1-16 oksijen içerir.

2- İnertinit grubu maseraller:

Bu grubun maseralleri, hidrojenca fakir, karbonca zengin olduklarından koklaşma sürecinde reaksiyon göstermezler. Yansıyan ışıktaki beyaz renkte olup üç maseral grubu arasında en yüksek yansıtmaya sahiptirler. Büyük bir kısmı belirgin hücre yapısı gösterir. Vitrinit gibi bitki hücre duvarlarının linyin ve selülozlarından, mantarlardan türerler. Çökmeden önce oksitlenme ve parçalanma olmaktadır. Daha önce kömürleştiklerinden esas kömürleşme sürecinde oksijen ve hidrojen kaybederek karbonca zenginleşirler ve yansıtma dereceleri yükselir.

3- Eksinit (Liptinit) grubu maseraller:

Protein, selüloz ve diğer hidrokarbonların bakterilerle bozunması sonucu oluşan, yansıtma derecesi en düşük olan gruptur. Hidrojen içerikleri vitrinit'ten daha yüksektir. Isı artışı ile kimyasal yapılarındaki parçalanmalar çok hızlı olmakta ve özellikle bitümlü kömürlerde ani bir değişiklik göstermektedir (Özpeker, 1988). Kahverengi kömürlerin ve linyitlerin organik yapıları Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Kahverengi kömürlerin ve linyitlerin organik yapıları (Özpeker, 1988)

Grubu	Maseral alt	Maseral	Maseral türü
	humotelinit	tekstinit ulminit	teksoulminit ö-ulminit
huminit	humodentrinit	atrinit densinit	
	humokollinit	jelinit korpohuminit	porijelinit levijelinit filobafinit psödo-filobafinit
	liptinit	sporinit kutinit resinit suberinit alginit liptodentrinit klorofillinit bitüminit	
	inertinit	fusinit semifusinit makrinit sklerotinit inertodetrinit	

2.2.2 Mineraller ve iz elementler

Kömürün inorganik bileşenleri mineraller ve iz elementlerdir. Kömürün mineral bileşenleri ve iz elementler üç kaynaktan gelebilmektedir.

- 1- Ana elementler ve mineraller
- 2- Birincil mineraller
- 3- İkincil mineraller

Ana elementler ve mineraller kömürleşecek bitkilerin yapısında bileşen olarak bulunan minerallerdir. Bitkilerin kök, gövde, sap, yaprak ve spor vb. organlarında çeşitli elementler birikmektedir. Bu elementler turbalaşma ve kömürleşme evrelerinde, biyokimyasal ve kimyasal tepkimelerin etkisi ile bileşiklere çevrilir ve göreceli olarak

zenginleşir. Turbalaşma evresinde bitki kalıntıları bataklıklarda birikirken yağmurlu evrelerde sular ve rüzgarlarla taşınan mineraller ve elementler kömür içinde birincil mineraller birliklerini oluştururlar. Bunlar kömürleşme sürecinde değişen koşullarda duraylı olabilen minerallerdir.

İlksel ve birincil evre mineral ve elementlerinden değişen koşullarda duraylı kalamayanlarla yüzeysel veya hidrotermal kökenli akışkanlara bağlı gelen elementler, kömür katmanlarının kırıklık çatlakları ve gözenekleri içinde yeni mineral bileşenleri oluşturabilirler. Bunlar ikincil mineralleşmelerdir.

Mineraller

Kömürler içinde 50-60 tür mineral gözlenmiştir. Bunlardan en önemli mineral grupları; killer, karbonatlar ve demir mineralleridir. Diğerlerinin bolluğu %1'in altındadır.

a) Kil mineralleri: En sık gözlenen mineral grubudur. Genelde minerallerin %60-80'nini oluştururlar. Kömürle ara katmanlıdır. Katmanların kalınlığı 1-2 mm'den birkaç cm'ye bazen 10 cm'ye varabilmektedir. Uygulamada killi kömürler, hacimsel kil kömür oranlarına göre sınıflandırılır. %20'ye kadar kil içeren mikrolitotiplere killi kömürler, %20-60 oranında kil içerenlere karboarjilit denir.

b) Karbonat mineralleri: Birincil ve ikincil kökenli olabilirler. Birincil kökenli olanlardan en yaygını siderittir. Dolomit çoğunlukla deniz ilerleme süreçlerinde gelişir. %20-60 oranında karbonat içeren kömürlere karboankerit denir.

c) Demir mineralleri ve sülfidler: Demir mineralleri ve sülfidler içinde en yaygın olanı pirittir. Pirit biçimli veya eş merkezli mini yuvarlak biçiminde gözlenir. Diğer ender demir mineralleri içinde limonit en sık gözlenenidir. İnce uzun lepidokrosit veya yassı götit kristallerinin karışımıdır. Diğer sülfid mineralleri arasında galen, sfalerit ve kalkopirit sayılabilir. %5-20 oranında pirit başta olmak üzere kükürt mineralleri içeren kömürlere karbopirit denir.

d) Silikatlar ve diğer mineraller: Silikatlar içinde killerden sonra en önemlisi kuvarstır. Kuvars genelde taşınmış ise kenarları yuvarlanmış kristaller, bataklık suyunda çözünmüş silisin uygun koşullarda çökelişi ile oluşmuşsa mini kristalli veya kalsedon biçiminde gözlenir. Bitkisel kökenli olabilir. Silikoz hastalığını önlemede kuvarsın saptanması önemlidir. Diğer silikat ve mineraller önemsiz oranlarda izlenirler (Özpeker, 1988).

e) Tuzlar: Bir çok kömürde klorür, sülfat ve nitrat tuzlarının izlerine rastlanır. Bunlardan en sık gözleneni jipstir. Genelde ikincil kökenli olup çatlak ve kırıklık dolgusu görünümündedirler.

İz elementler

Kayaç ve kömürlerin, %0.1 altında içerdikleri öğelere “iz elementler” denir. İz elementlerde, minerallere benzer kökenlidirler. Bitkilerin kendilerinden türeyecekleri gibi kömürleşme sürecinde beslenen malzemeden kaynaklanabilirler veya çatlak, kırık gözeneklerde dolaşan yüzey veya derin kökenli akışkanlara bağlı gelişebilirler. Kömür yapıcılar içinde vitren diğerlerine göre daha çok iz element içerir. İz elementler organik yapıcılara veya minarellere bağlıdır. Sn, Pb, Mn, Zr, Y, Sc, La, ve lantanitler daha çok inorganik, Ga, In, Sr, B organik kökenli, diğerleri ise her iki kökenden gelebilmektedir (Özpeker,1988). Kömürlerde az miktarda veya iz olarak bulunan elementler ve kömürün içerdği mineraller sırası ile Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.5. Kömürlerde az miktarda veya iz olarak bulunan elementler
(Ateşok ,1986)

Azot	Nikel	Stronsiyum
Fosfor	Çinko	Skandiyum
Flor	Kadmiyum	Galyum
Boron	Kurşun	Yitriyum
Arsenik	Gümüş	Zirkon
Germanyum	Altın	Molibden
Uranyum	Krom	İndiyum
Bizmut	Platin	Kalay
Berilyum	Lityum	Talyum
Kobalt	Baryum	

Çizelge 2.6. Kömürün içerdği mineraller (Beker, 1998)

Mineral ismi	
Kil Mineralleri Montmorillonit İllit Kaolinit Halloysit	Karbonat mineralleri Kalsit Dolomit Siderit Ankerit
Kükürt mineralleri Pirit Markasit Sfalerit Galen Kalkopirit Pirotit Arsenopirit Millerit	Klorür mineralleri Halit Silvit Bisofit
	Silikat mineralleri Kuars Biotit Zirkon Turmalin Garnet Epidot Ortoklas Ojit Topaz
	Oksit ve hidroksit mineralleri Hematit Manyetit Rutil Limonit Götit Diyaspor
Fosfat mineralleri Florapatit	

2.3 Kömürün Kimyasal özellikleri

Herhangi bir kömür kapalı kapta havasız olarak ısıtıldığı zaman gaz, sıvı ve katı ürünler elde edilir. Gaz ürünler gaz yakıt, katı olanlar metalürji veya ısıtma tekniğinde yakıt olarak kullanılmaktadırlar. “Katran” adı verilen sıvı ürün ise içerdiği kıymetli kimyasal maddelerden dolayı sıvı yakıt olarak kullanılmayarak damıtılmak üzere toplanmaktadır. Katranın içeriği kömürün cinsine, kömürün ısıtılma şartına ve ısı derecesine bağlıdır (Ateşok, 1986).

2.4 Kömürün Fiziksel özellikleri

2.4.1 Nem

Kömürlerde bünye ve yüzey nemi olmak üzere iki tür nem bulunur. Bünye nemi, kömürün yapısında yer alır ve kömürün etrafından adsorbe edilmiş olan ve inorganik maddelere bağlı bulunan sudan meydana gelmektedir. Yüzey nemi ise kömürlerde serbest halde bulunan sudan oluşmakta ve nemli hava koşullarından veya kömürün sulu bir ortam ile temas etmesinden ileri gelmektedir. Kömürün 105 °C’de sabit ağırlığa gelinceye kadar ısıtılması ile saptanan nem oranı genel anlamda ”toplam nem” olarak tanımlanmaktadır (Ateşok, 1986). Herhangi bir nemlendirme veya kurutma olmadığı halde ocak çıkışı taş kömürü %1-3, sert linyitler %20-30, yumuşak linyitler %40-60 ve turbalar %60’ın üzerinde nem içermektedir (Kemal, 1987). Bir kömür yatağı içinde; kuru bir yerde yeni kazılmış (taze) kömür; kırıldığı zaman kuru ve tozlu görünmesine rağmen nem ile doyurulmuştur. Bu nem yüzdesi çoğunlukla “yatak nemi” olarak isimlendirilmektedir ve bu nem değeri kömür yatağının her yerinde yaklaşık olarak sabittir. Nem yüzdesi kömür sınıfının bir özelliğidir (Yancey and Geer, 1979).

2.4.2 Özgül ağırlık

Ocaklardan çıkarılan tüvenan kömür farklı özgül ağırlıktaki parçaların karışımı halinde bulunmaktadır. Tüvenan kömürdeki herhangi bir parçanın özgül ağırlığı bu parçanın külüne, nemine, sabit karbon miktarına ve uçucu madde oranına bağlıdır.

Kömürün külü arttıkça özgül ağırlığı artmaktadır. Ancak bu artışlar birbirleri ile doğru orantılı değildir. Ayrıca külün özgül ağırlık üzerindeki etkisi kül yapıcı maddelerin cinsine göre değişmektedir. Örneğin; alüminyumlu bir külün özgül ağırlığı, demirli bir külden daha azdır. Saf kömürün özgül ağırlığı kömürün ait olduğu sınıfa göre değişerek linyitten antrasite doğru gittikçe artmaktadır (Ateşok, 1986).

Havada kurutulmuş kömürün gözle görülür özgül ağırlığı aynı kömürün “taze şeklinden” veya nem ile doyurulmuş aynı kömürden daha düşüktür. Fakat havada kurutulmuş kömür 24 saat su içinde bırakılırsa kömürün orijinal özgül ağırlığı tekrar elde edilir (Yancey and Geer, 1979).

2.4.3 Yapı ve kırılma

Kömürde ilk kırılma madencilik işlemleri sırasında meydana gelmektedir. Bu işlemlerdeki kırılmalar sonucunda meydana gelen parçaların büyüklük ve şekilleri uygulanan kazı yöntemi ile kömür yatağının ana kırık, çatlak ve zayıf yüzeyler sistemine bağlıdır. Bu sistemin özellikleri kömürden kömüre değişir ve kazı işlemleri önem taşımaktadır. Kırık ve çatlak sistemine en yoğun biçimde düşük uçucu maddeli bitümlü kömürlerde rastlanmaktadır. Bu kömürler çok kırılgeçirir ve kırıldıkları zaman fazla oranda ince malzeme meydana getirmektedirler. Bu tür kömürler bazen “zayıf” yapılı olarak tanımlanmaktadır.

Kırık ve çatlak sisteminin fazla belirgin olmadığı ve kırılma yüzeylerinin birbirinden uzak bulunduğu kömürler ise “sağlam” yapılı olarak tanımlanmaktadır. Bir kömür yatağı parçalandığı zaman kırılma sisteminin özelliğine bağlı olarak blok şeklinde, kübik veya yassı parçalar meydana gelebilmektedir (Ateşok, 1986).

2.4.4 Tane boyu dağılımı

Temiz kömürün satış değerini belirleyen kül, kükürt ve ısı değer gibi ana faktörlere, daha az önem taşımakla birlikte tane boyu ilave edilebilir. Bazı satışlarda,

kömürde belli bir boyutun altındaki malzeme oranının belli bir sınırı geçmemesi koşulu aranmaktadır.

Ocaktan çıkarılan tüvenan kömürlerin tane boyu dağılımına çeşitli faktörler etki etmektedir. Bu faktörler; kömürün sertliği, mukavemeti, kırık ve çatlak sistemi gibi yapısal özelliklerden ve uygulanan madencilik yönteminden kaynaklanmaktadır (Ateşok, 1986).

2.4.5 Sertlik

Kömürün sertliği, ufalanabilme ve öğütülebilme özelliklerine etki etmektedir. Kömürün sertliği, kömürün ait olduğu sınıfa bağlı olup karbon ve uçucu madde oranlarına göre değişmektedir. %85-90 oranında karbon içeren kömürler en düşük sertliğe sahiptirler. Sertlik, uçucu madde oranı %5'den %15'e doğru çıktıkça azalır. %15'den %40'a doğru çıktıkça artmaktadır.

Kömürler arasında en yumuşak olan linyit en sert olanı antrasittir. Ancak kömürler fiziksel yapı bakımından çok farklılık gösterdiğinden sertlik dereceleri de çok değişken olup antrasit dışında herhangi bir kömür için kesin bir sertlik derecesi belirtmek mümkün değildir. Antrasitin sertliği Mohs sisteminde 2,73-3 arasında olup çakı ile kolaylıkla çizilmektedir (Ateşok, 1986).

2.4.6 Gevreklik ve mukavemet

Farklı kömürlerin gevrekliği, zenginleştirme işleminde büyük önem taşımaktadır. Gevreklik herhangi bir parçanın kendinden küçük parçalara kırılabilme eğilimi olup kömürün önemli özelliklerinden biridir. Kolay ufalabilen kömürlerde fiyatı daha yüksek olan iri malzeme oranı azdır. Bu kömürlerde ince malzemenin fazla olması yüzey alanının büyük olmasına neden olmaktadır. Yüzey alanının büyük olması oksitlenmeyi hızlandırarak ani yanmalara ve koklaşan kömürlerde koklaşma kalitesinin azalmasına veya tamamen kaybolmasına neden olmaktadır (Ateşok, 1986).

2.4.7 Öğünebilirlik

Öğünebilme özelliği özellikle kömürün toz yakıt olarak kullanılmak üzere öğütülmesi sırasında önem taşımaktadır. Öğütme için kullanılan aygıtların kapasitelerinin belirlenmesinde, öğütme için gerekli enerjinin saptanmasında ve tesis kontrolünde, öğünebilme özelliğinden yararlanılır (Ateşok, 1986).

2.4.8 Açık havada dağılganlık

Açık havada bırakılan bazı kömürler, ıslanma ve kuruma olaylarının etkisi altında dağılırlar. Dağılma derecesi kömür sınıfına bağlıdır (Ateşok, 1986). Düşük sınıflı kömürler, havaya maruz bırakıldığında gevşeme veya parçalara ayrılıp dağılmaya belirgin bir eğilim göstermekte olup ıslanıp ve kurutulduğunda veya güneş ışığına bırakıldıklarında linyitler kolaylıkla yumuşarken, alt bitümlü ve bitümlü kömürler bu durumdan az etkilenmektedirler (Yancey and Geer, 1979).

2.4.9 Aşındırıcılık

Kömürün aşındırma özelliği ekonomik yönden önem taşımaktadır. Bu özellik kömür maddesinden ziyade kömürdeki artık maddelerden ileri gelmektedir. Bu nedenle madencilikte kömür bir aşındırıcı madde olarak kabul edilmektedir. Madencilik işlemleri sırasında delme, kesme ve taşıma araçlarında meydana gelen aşınmalar, aşınan kısımların değiştirilmesini gerektirdiğinden masrafa neden olurlar (Ateşok, 1986).

2.4.10 Renk ve çizgi rengi

Kömürlerin rengi, açık kahverengiden koyu siyaha kadar değişmektedir. Linyitler açık kahverengi ile koyu kahverengi arasındadır. Üst sınıftaki kömürler ise siyahın açıktan koyuya kadar değişen çeşitli tonlarına rastlanır. Çizgi rengi ise bir kömür parçası ile pürüzlü bir porselen yüzey üzerine çizgi çekilerek elde edilir. Bitümlü kömürlerden daha düşük dereceli kömürlerin çizgi rengi sarı ile kahverengi arasında

değişir. Bitümlü ve daha yüksek dereceli kömürlerin çizgi rengi ise kahverengi ve siyah arasındadır (Ateşok, 1986).

2.4.11 Parlaklık

Parlaklık, ışığın bir madde yüzeyinden yansıma şiddetidir. Işığın kuvvetli yansıdığı yüzeyler “parlak”, zayıf yansıdığı yüzeyler ise “mat” olarak tanımlanmaktadır. Kömürler mat veya parlak olabilmektedir. Antrasit genellikle parlaktır fakat mat kısımlarıda bulunmaktadır. Linyitler mat veya toprağımsı görünüşlüdürler. Bitümlü kömürler ise mat ile parlak arasında değişir (Ateşok, 1986).

3. KÖMÜR HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ

3.1 Kömürün Yıkanabilirliği

Kömür genellikle iri parçalar halinde kullanılmaktadır. Ocaktan gelen tüvenan kömür 50-100 mm altına kırılmakta ve bundan sonra yıkama işlemine tabi tutulmaktadır. Yıkama işlemi ile mevcut tane iriliğinde serbestleşmiş mineral maddelerin atılması hedeflenmektedir. Kömür içindeki mineral madde serbestleşinceye kadar ufalanarak yıkamaya tabi tutulmadığından yıkamaya verileceği tane iriliğindeki kömür-kül ilişkisinin tespiti önem taşımaktadır. Bu ilişkinin tespiti yoğunluk analizi ile yapılmaktadır (Kemal, 1987). Kömürlerin kül ve kükürtten arındırılabilmesi için öncelikle yıkamaya elverişli olup olmadıkları ve yıkama yöntemlerinin saptanması gerekmektedir. Bunun için yıkanabilirlik verilerinin elde edilmesi gerekir. Yıkanabilirlik deneyleri, kömürün fiziksel özelliklerinin bir değerlendirmesi olup yıkama işlemi sonucunda kömür niteliğinin ne ölçüde yükseltilebileceğini göstermektedir. Diğer bir deyişle kömürün kül ve piritik kükürt gibi safsızlıklardan temizlenmesinin kolay yada zor olacağı, elde edilen temiz kömürün içeriği ve yıkama randımanı gibi özellikler yıkanabilirlik verilerinden çıkarılabilmektedir. Yıkanabilirlik verileri aynı zamanda temizleme yöntemlerinin teorik sınıflarını belirtmektedir (Ateşok, 1986).

3.1.1 Kömür yıkanabilme özelliğinin tespiti

Kömürlerin yıkanabilme özellikleri laboratuvarında yapılan yüzdürme-batırma deneyleri ile saptanmaktadır. Bu deneyler kömür ve mineral madde yoğunlukları arasında seçilen değişik yoğunluklarda hazırlanmış ağır sıvı banyolarında yapılmaktadır. Deney öncesinde ASTM veya TSE standartlarına uygun biçimde seçilen elekler ile boyuta göre sınıflandırma yapılmaktadır. Genellikle 100, 50, 18, 10, 6 ve 0,5 mm açıklıklı elekler kullanılarak; 50-100, 18-50, 10-18, 6-10 ve 0,5-6 mm gibi çeşitli boyut gruplarına ayrılan kömürlerde ayrı ayrı yüzdürme-batırma deneyleri yapılmaktadır. Ağır sıvı olarak genellikle farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış çinkoklorür çözeltileri kullanılmaktadır. Hazırlanacak yoğunluklar kömürün cinsine ve

deneylerin özelliğine göre seçilmektedir. Çinkoklorür ile $1,80 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa kadar ağır sıvı yapılabilmektedir. Bunun üzerindeki yoğunluklarda ise karbontetraklorür-bromoform gibi ağır organik sıvıların karışımları kullanılmaktadır. Küçük boyutlu (0-0,5 mm) kömürle yapılacak yüzdürme-batırma deneylerinde yalnızca yoğunluğun etkin olmayacağı viskozite ve salkımlaşmanın sonuçları değiştirebileceği dikkate alınmalıdır. Bu boyut grubu ile deney yapmak gerekiyorsa tercihen viskozitesi düşük olan organik sıvılar kullanılmalıdır (Önal ve Güney, 1998). Uygun aralıklarda seçilen farklı yoğunluktaki ağır sıvıların hazırlanmasından sonra kömür numunesi en düşük yada en yüksek yoğunluktan başlayarak her bir ağır sıvıda yüzdürme-batırma işlemine tabi tutulmaktadır (Ateşok, 1986).

3.1.2 Kömür yıkama sonuçlarının değerlendirilmesi

Yıkama Eğrileri

Kömür yıkama eğrileri 5 tanedir.

- 1- Yüzen eğrisi (Kömür eğrisi)
- 2- Batan eğrisi (Şist eğrisi)
- 3- Yoğunluk eğrisi
- 4- Parça külü eğrisi
- 5- $\pm 0,1$ yoğunluk malzeme eğrisi (Dağılım eğrisi)

Yıkama eğrilerinden yararlanılarak şu bilgiler elde edilebilmektedir:

- a) Herhangi bir ayırma yoğunluğunda hangi kalitede ne miktar temiz kömür ve şist elde edilebileceği bulunabilmektedir.
- b) Gereksinim duyulan bir kömür kalitesi için ayırma yoğunluğu saptanabilmektedir.
- c) Herhangi bir ayırma yoğunluğunda yapılan ayırmanın kolay veya zor olacağı konusunda fikir edinilebilmektedir.

Bir kömüre ait yüzdürme-batırma deney verilerinden yararlanılarak çizilen yıkanabilirlik eğrilerinden ayırmanın kolay veya zor olacağı; yoğunluk, parça külü ve $\pm 0,1$ yoğunluktaki malzeme eğrilerinin görünümünden tespit edilebilmektedir.

Bu üç eğri yukarıdan aşağı doğru uzanımlarında bir veya iki noktada ani bir kıvrım yaparak eğimlerini azaltıp yatay veya yataya yakın konuma gelmeleri diğer bir deyişle düzlükler oluşturmaları bu yıkamanın kolay olacağını göstermektedir. Aksine bu eğriler, düzlükler oluşturmayıp yumuşak bir eğimle yukardan aşağıya doğru uzanıp gidiyorlarsa yani eğimleri dik ise bu yıkamanın zor olacağını göstermektedir (Ünlü, 1992). Bu üç eğrinin oluşturdıkları düzlükler ayırmanın yapılabileceği yoğunluk aralığını göstermektedir. Bu aralıkta ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı en azdır ve ayırma kolay olmaktadır (Ünlü, 1990). Çizelge 3.1’de ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarına göre ayırma kolaylığını göstermektedir.

Çizelge 3.1. Ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarına göre kömürün yıkanma kolaylığı (Ünlü 1990)

$\pm 0,1$ yoğunlukta malzeme miktarı (%)	Yıkanma kolaylığı
0-7	Kolay
7-10	Orta zor
10-15	Zor
15-20	Çok zor
20-25	Aşırı zor
>25	Olanaksız

Mayer Eğrisi

Kömür yıkama işlemlerinde tüvenan kömür, temiz kömür (lave), ara ürün (mikst) ve artık (şist) olmak üzere üç ürüne ayrılmaktadır. Yüzdürme-batırma eğrileri sadece iki ürün (lave ve artık) yıkama işlemlerinde değerlendirme yapmaya uygundur. Kömür hazırlama tesislerinde olduğu gibi üç ürün alınan bir yıkama işleminde gerekli bilgileri elde etmek için iki kademeli yıkama eğrisinin çizilmesi gerekmektedir. Birinci kademede, lavenin mikst + şistten, ikinci kademede ise mikstin şistten ayrılması sonuçlarının görülmesi gerekir (Önal vd., 1998).

3.2 Boyutlandırma ve Kurutma

Kömür zenginleştirilmesinde kullanılan en basit tekniklerden biri olan boyutlandırma ve kurutma, kömürün kalitesini olumsuz yönde etkileyen nem ve kilin uzaklaştırılması, kullanım alanına uygun boyutlu kömür hazırlanması amacıyla yönelik bir zenginleştirme yöntemidir. Bazı kullanım alanlarında, kömürün maksimum ve minimum tane büyüklüğü önem taşımaktadır. Bu nedenle yıkanmış ve safsızlıklardan arındırılmış olan kömürün sınıflandırıldıktan sonra satışa sunulması yararlı olmaktadır. Sınıflandırma aşamaları pazarlama koşullarına göre değişmekle birlikte genelde; 50-100, 18-50, 10-18, 6-10 ve 0-6 mm olarak yapılmaktadır (Önal vd., 1998).

3.3 Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme

3.3.1 Ağır ortam ayırma

Ağır ortam ayırma yöntemi, gravite yöntemleri arasında en basiti olup bu yöntem kullanılarak yapılan zenginleştirme işlemlerinde daha ekonomik olarak temiz kömür üretilmektedir. Ağır ortam olarak çoğunlukla manyetit kullanılmaktadır. İri boyutlu zenginleştirmede kullanılan manyetitin %30'u 45 mikron altında, ince boyutlu zenginleştirmede ise %85'i 45 mikronun altında bir dağılım göstermektedir. Bu tip ayırıcılarda, kömürün ağır ortam içerisinde rahat hareket etmesini sağlamak için süspansiyonu oluşturan katı hacminin %25-40 arasında olması gerekmektedir. Yüksek katı hacimlerinde tanelerin hareketini başlatmak amacı ile süspansiyon karıştırılmakta veya tanelerin kayma hareketini artırmak için santrifüj kuvveti kullanılmaktadır. Genellikle ağır ortam ayırıcılarında ortam sarfiyatı 1 ton kömür başına 100-500 gr arasında değişmektedir.

Genellikle üst tane boyutu 100-150 mm olan kömürlerin zenginleştirildiği ağır ortam ayırıcıları günümüze kadar bir çok değişiklik geçirmişlerdir. Gravite kuvvetinin etkin olduğu ayırıcılarda çeşitli mekanik tasarımlar gerçekleştirilmiş ve birden çok ayırma tankları kullanılmaya başlanmıştır. Ayırıcı tank genellikle tekne (oluk), koni ve tambur şeklinde olabilmektedir. Tekne tipi ayırıcıların kapasiteleri 100-900 ton/saat

arasında değişmektedir. Wemco, Teska ve Drewboy gibi yıkayıcılar endüstriyel çapta kullanılan ağır ortam ayırıcılarıdır (Önal vd., 1998).

3.3.2 Ağır ortam siklonları

Santrifüj kuvvetinin uygulandığı bu ayırıcılarda ortam akışkanlığı düşürülebildiği için statik ayırıcılara göre daha küçük boyuttaki (-20+0,5 mm) kömürler yıkanabilmektedir. Ağır ortam siklonlarının çalışma prensibi hidrosiklonlara benzemektedir. Kömür ince öğütülmüş manyetitle hazırlanmış ağır ortam ile karıştırılarak basınç altında siklona beslenmektedir. Besleme kapasiteleri ortalama 60 ton/saat şeklindedir. Bu siklonlar ile 40-50 mm boyutlu kömürleri yıkamak mümkündür (Önal vd., 1998).

3.3.3 Jigler

Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirmede en çok kullanılan aygıtlardan biride jiglerdir. 1848’li yıllardan beri kömür zenginleştirilmesinde kullanılan jigler günümüzde de geçerliliğini korumaktadır. Bugün bir tek jigin kapasitesi 100 ton/saate³ çıkabilmektedir (Önal vd., 1998).

Kömürde kullanılan jiglerin en önemlisi Baum jigi olarak bilinen tipidir. Bu jiglerde dönen bir vana ile kısa aralıklarla verilen basınçlı hava, jig içindeki suyu hareketlendirerek basma etkisi oluşturmaktadır. Baum jiginde emme etkisi bulunmamaktadır. Bu jigde lave, mikst ve şist halinde üç ürün alınmaktadır. Baum jiglerinin performansı geliştirilmiş ve daha büyük kapasiteli Batac adı verilen jigler dizayn edilmiştir. Batac jiginde su ortamına tüvenan kömürün beslenmesi ve oluşturulan pülsasyon prensibi Baum jigi ile aynıdır. Ancak jig içine hava dağıtım yöntemi yeni tip vanalar ile havanın pülsasyon işlemi ve yatak kontrolleri geliştirilerek otomasyon sağlanmıştır (Ateşok, 1986).

3.3.4 Sallantılı masalar

Uzun yıllardan beri kullanılmakta olan sarsıntılı masalar kömür hazırlamaya önemli bir ölçüde girmiş ve geliştirilmiştir. Mineral zenginleştirme işlemlerinde kullanılan ve çok bilinen klasik Wilfley masaları kömür hazırlama amacı ile kullanılırlar. Fakat daha çok kömür zenginleştirme tesislerinde Deister masaları kullanılmaktadır. Deister masalarında maksimum tane boyutu 12,5 mm olan ince kömür temizlenmektedir (Ateşok, 1986).

3.4 Manyetik Zenginleştirme

Bu yöntemdeki temel ilke farklı manyetik iletkenliğe sahip taneciklerin yapay olarak oluşturulan manyetik alanda birbirlerinden ayrılmasıdır. Kömür içinde bulunan inorganik safsızlıkların önemli bir bölümünü demir sülfürlü mineraller oluşturmaktadır. Kömür orjinli çevre kirliliğinin en önemli kaynağını oluşturan bu safsızlıkların kömürden uzaklaştırılması için manyetik ayırma yöntemi kullanılabilir.

Kömür diamanyetik, pirit ise saflığa bağlı olarak zayıf paramanyetik veya diamanyetik özelliğe sahiptir. Kömür içindeki piriti manyetik ayırma işlemi ile uzaklaştırmak için iki tür işlem uygulanmaktadır. Bunlardan biricisinde, kömür aşırı ısıtılmış buhar karışımı ile kısa bir süre muamele edilmekte ve pirit yüzeylerinin oksitlenerek pirotine dönüşmesi sağlanmaktadır. Bu kademedan sonra 10000 Gauss'luk indüksiyon alan şiddetine sahip kükürdün %80'lik bir kısmı uzaklaştırılabilir. İkinci yöntemde ise kömür 320-360 °C arası sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve piritler oksitlendirilerek manyetik duyarlılıkları yükseltilebilmektedir. Manyetik duyarlılıkları yükseltelen piritler daha sonra yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılarla ayrılmaktadır (Önal vd., 1998).

3.5 Düşük Sıcaklık Karbonizasyonu

Düşük sıcaklık karbonizasyonu daha çok linyit kömürlerine uygulanan bir işlemdir. Yüksek nem, düşük sabit karbonlu linyit kömürlerinin 700 °C'nin altında ve

oksijensiz ortamda ısıtılması ile kalitesinin yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Endüstride uygulanan düşük sıcaklık karbonizasyonu, uygulandığı kömürün boyutlarına göre direkt ısıtmalı ve endirekt ısıtmalı olarak ikiye ayrılmaktadır. İri kömür düşük sıcaklık karbonizasyonunda kömür boyut aralığı -80+20 mm, ince kömür karbonizasyonunda ise 20 mm altında olmaktadır (Önal vd., 1998).

3.6 Flotasyon

Kömür flotasyonu ilk olarak 1920 yılında Hollanda'da uygulanmıştır. Kullanım kolaylığı bakımından kömürün iri boyutta mekanik yöntemlerle zenginleştirilmesi tercih edilmektedir. Kömür madenciliğinde uygulanan mekanize kazı ile birlikte küçük boyutlu kömür miktarı artış göstermiş ve bu kömürlerin zenginleştirilmesi için lavuarlarda yeni üniteler kurulmuştur. 0,5 mm altındaki ince kömürlerin zenginleştirilmesi flotasyon yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Genelde kömür zenginleştirilmesinde flotasyon 4 amaç için uygulanmaktadır:

- 1- Yıkama suyu içinde kalan toz kömürü kazanmak
- 2- Lavuarlardan atılan ve siyah su olarak adlandırılan proses suyunun temizlenmesinde
- 3- Kömürde bulunan çeşitli maseralleri ayırarak koklaşabilir kısımlar hazırlamak
- 4- Kömürün kükürdünü gidermek şeklindedir (Önal vd., 1998).

Kömürlerin doğal yüzebilirliği kömürün kimyasal, petrografik yapısına ve kömürleşme derecesine bağlıdır. Kömürleşme derecesi arttıkça kömürdeki karbon içeriği artmakta buna karşın oksijen, hidrojen ve uçucu madde oranları azalmaktadır. Bütün katılarda olduğu gibi kömüründe doğal yüzme özelliği temas açısı ile belirtilir. Bu açı kömürün kömürleşme derecesine bağlı olarak değişir. En yüksek doğal yüzebilirlik %89 C (kuru-külsüz) içeren kömürde saptanmıştır. Bu kömür için ölçülen temas açısı 60°'dir.

Kömürün nem miktarı flotasyonu ters yönde etkilemektedir. Linyitten antrasite doğru gidildikçe nem miktarı azalır. Buna bağlı olarak kömürün yüzebilme yeteneği artar. Bütün kömür numuneleri saf su içinde negatif elektrokinetik potansiyel

gösterirler. Kömür yüzeyindeki negatiflik kömürün yapısı ile ilgilidir. Kömür heterojen bir madde olup, kömür yüzeyi anizotropik özellik gösterir. Kömürdeki bu anizotropik yüzeyler iki kısımdan oluşur. Bunlardan birincisi Vandervals bağlarının kırılmasıyla ortaya çıkan hidrofob özelliği gösteren yüzeylerdir. Diğeri ise iyonik ve kovalent bağların kırılmasıyla ortaya çıkan ve hidrofillik özellik gösteren yüzeylerdir. Kömür yüzeyindeki negatiflik hidrofillik özellik gösteren bu kısımlardan ileri gelmektedir.

Genellikle yeni üretilen bir kömürün bir süre açıkta kalan bir kömürden daha iyi yüzdüğü bilinmektedir. Kömür yüzeyinde oksitlenme sonucunda OH^- ve COOH^- gibi grupların oluştuğu saptanmıştır. Normal atmosfer sıcaklığında bile havanın oksijeni kömür yüzeyini oksitleyerek flotasyon yeteneğini azaltır. Kömür yüzdürülmek istenmediği zaman KMnO_4 ile işleme tabi tutularak kömürün oksitlenmesi sağlanır. Oksit tabakasını uzaklaştırmak gerektiğinde %1'lik NaOH çözeltisi ile kömür pülünün karıştırılması gerekir. Oksitlenme düşük nitelikli kömürlerde yüksek nitelikli kömürlerden daha fazladır. Buna bağlı olarak düşük nitelikli kömürlerin flotasyon yeteneği azdır (Ateşok, 1986).

Kömür flotasyonunda polar olmayan yağlar ve alkoller kullanılır. En yaygın kullanılan yağlar, gazyağı, fuel oil ve kreosot'tur. Bunlardan gazyağı ve fuel oil petrol, diğeri ise kömür katranından üretilmektedir. Alkollerden ise en çok kullanılanları metil iso butil karbinol, amili heksil, heptil ve oktil alkollerdir (Ateşok, 1986; Özbayoğlu, 1994).

3.7. Selektif Flokülasyon ve Aglomerasyon

Kömürün flotasyona uygun olmadığı durumlarda, şlamdaki kömürü kazanmak amacı ile selektif flokülasyon ve yağ aglomerasyonu yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bu yöntemlerde genellikle kömür topaklandırılarak suda dağılmış durumda kalan kilden ayrılmaktadır. Kömürün topaklanması üç değişik yöntemle sağlanır. Birinci yöntemde inorganik elektrolitlerin kullanımı ile yüzey elektrik yükleri değiştirilerek, killerin dağılması (dispersiyon) kömürün ise topaklanması (koagülasyon) sağlanır. Belli başlı elektrolitler, pH kontrolünü sağlayan asitler ve bazlar, sodyum

silikat ve kalgon (sodyum hekza-metafosfat) gibi kil ve marnın negatif yüzey potansiyelini (elektrokinetik potansiyel) yükselten tuzlardır.

İkinci yöntemde yüksek molekül ağırlığında uzun zincirli polimerlerin köprüleme etkisi ile kil veya ince kömür parçacıklarını topaklaması (flokülasyon) sonucunda ayrılma sağlanmaktadır. Bu amaçla kullanılan polimerler anyonik, katyonik veya noniyonik yapıda, sentetik (poliakril amid) veya doğal (nişasta, linyin) kimyasallardır. Topaklanmayı sağlayan üçüncü yöntem, suya karışmayan, tercihen kömürü ıslatan bir sıvının (hidrokarbon yağı) şiddetle kömür şlamı ile karıştırılması ile kömürün topaklanmasıdır. “Küresel aglomerasyon” adını alan bu yöntemde, şiddetli karıştırma, pervaneli ve bıçaklı mikserler, tulumba ve türbün karıştırıcılarla sağlanır. Şlam içine dağılan yağ damlacıklarının içinde toplanan ince kömürün oluşturduğu küresel aglomeratlar titreşimli ve kavisli elekler veya klasifikatörlerle killi şlamı içeren proses suyundan ayrılırlar (Atak, 1991).

Flokülasyon, suda çözünebilen, çok yüksek molekül ağırlıklı organik polimerler kullanılarak taneciklerin bir araya getirilmesi işlemidir. Taneciklerin bir araya getirilmesi üç ayrı mekanizma ile yapılabilmektedir.

- 1- Taneciklerin polielektrolitler kullanılarak zeta potansiyellerinin düşürülmesi ve Van der Waals çekim kuvvetleri ile taneciklerin bir araya getirilmesinin sağlanması
- 2- Taneciklerin yüzeyinde, yüzeye zıt kısımların oluşturulması ve bu kısımların diğer bir taneciği çekmesi ile taneciklerin bir araya getirilmesinin sağlanması
- 3- Taneciklerin polimer köprüleri ile bir araya getirilmesinin sağlanması (Uçbaş, 1991).

Kullanılan yağ miktarı, aglomeratların şeklini ve nemini belirlemektedir. Az miktarda yağın kullanılması ile gevşek floküle bir yapı (pendular bağlanma) oluşurken, yağ miktarının artması ile daha kompakt bir yapı (funikular bağlanma) oluşur. Bu durumda bir miktar daha su aglomeratların içinde mevcuttur. Yağ miktarının daha

fazla artırılması ile aglomeratların poroziteleri tamamen yağ ile doldurulur (kapiler bağlanma) ve aglomeratlar en kompakt ve en az su içeren bir yapı kazanırlar.

Aglomerasyon yöntemi ile elde edilen agregatlar kopmakt, içleri yağ ile dolu ve hidrofob olduğundan daha az su tutarlar ve dolayısı ile elde edilen ürünün nem oranı düşüktür. Örneğin kömür süspansiyonları doğrudan filtre edildiklerinde elde edilen ürünün (filtre kekinin) nem oranı %20'den daha yukarı iken, süspansiyondaki kömürün aglomere edilip elemeyele susuzlaştırılması ile elde edilen ürünün nem oranı %10'nun altına düşebilmektedir. Bu yüzden aglomerasyonda filtrasyon ve termal kurutmaya gerek kalmayabilmektedir. Ayrıca, aglomerasyon yöntemi ile oluşturulan agregatlar kompakt olduğundan elde edilen çökeğin hacmi koagülasyon ve flokülasyona göre azdır (Uçbaş, 1991).

4. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE KÖMÜR REZERVİ

4.1 Dünyada Kömür Rezervi

1998 yılı değerleri ile 992.012.000.000 tonluk dünya kömür rezervinin; %51,36'sı antrasit ve bitümlü kömüre, %48,64'ü linyit ve alt-bitümlü kömüre aittir. 482.542.000.000 tonluk linyit ve alt-bitümlü kömür rezervinin %73,4'ü dört ülkede (Almanya %8,9, eski SSCB %27,5, ABD %28,1, Avustralya %8,9) toplanmıştır. 509.470.000.000 tonluk antrasit ve bitümlü kömür rezervinin ise %87,6'sı altı ülkede (eski SSCB %19,1, Çin %12,2, Hindistan %14,3, ABD %21,9, Güney Afrika Cumhuriyeti %10,9, Avustralya %9,3) toplanmıştır (DPT, 2001). Çizelge 4.1'de dünya fosil yakıtları mevcut rezervlerinin kullanılabilme süreleri verilmiştir (Beker, 1998).

Çizelge 4.1. Dünya fosil yakıtları mevcut rezervlerinin kullanılabilme süreleri (Beker, 1998)

Bölge	Petrol	Doğal gaz	Kömür
	Yıl	Yıl	Yıl
Kuzey Amerika	18,9	12,7	247
Orta ve güney Amerika	41,4	76,1	298
Avrupa	29,2	101,6	561
Orta doğu	93,4	>100	300
Afrika	25,2	>100	
Asya ve Okyanusya	17,6	49,7	169
Toplam	43,0	66,4	235

Dünya kömür üretiminin %80'i Avustralya, Çin, Almanya, Polonya, Rusya Federasyonu, Güney Afrika Cumhuriyeti ve ABD tarafından yapılmaktadır. Taş kömürü üreticisi ülkelerin başında 1110 milyon ton üretim (%34,9) ile Çin gelmektedir ve bunu 593 milyon ton ile ABD (%18,6), 369 milyon ton ile Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) (Azerbaycan, Beyaz Rusya, Ermenistan, Gürcistan, Kazakistan, Kırgızistan, Moldova, Özbekistan, Tacikistan, Türkmenistan, Rusya Federasyonu, Ukrayna) (%11,6), 248 milyon ton ile Hindistan (%7,8) takip etmektedir. Linyit üretiminde ise ilk sırada 330 milyon ton ile ABD bulunmakta (%25,9), ABD'yi 207 milyon ton ile

Almanya (%16,3), 105,5 milyon ton ile BDT (%8,3) ve 100 milyon ton ile Çin (%7,8) izlemektedir (Beker, 1998).

4.2 Türkiye’de Kömür Rezervi

Taşkömürü rezervi

Ülkemizin en önemli taşkömürü rezervleri Zonguldak ve civarında bulunmaktadır. Zonguldak havzasında bugüne kadar yapılan çalışmalar sonucunda 1,1 milyar ton rezerv saptanmıştır. Bu rezervin yaklaşık 423 milyon tonu görünür niteliktedir. Havza, Karadeniz Ereğli’den başlayarak Kandilli, Zonguldak, Amasra, Pelitovası, Azdavay ve Söğütözü’ne kadar uzanan bölgeyi kapsamaktadır. Bölgedeki kayalar, Karbonifer devrinde çökelmiş, Hersiniyen ve Alpin Orojenezleri’nin etkisiyle kıvrılmış, kırılmış ve çok karmaşık bir yapı kazanmıştır. Havzada çok sayıda kömür damarı olmakla beraber bunlardan sadece 22 damar işletilebilmektedir.

Kömürün ortalama kimyasal özellikleri; %55 sabit karbon, %26 uçucu madde, %11 kül, %8 nem, ısı değeri ise 6.000 kcal/kg düzeyindedir. Zonguldak taşkömürü Havzası’nın dışında, ülkemizde rezerv açısından önemsiz birkaç taşkömürü yatağı daha bulunmaktadır. Bunlar Antalya-Pamucak yaylası ve Akseki ilçesi Güzelsu ve Çukurköy mevkiinde yaklaşık 1 milyon ton görünür rezervli sahalar ile Diyarbakır-Hazro ilçesindeki yaklaşık 400.000 ton rezervli sahadır (DPT, 2001). Türkiye taşkömürü rezervleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Türkiye taşkömürü rezervleri (1000 ton) (DPT, 2001)

Müesseseler	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Zonguldak-Armutçuk	25.751	8.206	6.000	39.957
Zonguldak-Kozlu	62.367	60.487	47.975	170.829
Zonguldak-Üzülmez	155.491	94.342	74.020	323.853
Zonguldak-Karadon	147.604	159.407	117.144	424.155
Zonguldak-Amasra	31.779	133.304	-	165.083
Toplam	422.992	455.746	245.139	1.123.877

Linyit rezervi

Türkiye’de linyit yatakları Alp Orojenez’inin etkisiyle oluşmuş dağ silsilelerinin arasında sıkışan çöküntü havzalarında gelişmiştir. Linyitlerimizin çökelim yaşları genellikle Miosen ve Pliosen’dir. Ancak Eosen ve Oligosen’de çökelmiş linyit yataklarıda bulunmaktadır.

Linyit sahaları ülkemizde bütün bölgelere yayılmış olup ısı değerleri 1.000-5.000 kcal/kg arasında değişmektedir. Toplam linyit rezervlerimizin yaklaşık %6,9’u 3.000 kcal/kg’ın üzerinde, %13,2’si 2.500-3.000 kcal/kg arasında, %79,9’u ise 2.500 kcal/kg’ın altında ısı değerine sahiptir (DPT, 2001). Türkiye’de linyit rezervlerinin bölgesel dağılımı ve ortalama kimyasal özellikleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Türkiye’de linyit rezervlerinin bölgesel dağılımı ve ortalama kimyasal özellikleri (DPT, 2001)

Bölge	Rezerv (10 ⁹ ton)	Nem (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Alt ısı değeri (kcal/kg)
Kuzey-batı Anadolu Bölgesi (Kütahya, Balıkesir, Bursa, Manisa, Çanakkale)	1,80	20,0	1,7	20	3.500
Güney-orta Anadolu Bölgesi (Adana, Kahramanmaraş)	3,50	50,0	2,0	20	1.200
İç Anadolu Bölgesi (Ankara, Konya, Çankırı, Çorum, Yozgat, Sivas)	1,45	30,0	3,2	25	3.000
Güneybatı Anadolu Bölgesi (Aydın, Muğla, Denizli, Isparta, Burdur, Afyon)	0,90	30,0	2,0	20	2.500
Trakya Bölgesi (Tekirdağ, Edirne, Kırklareli, İstanbul)	0,40	30,0	3,0	20	2.500
Doğu Anadolu Bölgesi (Bingöl, Erzincan, Erzurum, Van)	0,20	20,0	1,2	20	3.000
Toplam	8,25	36,5	2,1	21	2.240

Asfaltit rezervi

Asfaltitler, koyu renkli (siyah, siyah-kahverengi), sert olmayan hidrokarbonlardır. Karbon sülfürdeki çözünürlükleri %90-100, ergime dereceleri 120-315 °C arasında değişmektedir (Işıganer, 1985). Dünyanın pek çok yerinde asfaltit yatakları mevcuttur (Parnell, 1994a). Asfaltit petrolün zaman, sıcaklık ve basıncın etkisi altında metamorfizmaya uğraması sonucu oluşmuştur (Sun vd., 1984; MTA., 1982; MTA, 1990). Mezozoik-Senozoik jeolojik zamana ait asfaltit yatakları büyük miktarda kil mineralleri, kuvars, albit, ortoklaz ve pirit içermektedirler.

Asfaltitler, Senozoyik döneme ait fayların birbiri üzerine binmesi sırasında meydana gelen kırılmalar sonucu faylanma düzlemlerinin içine girmiştir (Parnell, 1994b). Asfaltitler yüksek kül içerikli, Mo, Ni ve Ti metallerince zengin maddelerdir (Saltoğlu vd., 1978; Lebküchner, 1969; Lebküchner vd., 1972; Atamer vd., 1981).

Ekonomik kalınlıkta filon tipi yataklar Şırnak ve Silopi’de bulunmaktadır. Yapılan etüt ve sodaajlarla 79,9 milyon ton asfaltit rezervi belirlenmiştir. Bu rezervin 44,5 milyon tonu görünür niteliktedir (DPT, 2001). Türkiye’deki asfaltitlerin kimyasal özellikleri ve filonlar itibariyle Türkiye asfaltit rezervleri sırası ile Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Türkiye’deki asfaltitlerin kimyasal özellikleri (DPT, 2001)

Sahalar	Nem (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Uçucu madde (%)	Alt ısı değeri (kcal/kg)
Şırnak	6,0	31,0	4,5	39,0	5.330
Silopi	6,0	31,0	4,0	30,0	5.310

Çizelge 4.5. Filonlar itibariyle Türkiye asfaltit rezervleri (DPT, 2001)

Filon	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Şırnak-Silopi-Harbul	17.914	7.851	-	25.765
Şırnak-Silopi-Silip	3.071	1.335	-	4.406
Şırnak-Silopi-Üçkardeşler	9.472	10.861	-	20.333
Şırnak-Avgamasya	6.969	673	-	7.462
Şırnak-Milli	1.981	2.900	1.600	6.481
Şırnak-A.Karatepe	500	2.000	2.500	5.000
Şırnak-Seridahlı	3.534	1.254	1.279	6.067
Şırnak-Nivekara	300	1.000	700	2.000
Şırnak-A.İspindoruk	100	500	500	1.100
Şırnak-Segürük	121	450	-	571
Şırnak-Rutkekurat	551	53	-	604
Toplam	44.513	28.877	6.579	79.969

Turba rezervi

Turba, havasız ortamda suya doygun koşullarda çökelerek birikmiş az veya çok oranda hümfikasyona uğrayarak ayrıışmış bitkisel materyal/humus ve inorganik materyalden oluşan heterojen bir karışımdır. Kömürün ilk oluşum aşaması olup, kömürlerin evrimi ve kökeni hakkında bilgi verirler.

Ülkemizde şimdiye kadar yapılan çalışmalarla 19 ilimizin sınırları içerisinde çeşitli büyüklüklerde turba oluşumu belirlenmiştir. Bunlardan en önemlileri Kayseri-Ambar, Hakkari-Yüksekova ve Bolu-Yeniçağ turbalıklarıdır. Kayseri-Ambar turba yatağının orijinal bazda görünür rezervi 105 milyon ton, Hakkari-Yüksekova turba yatağının rezervi yine orijinal bazda 74,5 milyon ton, havada kuru bazda ise 18,8 milyon tondur. Bulunmuş turba rezervlerimizin azlığı nedeni ile enerji üretiminde yararlanılması bugün için öncelikli görülmemektedir (DPT, 2001).

Bitümlü şist rezervi

Bitümlü şistler veya bitümlü şeyler, kerojen kapsayan ince taneli tortul kayalardır. Kerojen, organik bir madde olup, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt içerir. Kerojen içeren ince taneli kayalar başlıca kalsiyum karbonat, feldspat, kuvars, kil, pirit ve nadir elementlerden oluşur. Bitümlü şistler çeşitli ortamlarda çökelirler. Kömür oluşumu ile ilgili bataklıklar, lagünler, kıta platformları ve çanaklar bitümlü şeylerin oluşumuna uygun ortamlardır. Oluşumları belirli bir jeolojik zamana bağlı değildir. Yaşları Paleozoik, Mesozoik ve Senozoik olabilir.

Bitümlü şist, kömür gibi termik santral yakıtı olarak veya damıtma yoluyla sentetik petrol üretimi için kullanılabilen bir enerji kaynağıdır. Bununla ilgili olarak önceki yıllarda Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından aramalar yapılmış ve tamamı Anadolu'nun batı yarısında yer alan Beypazarı, Seyitömer, Göynük, Ulukışla, Mengen, Bahçecik ve Burhaniye'de 7 saha tespit edilmiştir.

Çalışmalar sonucu bulunan bitümlü şist rezervi toplamı 1,1 milyar ton'dur. Tespit edilen sahalardaki bitümlü şistlerin toplam rezervi önemli görülmeyle birlikte, ortalama kalorifik değeri 1.000 kcal/kg dolayında olup, oldukça düşüktür. En yüksek kalorifik değer Göynük-Himmetoğlu sahasında ve 1.390 kcal/kg olarak ölçülmüştür (DPT, 2001).

5. ADIYAMAN-GÖLBAŞI LİNYİT SAHASI

5.1 Coğrafi Durum

Adıyaman-Gölbaşı linyit sahası, 1978 yılında Soykan kömür grubuna devredilmiştir. Soykan kömür işletmesi sahası; Adıyaman ili, Gölbaşı ilçesi, Harmanlı bucağının Akyer mevkiindedir. Kömür sahası Harmanlı (Perveri) bucağı ile Ozan köyü arasında yer almaktadır. Yer bulduru haritası Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Linyit sahasının deniz seviyesinden yüksekliği 900-1000 metreler arasında değişmektedir. Linyit sahası, örtü tabakasının azlığı nedeniyle açık işletmeye uygundur (Soykan Kömür İşletmesi, 1997).

5.2 Adıyaman-Gölbaşı Linyitinin Kimyasal, Fiziksel ve Petrografik Özellikler

5.2.1 Kimyasal özellikler

Adıyaman-Gölbaşı linyit sahasının tümü için ortalama analiz değerleri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

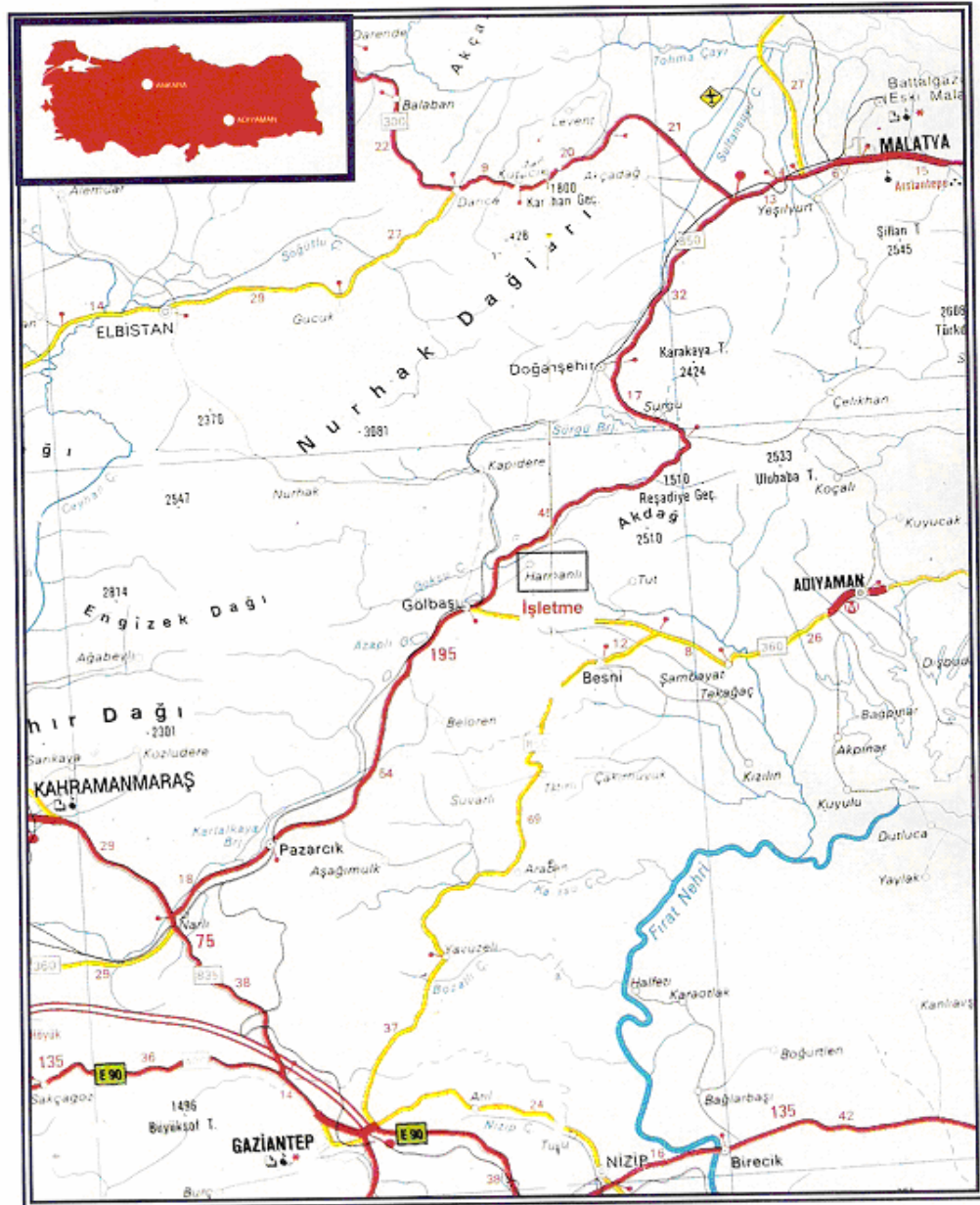
Orjinal kömürde,

Nem	: % 49,72
Kül	: % 21,34
Uçucu madde	: % 19,23
Sabit karbon	: % 11,84
Toplam kükürt	: % 1,16
Alt ısı değeri	: 1385 kcal/kg

Adıyaman-Gölbaşı linyit sahasında nem oranı %38-56 arasında değişmektedir. Bu oran havada kuru kömürde %5-14 arasında değişmektedir (Soykan Kömür İşletmesi, 1997).

Tuncalı ve arkadaşları (2002) tarafından yapılan çalışmada, Adıyaman-Gölbaşı linyitinin kimyasal analiz sonuçları şu şekilde verilmiştir: orijinal kömür; %14,54 kül, %49,07 nem, %22,74 uçucu madde ve %13,65 sabit karbon, %1,45 toplam kükürt

içermekte olup alt ısı değeri 1736 kcal/kg ve üst ısı değeri 2119 kcal/kg şeklindedir (Tuncalı vd., 2002).



Şekil 5.1. Adıyaman-Gölbasi linyit sahasının yer bulduru haritası (Soykan Kömür İşletmesi, 1997)

5.2.2 Fiziksel özellikler

Adıyaman-Gölbaşı linyiti orijinal halde yumuşak ve siyahımsı kahverenkli. Orijinal kömür havada kuruyup suyunu kaybettiğinde ıslak görünümü kaybolmakta ve dağılma özelliği göstermektedir. Orijinal kömürde 20 °C koşullarında yoğunluğu 1,32 ton/m³ olup, ağaç parçaları ve gastropod fosilleri içermektedir (Soykan Kömür İşletmesi, 1997).

5.2.3 Petrografik özellikler

Tuncalı ve arkadaşları (2002) tarafından yapılan çalışmada, linyitin petrografik özellikleri şu şekilde bulunmuştur.

Hüminit	: %58
Liptinit	: %5
İnertinit	: %7
Pirit	: %5
Kil, silt vb.	: %21

5.3 Genel jeoloji

5.3.1 Stratigrafi

Linyit sahasının stratigrafik dizilişi şu şekildedir:

-Neojen öncesi kayalar

Fliş, ofiolitler ve kireçtaşlarından oluşan kayalar Neojen temelini oluşturmaktadır.

Fliş: Kömürlü sahanın en yaşlı kayalarıdır. Fliş serisi yeşilimsi, gri renkli marn, kumtaşı ve kireçtaşı tabakalarının tekrarlanmasından meydana gelmiştir. Kumtaşı ince ve kalın taneli tabakalar halindedir. Kalkerler çimentolu olup, serinin üst seviyelerine hakim durumdadır. Kalkerlerin tavanında ise serpantin çakıllı, demir çimentolu kırmızı

renkli konglomeralar yer almaktadır. Fliş serisinin Üst Kretase yaşı olduğu kabul edilmektedir (Soykan Kömür İşletmesi, 1997).

Ofiyolitler (Serpantinit): Bölgede görülen ofiyolitler serpantinleşmiş peridotitlerdir. Renkleri gri veya yeşil olan serpantinler, fliş serilerini kesmektedirler. Serpantinlerin yaşları Üst Kretase olarak kabul edilmektedir.

Kireçtaşı: Fliş serileri üzerine uyumsuz olarak gri beyaz renkli marnlı kalkerlerle hafif sarı renkli kalkerler gelmektedir. Neojen birimlerini çevreleyen kayalar tamamen bu kireçtaşlarından ibarettir. Bol miktarda Nummulit içeren bu birimlerin yaşları Eosen olarak kabul edilmektedir.

Neojen çökelleri

Neojen çökelleri taban kongloması, silttaşı-kiltaşı ve killi kalkerlerden oluşmaktadır.

Taban kongloması: Sahanın Neojen yaşı transgresif serisi taban kongloması ile başlamaktadır. Taban konglomasının tane boyutları 1-25 cm arasında değişmektedir. Çimento gevşek olup, kalınlık 1-3 metre arasında değişmektedir. Taban konglomasının yaşı Plio-Pleistosen'dir.

Silttaşı-kiltaşı: Sahada görülmeyen bu birim ancak sondajlar aracılığı ile tanınmaktadır. Bu seviye gri renkli olup kömürlü serinin altında yer almaktadır.

Kömürlü kalkerli killer: Silttaşı-kiltaşı ve konglomeradan oluşan tabanın üzerinde kalkerli killeri içeren linyit damarı yer almaktadır. Kömür damarı kalkerli killerin alt düzeylerinde bulunmaktadır. Kömür numunelerinin palinolojik tayinlerinde bu serinin yaşının Plio-Pleistosen olduğu tespit edilmiştir (Soykan Kömür İşletmesi, 1997).

Neojen sonrası çökeller(Kuvaterner),

Bölgenin neojen sonrası çökelleri çakıl ve alüvyonlardan oluşmaktadır.

Çakıllar: Kömürlü sahanın büyük bir bölümünü kaplayan çakıllar yuvarlak olup yer yer köşelidirler. Kuvaterner yaşlı olan çakıllar Plio-Pleistosen oluşumlarını örtmektedir (Soykan Kömür İşletmesi, 1997).

Alüvyon: Gölbaşı gölünün kuzeydoğusu tamamen alüvyonlarla kaplıdır ve bu alüvyon sahasında büyük bir bataklık meydana gelmiştir. Bu sahadaki alüvyonlar ince taneli malzemelerden meydana gelmiştir.

5.3.2 Tektonizma

Kıvrılma tektoniği

Kömür sahasında önemli bir kıvrımlanma bulunmamaktadır. Harmanlı bucağının güneybatısında Eosen oluşukları KB ve KD'ya, kuzeyde ise GD'ya eğimlidir. Eğimler 20^0 - 50^0 arasında değişmektedir.

Kıvrılma tektoniği

Hassa-Kahramanmaraş-Gölbaşı çukurluğu topoğrafik olarak bir graben görünümünde olmasına rağmen çok yönlü ve doğrultu atımlı bir fay zone üzerinde yer almaktadır. Sahada Pliyosen sonrası etkin bir tektonik hareket gözlenmemektedir. Kömürlü sahada küçük ve normal atımlı faylar bulunmaktadır. Bölgenin en önemli kırık hattı Doğu Anadolu fayıdır. Saha 2. derece deprem kuşağına girmektedir.

Orojenez ve fazlar

Sahada üst Kretase flişi üzerine Eosen kireçtaşları, diskordans ile Neojen sedimanları gelmektedir. Eosen yaşlı kireçtaşları Alp orojenezinin Pyreneik fayı ile kıvrılmışlardır.

Eosen sonrası epirojenik hareketlerle KD-GB doğrultusunda Gölbaşı çöküntüsü meydana gelmiştir (Soykan Kömür İşletmesi, 1997).

5.3.3 Palinolojik özellikler

Sahada yapılan sondajlardan alınan numunelerin palinolojik tetkik ve tayinleri yapılmış olup kömürlerin, Plio-Pleistosen yaşlı oldukları tespit edilmiştir.

5.3.4 Kömür kalınlığı

Kömür kalınlıkları değişkendir. Havza ortasında kömür en yüksek kalınlığa sahiptir. Havzadaki kömürlü horizon kalınlığı 4-90 metre arasında değişmektedir.

5.3.5 Kömürün taban ve tavan kayaçları

Kömürün taban kayaçları; linyit izli kil, kil, marnlı seviyelerden daha derinlerde siltli kumlu ve çakıllı litolojilere geçmektedir. Kömürün tavan kayaçları ise; çakıl, kalkerli kil, ve mavi renkli kilden oluşmaktadır. Tavan kayaçlarının kalınlığı 4-74 metre arasında değişmektedir (Soykan Kömür İşletmesi, 1997).

5.4 Rezerv

Görünür rezerv: 52 416 476 ton

Muhtemel rezerv: 4 131 640 ton

Mümkün rezerv: 3 453 270 ton

Sahada görünür + muhtemel + mümkün kategorisinde olmak üzere 60 000 000 ton civarında kömür varlığı tespit edilmiştir (Soykan Kömür İşletmesi, 1997).

6. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Flotasyon

Arnold and Aplan (1986), kömür flotasyonu üzerinde kilin etkisini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan farklı yapıdaki killeri, kömür flotasyonunu farklı şekilde etkilemiştir. Tüvenan kömürün kil içeriğinin artışı ile konsantrenin kil içeriği artmıştır. Kaolin ve illit killeri, kömürün bastırılmasında çok az etki yapmıştır (Arnold and Aplan, 1986).

Demirel (1988), Çayırhan linyit ocaklarından alınan kömür numunelerinde piritin bulunuşunu ve piritin serbestleşme imkanını araştırmıştır. Flotasyon yöntemi ile piritik kükürt içeriği tavan kömür damarı için %3,81'den %1,03'e ve taban kömür damarı için ise %3,21'den %0,96'ya düşürülmüştür. Kömür kazanma verimi %60,5 olarak elde edilmiştir (Demirel, 1988).

Çelik ve arkadaşları (1990), kömürden kükürtün selektif olarak ayrılması için yeni bir flotasyon bastırıcısı geliştirmişlerdir. Reaktif konsantrasyonu, pH ve flotasyon zamanının flotasyon verimi üzerindeki etkisi mikroflotasyon hücresinde araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan bastırıcı, ticari olarak mevcut kükürt bazlı pirit bastırıcıları ile karşılaştırıldığında düşük konsantrasyonlarda bastırıcı kullanımı mükemmel performans göstermiştir (Çelik et al., 1990).

Hussain (1990), flotasyon yöntemi ile Lakhra linyitinin yüksek kükürt ve kül içeriğinin azaltılmasını araştırmıştır. Kollektör olarak gazyağı kullanılmıştır. Havada kurutulan linyit numuneleri 48 meş'in altına ufaltılmış ve özgül ağırlığı 1,56, nem içeriği %9,33 ve uçucu madde %40,78, kül %27 ve kükürt %4,96 (havada kurutulmuş örnekte) olarak belirlenmiştir. Testler sonunda, optimum katı oranı %5 ve kollektör/köpürtücü oranı 5=1'de olumlu sonuçlar alınmıştır. %13,76 kül ve %1,29 kükürt içeren temiz kömür, %74,6 verim ile kazanılmıştır (Hussain, 1990).

Öney (1993), Zonguldak ince boyutlu kömürünün flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesini araştırmıştır. Elde edilen optimum flotasyon koşullarına göre oktanol kullanımı ile %22,67 kül içerikli ve %90,21 verim ile temiz konsantre elde edilmiştir ve etil alkol kullanımı ile %9,61 kül ve %48,94 verim ile temiz konsantre elde edilmiş olup bu kademenin artığına oktanol ilavesi ile %38,10 küllü bir ara ürünün %41,01 verimle elde edilmiştir (Öney, 1993).

Sarıkaya ve Özbayoğlu (1995), oksitlenmiş kömürün yüzdürülebilirliğini, elektrokinetik çalışmalar, temas açısı ölçümleri ve flotasyon deneyleri ile araştırmışlardır. Elektrokinetik ölçümler, oksitlenmiş ve oksitlenmemiş kömürün zeta potansiyelinin pH'ya bağlı olduğunu göstermiştir. Oksidasyon süresinin artışı, ölçülen zpc noktalarını azaltmıştır ve negatif zeta potansiyeli artmıştır. Katyonik kollektörler kullanılması durumunda kullanılan kollektörün konsantrasyonu ve türüne bağlı olarak pH 9,3-10,9 altında oksitlenmiş kömürün negatif değerli zeta potansiyeli, pozitif değere değiştirilmiştir. Temas açısı ölçümleri, oksitlenmemiş kömürün doğal yüzdürülebilirliğinin oksidasyon ile bozulduğunu göstermiştir. Katyonik kollektörlerin ilavesi oksitlenmiş kömürün temas açısı değerini artırmıştır. Flotasyon deneyleri, oksidasyon derecesi arttığı zaman kömürün yüzdürülebilirliğinin azaldığını göstermiştir (Sarıkaya ve Özbayoğlu, 1995).

Deniz ve arkadaşları (1996), Çivril (Denizli) linyitlerdeki kükürdün uzaklaştırılması için flotasyon deneyleri yapmışlardır. Bastırıcı, toplayıcı, köpürtücü, katı miktarı ve karıştırma hızının kömür bünyesindeki kükürdün uzaklaştırılması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda, flotasyon yöntemi ile %4 toplam kükürtlü tüvenan kömürden %1,51 kükürtlü lave elde edilmiştir (Deniz vd., 1996).

Pişkin ve Akgün (1997), yüksek miktarlarda inorganik malzeme içeren oksitlenmiş Amasra kömürünün flotasyon verimini etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Amasra kömürü numuneleri, daha düşük kül içeriğinin elde edilmesi amacı ile uzun süre atmosfere maruz bırakılarak oksitlendirilmişlerdir. Ön karıştırma, kömür yüzeyinde oksitlenmiş tabakanın uzaklaştırılması için %60 kömür ve %40 su içeren yoğunlaştırılmış pülpe uygulanmıştır. Oksitlenmiş tabaka, karıştırma sırasında

uzaklaştırılmıştır. Ön karıştırma süreleri; 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 ve 20 dakika şeklinde olup her bir ön karıştırmadan sonra flotasyon deneyleri yapılmıştır. Köpük alma süresi, kalorifik değer, yanabilir madde verimi ve kül içeriği arasında bazı ilişkiler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, 20-25 dakika köpük toplanmasının flotasyon açısından yeterli olacağını göstermiştir. Flotasyon yöntemi ile Amasra kömürünün kül içeriği %52,37'den %10,92'ye düşürülmüştür. Kalorifik değer 2913'den 6068 kcal/kg'a artırılmış olup yanabilir verimde %88,08'e ulaşmıştır (Pişkin ve Akgün, 1997).

Bolat ve arkadaşları (1998), Amasra kömürünün flotasyonu üzerinde oksidasyonun etkisini araştırmışlardır. Elde edilen zeta potansiyeli ve flotasyon verilerine dayanarak, Amasra kömürünün yüzdürülebilirliğinin, flotasyon ortamında düşük konsantrasyonlarda elektrolit kullanımı ile arttığı ve oksidasyon ile yüzdürülebilirliğinin azaldığı ortaya çıkmıştır. BaCl_2 , CrCl_3 ve FeCl_3 çözeltilerinde yapılan flotasyon deneyleri sonucunda sırasıyla, %20,20, %13,92 ve %15,20 kül içeren konsantrasyonlar elde edilmiştir (Bolat vd., 1998)

Osasere (2000), koagülant ve flokülantlar kullanarak bitümlü ve yarı bitümlü iki kömür üzerinde Hallimond tüp flotasyon deneyleri gerçekleştirmiştir. Deneylerde koagülant olarak, $\text{Al}(\text{NO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O})$ ve $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, flokülant olarak nişasta ve Superfloc 16 kullanılmıştır. Reaktif konsantrasyonu ve pH'nın flotasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda, nişasta ve flokülantın, kömür üzerinde en geniş temas açısını sağladığı, her iki kömür türü için (bitümlü ve yarı bitümlü) koagülantların, flotasyon verimlerini azalttığı ortaya çıkmıştır. Koagülantlarla; koagülant konsantrasyonunun artması ile temas açısı ve verim azalırken, flokülantlarla; flokülant konsantrasyonunun artışı ile temas açısı ve verim artmıştır (Osasere, 2000).

Deniz ve arkadaşları (2000), Eskişehir-Mihallıççık Koyunağlı köyü %40,14 küllü kömürlerinin zenginleştirilebilirliğini araştırmışlardır. Kömür örneği üzerinde yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır. Yüzdürme-batırma testleri sonucu kömür örneğinin yıkanabilirliğinin zor olduğu, bu nedenle flotasyon yöntemi ile zenginleştirmeyi araştırmışlardır. En uygun şartlarda kaba flotasyon sonucunda, %22,54 kül içerikli temiz kömür %51,84 yanabilir verim ile elde edilmiştir. Kaba flotasyon

sonucunda elde edilen ön konsantreye bir kademe temizleme ve artığa bir kademe süpürme flotasyonu yapıldığında elde edilen konsantrenin kül oranı %18,22'ye indirilmiş ve kömürün yanabilir verimi %54,64 olarak elde edilmiştir (Deniz vd., 2000).

Jia ve arkadaşları (2000), iki adet yüksek oranda kükürt içeren Illinois No.6 ve Pittsburgh No.8 kömürlerinin flotasyonu üzerinde farklı non-iyonik reaktiflerin etkisini araştırmışlardır. Bu reaktiflerin performansı, iki yağlı kollektörün (dodecane ve nonylbenzene) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Illinois No.6 ve Pittsburgh No.8 kömürlerinin flotasyonu için non-iyonik THF ester reaktiflerin (THF serileri), hem oksitlenmiş hemde oksitlememiş kömür için dodecane'den (yağlı kolektör) daha çok etkili oldukları görülmüştür. Oksitlenmiş kömürün flotasyonu üzerinde yapılan deneyler sonucunda dodecane ile oksitlenmiş kömürün yüzdürülmesi güç olurken, THF serisi reaktifler, oksitlenmiş kömür yüzeyi üzerinde oksijen fonksiyonel gruplarına hidrojen bağlanması yolu ile oksitlenmiş kömürün yüzdürülebilirliğini artırmıştır (Jia, et al., 2000).

Ateşok ve Çelik (2000), düşük derecede yüzdürülebilirlik özelliğine sahip Soma kömürü için yeni bir zenginleştirme akım şeması geliştirmişlerdir. Bu yeni zenginleştirme akım şemasında, bitümlü kömür zift kullanılarak kömürün kuru öğütülmesini müteakip kollektörlerle flotasyon yapılmıştır. Çalışma sonunda, kuru öğütme sırasında zift ilavesi, verimlerde %22,1'den %89,9'a önemli bir artış sağladığı ve kül düzeylerini %11,8'den %10,1'e azalttığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca Soma kömürünün yüzdürülebilirliği, kömürün 300-600 °C arasında ısıtılması ile artırılmıştır (Ateşok ve Çelik, 2000).

Ateşok ve arkadaşları (2001), yüksek derecede hidrofobik iri boyutta taşıyıcı kömür partiküllerini kullanarak, aşırı derecede hidrofilik (yüzmeyen) düşük sınıflı kömür partikülleri ile şlam boyutunda kaplayarak, hidrofobik kömür için taşıyıcı flotasyonda yeni bir kavram geliştirmişlerdir. Optimum koşullar altında, %16,3 kül ve %2 toplam kükürt içeren besleme malından %8,3 kül ve %0,72 toplam kükürt içeren ince boyuttaki (-38 mikron) konsantre %81,0 yanabilir verim ile kazanılmıştır (Ateşok vd., 2001).

Vamvuka ve Agridiotis (2001), flotasyon yöntemi ile linyitin temizlenmesini araştırmışlardır. Optimum partikül boyutu $-300 + 75$ mikron, pülp yoğunluğu %15 ve köpürtücü miktarı 0,4 gram/kilogram şeklinde bulunmuştur. Gazyağının yalnız başına kollektör olarak kullanımı toplam verimi ve selektiviteyi artırmamıştır. Gazyağı kullanmadan reaktif ilavesi, daha düşük kül içeren konsantrelerin kazanımını sağlamıştır. Katyonik, iyonik olmayan ve anyonik reaktiflerin kül/verim performansı sırası ile asidik, nötr ve alkali çözeltilerde daha yüksek çıkmıştır (Vamvuka and Agridiotis, 2001).

Sis ve arkadaşları (2002), yüksek kül içerikli kömürün ince kısımlarından temiz konsantrelerin elde edilmesi için flotasyonda, konvansiyonel iyonik olmayan kollektörlere alternatif şeklinde bazı iyonik kollektörler kullanmışlardır. Konsantrelerin kül ve verimi üzerinde iyonik olmayan kollektörler ve iyonik kolektörlerin etkisi karşılaştırılmıştır. Gazyağı ve köpürtücü (çamyağı, diethyl isohexanol, MIBC veya Dowfroth 250) karışımları konvansiyonel reaktifler şeklinde kullanılırken ticari yağ asitleri (oleik asit gibi), onların karışımları (tall oil, Pamak 1, Pamak 4) ve sülfonatlar (Aeropromoter 801, Aeropromoter 825, Aeropromoter 848 veya Accoal E12), iyonik kollektörler şeklinde kullanılmıştır. Flotasyon sonuçları, konsantrelerin kül içerikleri ve verimlerinin reaktif türü ve konsantrasyonu ile değiştiğini göstermiştir. Konvansiyonel kollektörler, konsantrenin kül içeriğini %21'in altına düşürememiştir. Diğer taraftan iyonik kollektörler, kül içeriğini %14'e azaltmıştır. Karıştırılmış yağ asidi kollektörleri (%40'dan daha fazla oleik asit içeren: Pamak 1, Pamak 4 ve tall oil) oleik asidin yalnız başına kullanılmasından çok daha iyi sonuçlar vermiştir (Sis vd., 2002)..

Shu ve arkadaşları (2002), Shenfu kömürlerinde petrografik bileşenlerin yüzdürülebilirlik özelliklerini incelemişlerdir. Vitrain (vitritin bakımından zengin litotip) ve fusain (inertinit bakımından zengin litotip) arasında elementel bileşim, kül düzeyi ve oksijen içeren fonksiyonel gruplar, hidrofobisite gibi bazı farklılıklar ortaya çıkarılmıştır. Bu farklılıklar, flotasyon yöntemi ile yalnız başına bileşenlerin hazırlanması ve ayrılması imkanını artırmıştır. Uygun reaktifler, köpürtücüler ve kollektörler kullanıldığı zaman kömürlerden vitritin'in ayrımının mümkün olduğu

görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, yüzen kısımda vitrinit'in %80'den daha fazla kazanılabileceğini göstermiştir (Shu, et al., 2002).

Denby ve arkadaşları (2002), ince boyuttaki kömürlerin kazanımı için flotasyon ve aglomerasyon yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada kısa zincirli uçucu yağ asitleri her iki yöntemde denenmiştir. Çalışma sonunda, kısa zincirli uçucu yağ asitlerinin ince boyutlu kömürü yüzdürdüğü, test edilen yağ asitleri için optimum zincir uzunluğunun C10 (capric asit) olduğu, capric asitin 100 g/ton civarında optimum verimler verdiği, konvansiyonel n-dodecane/MIBC reaktifi için 400 g/ton üzerinde ve oleik asit için 1000 g/ton civarında optimal verimler elde edildiği ortaya çıkmıştır (Denby, et al., 2002).

Güney ve arkadaşları (2002), 1985 yılında Berlin Teknik Üniversitesinde geliştirilen jet flotasyonunu kullanarak, Zonguldak Merkez Yıkama fabrikasından alınan %45 kül içeren -0,5 mm boyutunda kömürün flotasyonunu araştırmışlardır. Çalışma sonunda en iyi sonuçlar %90 gazyağı + %10 iso-oktanol karışımının 400 g/ton miktarında kullanılması durumunda elde edilmiş olup optimum jet flotasyonu koşullarında; %18,73 kül içeren yüzen kısım %72,4 yanabilir verimle elde edilmiştir. Jet flotasyonu uygulanması durumunda elde edilen sonuçlar, kolon flotasyonu ve konvansiyonel flotasyon sistemlerinin uygulanması durumunda elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, jet flotasyonunun en iyi olduğu görülmüştür. Aynı zamanda jet flotasyonu, düşük operasyon maliyeti gerektirmesi, kısa bekletme süresi ve operasyon aşamasında daha az teknik yardım gerektirmesi açısından uygun olduğu görülmüştür (Güney vd., 2002).

Kahraman ve arkadaşları (2002), alt bitümlü kömür niteliğindeki Hazro (Diyarbakır) kömürünün yıkanabilirliğini araştırmışlardır. Çökeksu ve Dadaş köylerinden alınan üst ve alt kömür damarı numunelerine ağır ortam zenginleştirme ve flotasyon yöntemlerini uygulamışlardır. Üst kömür damarına ağır ortam ve flotasyon yöntemlerinin uygulanması ile %79,04 yanabilir verimle, %18,95 kül içerikli temiz kömür elde edilmiştir. Alt kömür damarının farklı tane boyutlarında uygulanan ağır

ortam ve flotasyon yöntemlerinden kömür ince boyutta serbestleşmesinden dolayı olumlu sonuç alınmamıştır (Kahraman vd., 2002).

Martinez ve arkadaşları (2003), ince boyuta öğütülmüş kömürün kül ve kükürt içeriğini düşürmek için fiziksel ve biyolojik yöntemlerin kombinasyonunu kullanmışlardır. Çalışmada Kuzey İspanya kömür sahasından alınan bir yarı antrasit kömür numunesi kullanılmıştır. Hidrosiklon ve flotasyon yöntemlerinin birlikte kullanılması ile kül içeriğinde %41,1'lik ve kükürt içeriğinde %20,8'lik bir azalma sağlanmıştır. Biyolojik yöntemin kombinasyonu ile kükürt içeriği %41,7 yukarısında ve kül içeriği %58,9 yukarısında azaltılmıştır. Hem fiziksel hemde biyolojik yöntemlere tabi tutulan numunelerin kalorifik değerinde bir artış meydana gelmiştir (Martinez, et al., 2003).

Sis ve arkadaşları (2003), %46,1 kül içeren ince boyutlu kömür numunelerinden temiz konsantrelerin elde edilmesi için konvansiyonel iyonik olmayan kollektörlere alternatif olarak bazı iyonik kollektörler kullanmışlardır. Gazyağı ve çamyagının karışımları konvansiyonel reaktifler şeklinde kullanılırken ticari yağ asitleri iyonik kollektörler şeklinde kullanılmıştır. Flotasyon sonuçları, konvansiyonel kollektörlerin konsantrenin kül içeriğini %21'in aşağısına azaltmadığını, iyonik kollektörler kül içeriğini %16'nın aşağısına azalttığı fakat verimlerinin daha düşük olduğunu göstermiştir (Sis vd., 2003).

Xu ve arkadaşları (2003), montmorillonit ve kaolinit killerinin kömür flotasyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kömür ile birlikte ince boyuttaki kilin etkileşimlerini araştırmak için zeta potansiyeli dağılım ölçümüne dayanarak yeni bir yöntem tanımlamışlardır. Zeta potansiyeli dağılım ölçümü, kömür ve kil süspansiyonları ile ayrı ayrı ve birlikte olmaları durumunda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, ince boyuttaki kil türünün önemli bir faktör olduğu ortaya çıkmıştır. Montmorillonit ilavesi kömür flotasyonunu bastırırken, kaolinit kili aynı etkiyi göstermemiştir. Kömür üzerinde montmorillonit kilinin şlam kaplaması, daha yüksek pülp pH'sında daha az etkili olduğu, yüksek pH'da kömür flotasyonunun üzerinde ince boyuttaki

montmorillonit killerinin negatif etkisinin kısmen azaldığı görülmüştür (Xu, et al., 2003).

Erol ve arkadaşları (2003), bitümlü kömürün ince kısımlarının flotasyonunu, Triton x-100, Brij 35, MIBC (methyl isobuthyl carbinol), SDS (sodium dodecyl sulfate) ve Triton x-100 veya Brij 35'in MIBC ile çeşitli oranlardaki karışımlarını kullanarak araştırmışlardır. En yüksek verimler (>%90) konvansiyonel reaktiflerin kullanılması durumunda (MIBC veya SDS) elde edilmiştir. Fakat kül uzaklaştırma değerleri, daha düşüktür. Kül uzaklaştırma, reaktiflerin karışımının kullanılması ile önemli şekilde artmıştır (Erol vd., 2003).

Ayhan ve arkadaşları (2003), flotasyon yöntemi ile Şırnak asfaltitlerinin külünün düşürülmesini araştırmışlardır. Öğütme süresi, katı oranı, pH, toplayıcı miktarı, bastırıcı miktarı ve köpürtücü miktarının flotasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. En iyi koşullar, katı oranı: %5, pH:8, toplayıcı mikatı: 0 g/ton, bastırıcı miktarı: 150 g/ton ve köpürtücü miktarı. 100 g/ton şeklinde belirlenmiş olup %32,95 kül içerikli temiz asfaltit ürünü %76,61 yanabilir verimle kazanılmıştır (Ayhan vd., 2003).

Ayhan ve arkadaşları (2004), Şırnak asflatitinin flotasyonunda, iyonik kollektörler ve iyonik olmayan kollektörleri karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmalar, %44,8 kül, %6 kükürt, %38 uçucu madde ve %17,2 sabit karbon içeren Şırnak asfaltiti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, gazyağı konvansiyonel iyonik olmayan kollektör şeklinde kullanılırken, Aerofloat 208, Aerofloat 211 ve Aerofloat 242 iyonik kollektörler şeklinde kullanılmıştır. Flotasyon sonuçları, konvansiyonel kollektör şeklinde gazyağı kullanımında temiz asfaltit %27,3 kül içeriği ile %58,7 yanabilir verimle kazanılırken, iyonik kollektör olarak Aerofloat 242 kullanımında ise temiz asfaltit ürünü %29,7 kül içeriği ile daha yüksek bir yanabilir verimle (%74,2) elde edilmiştir (Ayhan vd., 2004).

Penha ve arkadaşları (2004), katyonik reaktif ($C_{12}TAB$, dodecyltrimethylammonium bromide) ve anyonik reaktifin (SDS, sodium dodecyl sulfate) kil, kömür ve kömür/kil karışımlarının flotasyonu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. pH 5 altında $C_{12}TAB$, kil flotasyonu için SDS'dan daha çok verimli olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, adsorpsiyon prosesinde kil yüzeyi ile reaktif etkileşiminin etkili olduğunu göstermiştir. Kömür/kil karışımları ile yapılan flotasyon deneyleri, kömür flotasyonunda kilin bastırıldığı, kömür/kil arasındaki etkileşimin, kömür/kilin daha yüksek oranlarında görülmüştür (Penha, et al., 2004).

Naik ve arkadaşları (2004), %37,7 kül içeren koklaşmayan ince boyutlu kömür artıklarının flotasyonunu araştırmışlardır. Araştırılan değişkenler, pH, kollektör, köpürtücü, ayarlayıcı (sodyum silikat) ve kömür boyutu şeklindedir. Deneyler, 2^5 faktöriyel dizayn kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Verim ve tenördeki etkiler Yates analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Optimum koşullarda, -0,6 mm boyutunda, diesel oil, 0,42 g/kg, MIBC, 0,09 g/kg, sodyum silikat, 0,02 gr/kg, kullanımında, %25,38 küllü ürün pH 7,5'da %88,03 verimle kazanılmıştır (Naik, et al., 2004).

Ayhan ve arkadaşları (2005), Hazro kömürünün kül ve kükürdünün flotasyon yöntemi ile azaltılmasını araştırmışlardır. Hazro kömürünün piritinin bastırılması ve yüzdürülmesi amacı ile pH, kollektör miktarı ve çeşitli köpürtücülerin flotasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çeşitli köpürtücüler karşılaştırıldığında, piritin bastırılmasında şu sıralama elde edilmiştir: MIBC>çamyağı>AF 76>DF 250. Piritin yüzdürülmesinde şu sıralama elde edilmiştir: DF 250>çamyağı>AF 76>MIBC. Flotasyon deneyleri sonucunda, %24,77 kül ve %4,95 piritik kükürt içeren Hazro kömüründen, flotasyon yöntemi ile %1,12 piritik kükürt, %13,02 kül içeren konsantre elde edilmiştir. Flotasyon yöntemi ile kömür numunesinden piritik kükürtün %66,86'sı ve sülfat kükürdün çoğu (>%90) uzaklaştırılmıştır (Ayhan vd., 2005).

Barraza ve Pineres (2005), Güneybatı Kolombiya, Guachinte ve Yolanda'dan alınan iki kömür örneğinden vitrinit bakımından zengin fraksiyonların kazanımı için pilot ölçekli bir flotasyon kolonu oluşturmuşlardır. Kömür numuneleri 38 mikrondan ince boyutta olup flotasyon kolonunda, belirli bir köpürtücü çeşitli konsantrasyonlarda kullanılarak flotasyon kolonunda pH 7-11 arasında deneyler gerçekleştirilmiştir. Tek aşamalı bir ayırma kullanıldığında, yüzen fraksiyonun maksimum oranı Guachinte kömürü için %84,6 ve Yolanda kömürü için %55,5 şeklinde elde edilmiştir. Maksimum kül azalması Guachinte kömürü için %71,7 ve Yolanda kömürü için %76,5 şeklinde elde edilmiştir. Kükürt uzaklaştırması Guachinte kömürü için %63,2 ve Yolanda kömürü için %75,4 şeklinde elde edilmiştir. Nötr pH'da ve en yüksek köpürtücü konsantrasyonu kullanıldığında Yolanda kömüründe %99,8 oranında vitrinit kazanılmıştır. Bu sonuç, pilot ölçekli bir flotasyon kolonunu kullanarak literatürde belirtilen en yüksek vitrinit konsantrasyonu olmuştur (Barraza and Pineres, 2005).

Fecko ve arkadaşları (2005), bitümlü kömürün yüzdürülebilirliği ile ilgili bir çalışma yaparak, flotasyonda tek başına maseral grupların nasıl yüzdüğünü araştırmışlardır. Polonya'nın; Jaworzno, Staszicz ve Marcel bölgelerinden alınan 8 bitümlü kömür ve Çekoslavakya'dan alınan 3 numune ve Romanya'dan alınan 2 numune üzerinde deneysel çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Kollektör reaktifler olarak Montanol ve Flotalex kullanmışlardır. Bu kollektörlerin performansı denenmiş ve elde edilen sonuçlar petrolojik analizlerle değerlendirilmiştir. Flotasyon deney sonuçları, her iki kollektörün yaklaşık olarak belirli selektiviteye sahip olduklarını göstermiştir. Petrolojik analizler, her iki kollektörün uygulanması ile tüm maseral grupların %75'inin 3 dakikada yüzdüğünü göstermiştir. Flotalex kollektörünün uygulanması ile mineral maddenin %66'sı beşinci dakikadan sonra flotasyon konsantresine geçmiştir. Montanol kollektöründe ise mineral maddenin %70'i geçmiştir (Fecko, et al., 2005).

Abdollahy ve arkadaşları (2006), yüksek oranda kül, organik kükürt ve inorganik kükürt içeren Mezino kömürünün kül ve kükürt içeriğinin fiziksel-kimyasal ve kimyasal yöntemlerle azaltılmasını araştırmışlardır. Fiziksel-kimyasal yöntem olarak flotasyon yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonunda, alkali pH'da ve bakır iyonu kullanılması durumunda flotasyon yöntemi ile Mezino kömürünün kül içeriği %83, inorganik kükürt içeriği %72 ve toplam kükürt içeriği %63 azaltılmıştır. Flotasyon yöntemi ile elde edilen konsantre potasyum hidroksit/metanol karışımı ile liç işlemine tabi tutulmuştur. Konsantrenin toplam kükürt ve kül içerikleri sırası ile yaklaşık olarak %33 ve %8 azaltılmıştır. İki yöntemin kombinasyonunun kullanılması ile mezino kömürünün toplam kükürt ve kül içerikleri sırası ile %82,50 ve %82,34 azaltılmıştır (Abdollahy, et al., 2006).

Ding ve Laskowski (2006a), yarı bitümlü bir kömür/gang karışımının ters flotasyonunu ve ters flotasyon üzerinde çeşitli faktörlerin etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, gangdan kömürün ayırımının ters flotasyon ile mümkün olduğunu fakat 6 kg/ton yukarısında DTAC (dodecyltrimethyl ammonium chloride) kullanılması gerektiğini göstermiştir. Ayrıca, ayırımın yalnız DTAC'ın aşamalı ilaveleri ile olduğu görülmüştür. Kollektörün daha yüksek miktarlarda kullanımı iyi bir ayırım sağlamamıştır. Kömürün bastırmak için dextrin kullanılmıştır. Flotasyon alkali pH aralığında en iyi şekilde gerçekleşmiştir (Ding and Laskowski, 2006a).

Ding ve Laskowski (2006b), yarı bitümlü bir kömürün ters flotasyonunu araştırmışlardır. Bu yöntem için büyük miktarda DTAC (dodecyltrimethyl ammonium chloride) gerekmiştir. PAM'ın (blinder) kullanımı ile birlikte sıfır kondüsyonlama süresinin uygulanması, DTAC tüketimini 6 kg/ton yukarısından 1,375 kg/ton'a azaltmıştır. Ayrıca bir dağıtıcının ilavesi (tannic acid) konsantrenin kalitesini artırmıştır. %34,6 kül içeren besleme malından %16,7 küllü konsantre %50,4 verim ile elde edilmiştir. Yanabilir verim yaklaşık olarak %64'dür. En iyi ayırım, doğal pH 7,5-8,4 civarında elde edilmiştir (Ding and Laskowski, 2006b).

Altun ve arkadaşları (2006), Bolu'dan alınan Himmetoğlu yağlı şistlerinin flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesini araştırmışlardır. Himmetoğlu yağlı şistin mineral içeriği ve yüzey özellikleri mineralojik, XRD ve FTIR analizleri kullanılarak belirlenmiştir. pH ve kollektör dozajının flotasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Flotasyon deneyleri, Himmetoğlu yağlı şistin hidrofilik bir yapıya sahip olduğu ve hümkik özelliğinden dolayı aşırı derecede zayıf yüzdürülebilirliğe sahip olduğunu göstermiştir. Mineral madde, ters flotasyonla, amin asetatların kullanılması ile selektif olarak uzaklaştırılmıştır. Kullanılan amin asetatlar arasında en etkili temizleme, doğal pH'da, Flotigam CA'nın kullanılması ile elde edilmiş olup yağlı şistin kül verimi %34,76'dan %23,52'ye yüksek bir yanabilir verimle (%83,57) azaltılmıştır (Altun vd., 2006).

Aglomerasyon

Fan ve arkadaşları (1987), Pennsylvania'dan alınan hidrofobik Upper Freeport kömürünün, Peru'dan alınan mineral piritinin ve bu malzemelerin karışımlarının aglomerasyonunu, yağ türü olarak heptan kullanarak tuz çözeltilerinde araştırmışlardır. Tuz konsantrasyonu arttığı zaman kömür verimi artmış ve pirit verimi azalarak sonuçta daha büyük bir ayırma verimi elde edilmiştir. 1,5 M tuz konsantrasyonu için kömür verimi %92, pirit verimi %11 ve ayırma verimi %81 olarak elde edilmiştir. Kömür ve pirit karışımları ile elde edilen sonuçlar, kömür ve piritin ayrı ayrı aglomerasyon yapıldıklarında elde edilen sonuçlara uygun sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonunda kömür verimindeki artış, kömür partiküllerini çevreleyen elektriksel çift tabakanın sıkışmasından dolayı olduğu öne sürülmüştür (Fan et al., 1987).

Leonard ve arkadaşları (1981), çeşitli yöntemler kullanarak piritin aglomerasyonunun önlenmesini araştırmışlardır. Çalışmada, alkali çözeltide aglomerasyon yapılarak ve alkali çözeltisinde piritin yüzeyi ortama hava verilerek oksitlenmesi yolu ile pirit aglomerasyonu önlenmiştir. Çeşitli Pennsylvania kömürlerine ön işlem uygulayarak, piritik kükürdün önemli bir kısmı uzaklaştırılmıştır (Leonard, et al., 1981).

Yang ve arkadaşları (1988), inorganik tuz çözeltilerinde kömür aglomerasyonunu araştırmışlardır. Çalışma sonunda, farklı kömürlerin su yerine bir tuz çözeltisinde aglomerasyon yöntemi ile kazanılabileceği görülmüştür. Tuz konsantrasyonunun artışı ile kömür verimi artmıştır. Bu artış özellikle yağ damlaları ve kömür partiküllerini çevreleyen elektriksel çift tabakanın incelmelerinden dolayı meydana gelmiştir. Bir tuz çözeltisinde kömür verimi, çözeltinin pH'sına bağlı olup maksimum verim, kömürün şarjın sıfır noktasında elde edilmiş olup, bu noktada yüzeyin hidrofobisitesi maksimum düzeydedir. Hidrofobik kömür partikülleri ve kaolin partiküllerinin karışımı 1,5 M NaCl çözeltisinde aglomerasyon yapıldığında 0,065 g yağ/g kömür parafin oil kullanıldığında, kömürün %95'i kazanılmıştır ve %90 üzerindeki bir değerde kaolin uzaklaştırılmıştır (Yang, et al., 1988).

Venkatadri ve arkadaşları (1988), çeşitli malzemelerin sudaki süspansiyonlarının aglomerasyonunu, katıların aglomerasyon karakteristiklerini belirlemek amacı ile değiştirilmiş bir blender ve yağ olarak heptan kullanarak araştırmışlardır. Deneylerde Upper Freeport kömürü, oksitlenmiş Upper Freeport kömürü, iki adet Illinois kömürü, grafit ve demir piritini kullanmışlardır. Bu malzemelerin aglomerasyona tepkilerinin geniş bir aralıkta değiştiği ve malzemelerin hidrofobisitesine bağlı olduğu görülmüştür. Çalışmada aynı zamanda sodyum oleat anyonik reaktif olarak kullanılmıştır. Zayıf hidrofobik malzemeler, sodyum oleat kullanımında aglomerasyona tepkilerinin büyük ölçüde arttığı ortaya çıkmıştır (Venkatadri, et al., 1988).

Sadowski ve arkadaşları (1988), Upper Freeport kömürünü 150 °C'de 144 saat yukarıdaki bir sürede oksitleyerek çeşitli pH değerlerinde aglomerasyon sırasında bu kömürün davranışını araştırmışlardır. Oksidasyon süresinin artması ile hem karboksil hemde hidroksil grupların yüzey konsantrasyonlarının arttığı böylece verilen bir yağ miktarında kömür veriminin azaldığı görülmüştür. Çalışma sonunda, kömür yüzeyinin olefilik/hidrofilik yapısının aglomerasyon açısından, sistemin elektrokinetik özelliklerinden daha çok önemli olduğu ortaya çıkmıştır (Sadowski, et al., 1988).

Uçbaşı (1988), Çatalağzı lavuarından alınan flotasyon işlemine tabi tutulan kömür ve jig çıkışı ara ürün numunelerinin aglomerasyonunu araştırmıştır. Her iki kömür numunesinin aglomerasyon performansı üzerinde yağ miktarının, pülp yoğunluğunun, tane boyutunun ve yağ tipinin etkisi incelenmiştir. Flotasyon deneyleri yapılarak, aglomerasyon ve flotasyonun karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kullanılan yağ miktarının aglomeratların kül miktarını belirlediğini, aglomeratların kül miktarının pülp yoğunluğundaki değişmelere karşın sabit kaldığı, ince tane boyutu ile düşük küllü aglomeratların elde edildiği, yağ tipinin aglomerasyonda etkisinin önemsiz olduğunu ve aglomerasyonun flotasyona göre daha düşük küllü kömürler elde edildiğini göstermiştir (Uçbaşı, 1988).

Fan ve arkadaşları (1992), kömür ve piritin aglomerasyonunu çeşitli tuz ortamlarında heptan kullanarak araştırmışlardır. Yüksek derecede olefilik Upper Freeport kömürü için ortama ilave edilen tuz verimi artırırken, zayıf derecede olefilik Illinois No.6 kömürü ve pirit için ortama ilave edilen tuz verimi düşürmüştür. Upper Freeport kömürünün verimindeki artış, tuz türüne bağlı değilken, pirit verimindeki azalma tuz türüne bağlı olup şu şekilde tuzun etkisi artmıştır: $\text{NaCl} < \text{CaCl}_2 < \text{MgCl}_2$. Hem Upper Freeport kömürü hemde Illinois No.6 kömürünün aglomerasyonu, spesifik ve nispeten dar pH aralıklarında metal hidroksi komplekslerin adsorpsiyonu ile bastırılmıştır (Fan et al., 1992).

Drzymala ve Wheelock (1992), piriti sülfürleme işlemine maruz bırakarak aglomerasyon kabiliyetini artırdıktan sonra birtakım pirit bastırıcıları kullanarak piritin aglomerasyonunu önlemeyi araştırmışlardır. FeCl_3 , Upper Freeport kömürü ve sülfürlenmiş pirit karışımının ayırımında pirit bastırıcısı şeklinde kullanılmıştır. Çalışma sonunda, pirit bastırılma derecesinin, bastırıcı konsantrasyonu ve süspansiyonun pH'sı ile değişmeye eğilimli olduğu ortaya çıkmıştır. Heptan kullanarak, sülfürlenmiş pirit ve Upper Freeport kömüründen oluşan yüzeysel karışımın aglomerasyonunda en etkili bastırıcı olarak FeCl_3 bulunmuştur. Bastırıcı kullanılmaması durumunda, her iki malzemede kolaylıkla aglomere olmuştur. Ancak $2 \cdot 10^{-3}$ M FeCl_3 ve %12,5 heptan kullanımında %94 kömür verimi ve %13 pirit verimi elde edilmiştir (Drzymala and Wheelock, 1992).

Allen ve Wheelock (1993), ortamın iyonik kuvvet ve pH'nın kömür aglomerasyonu üzerindeki etkilerini araştırmak amacı ile özel dizayn edilmiş bir karıştırma ünitesi kullanarak aglomerasyon deneyleri yapmışlardır. Batı Virginia'dan alınan yüksek derecede hidrofobik No.2 Gas Seam kömürü ve Illinois'den alınan orta derecede hidrofobik Colchester Seam kömürünün aglomerasyonu hexadecane kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonunda, aglomerasyon oranının No.2 Gas kömürü için pH 9'da maksimum ve Colchester kömürü için pH 4'de maksimum olduğu ortaya çıkmıştır. pH 9-12 arasında Colchester kömürünün aglomerasyon oranının herhangi bir yağ dozajı için önemli şekilde azaldığı görülmüştür. Her iki kömürün aglomerasyon oranı, iyonik kuvvet arttığı zaman artmıştır. Fakat bu etki, No.2 Gas kömüründe, Colchester kömüründen çok daha büyük olduğu görülmüştür (Allen and Wheelock, 1993).

Garcia ve arkadaşları (1995), üç adet yüksek kül içerikli İspanya antrasitlerinin aglomerasyonunu n-heptan kullanarak araştırmışlardır. Kömür partikül boyutu ve yağ konsantrasyonunun aglomerasyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma sonunda, maksimum organik madde kazanımının %20 n-heptan konsantrasyonunda elde edilmiştir. Yanabilir verim, n-heptan konsantrasyonu arttığı zaman bir maksimuma ulaşmış ve daha sonra azalmıştır. Kül uzaklaştırma, kömür verimi arttığı zaman azalmıştır. Kül uzaklaştırma ve organik madde verimi kömürün <45 mikrona öğütülmesi ile artırılmıştır (Garcia et al., 1995).

Shrauti ve Arnold (1995), aglomerasyon yöntemi ile Blue Creek kömürünün demineralizasyonunu diesel oil yağı kullanarak araştırmışlardır. Toplam 54 tane aglomerasyon deneyi, Jim Walters Resources Inc. No 4 cevher zenginleştirme tesisinden alınan tikiner alt akımındaki malzeme ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda, kül uzaklaştırma ve yanabilir verim yaklaşık olarak %80 olarak elde edilmiştir (Shrauti and Arnold, 1995).

Garcia ve arkadaşları (1996), kömür aglomerasyonunda bitkisel yağların kullanımını araştırmışlardır. Üç adet İspanya antrasitini, rafine edilmiş ayçiçek yağı ve soya yağı kullanarak aglomerasyon deneyleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar, daha önce bu kömürler için n-heptan kullanılarak bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Rafine edilmiş ayçiçek yağı ve soya yağının yüksek sınıflı kömürler için uygun olduğu ortaya çıkmıştır (Garcia et al., 1996).

Gürses ve arkadaşları (1996), kondüsyonlama aşamasında dizayn ve proses parametrelerinin, aglomerat verimi ve aglomeratların kül ve kükürt içeriği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmalar, Erzurum-Balkaya'dan alınan linyit üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kahverengi bir kömür için selektivite ve verim için prosesin başarısının önemli şekilde kondüsyonlama parametrelerine bağlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca bir deneysel eşitlik, tüm kondüsyonlama parametreleri ile verime bağlı olarak geliştirilmiştir. Bu eşitlikle hesaplanan değerler, deneysel değerlere yakın çıkmıştır (Gürses vd., 1996).

Gürses ve arkadaşları (1997), Erzurum-Balkaya kömür havzasından alınan linyit üzerinde aglomerasyon deneyleri gerçekleştirerek, piritik kükürt ve küldeki azalmalar üzerinde ve aglomerat verimi üzerinde, pH, reaktif konsantrasyonu (cetyltrimethyl ammonium bromide, CTAB) ve elektrolitlerin konsantrasyonunun etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda, linyitin yüzey özelliklerinin değişimi ile linyit ve mineral maddenin ayırımının artırılmasının mümkün olduğu ve zeta potansiyeli ile aglomerat verimi arasında yakın bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır (Gürses vd., 1997).

Alonso ve arkadaşları (1999), bitkisel yağlar kullanarak ince boyuttaki kömür artıklarından yüksek kalorifik değere sahip ürünlerin aglomerasyon yöntemi ile elde edilmesini araştırmışlardır. Üç adet ince boyutlu İspanya kömür artıklarının aglomerasyonunda, ham ve rafine edilmiş ayçiçek yağı ve soya yağı kullanılmıştır. En iyi sonuçlar, özellikle rafine edilmiş yağlar kullanıldığı zaman en düşük yağ konsantrasyonlarında elde edilmiştir (Alonso et al., 1999).

Ünal ve arkadaşları (2000), aglomerasyon yöntemi ile Zonguldak kömüründen mineral maddelerin uzaklaştırılmasını araştırmışlardır. Aglomerasyonu yöntemi ile elde edilen sonuçlar, ağır ortam ayırmasından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bağlayıcı olarak gazyağı, dizel yağı ve Kerkük ham petrolü kullanılmıştır. Gazyağı miktarı kullanılan toplam kömürün %15'i olarak alındığında, aglomeratın geri kazanımı %98,99 ve kül içeriği %8,32 şeklinde elde edilmiştir (Ünal vd., 2000).

Abdel Khalek ve Parekh (2001), aglomerasyon yöntemi ile Mısır'daki Maghara kömürünün kükürt ve kül içeriğinin düşürülmesini araştırmışlardır. Kullanılan yağ türünün (gazyağı ve parafin yağı), yağ konsantrasyonunun ve kömür tane iriliğinin aglomerasyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, zeta potansiyeli ve aglomerasyon prosesi üzerindeki anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin etkisi araştırılmıştır. Optimum şartlarda, %77 verimle, %0,82 toplam kükürt ve %1,85 kül içeren temiz bir kömür elde edilmiştir (Abdel Khalek ve Parekh, 2001).

Ünal ve Aktaş (2001), bitümlü bir kömür örneğinin aglomerasyonunu gazyağı, diesel oil, Kerkük ham petrolü, ekstrakte fraksiyonları (solvent ekstraksiyonundan elde edilen), gazyağı veya toluen karışımları ve toluen kullanarak araştırmışlardır. Ağır ortamda kömürün santrifüj yüzdürme-batırma ayırımları gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar aglomerasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Daha yüksek verim değerleri, aglomerasyon deneylerinden (>%95) elde edilmiştir (Ünal ve Aktaş, 2001).

Alonso ve arkadaşları (2002), ince boyutlu kömür yıkama artıklarından yüksek kalorifik değere sahip/düşük kül içeriğine sahip kısımların kazanımı için colza yağı ile aglomerasyon deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda colza yağı ile kömürün ince boyuttaki kısımlarının aglomerasyonunun önemli miktarda enerji kazanımı sağladığı ortaya çıkmıştır (Alonso et al., 2002).

Aktaş (2002), bitümlü kömürün ince kısımlarının aglomerasyonunu, bağlayıcı olarak diesel oil kullanarak araştırmıştır. Bağlayıcı dozajı, pülpün katı içeriği, karıştırma süresi ve oranı, pH ve yüzey aktif maddenin aglomerasyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bağlayıcı oranı, %5'den %30'a arttığı zaman verim ve tenör değerleri

derece derece artmıştır. Verim, 0,91'den 0,98'e, ve tenör, 0,62'den 0,79'a artmıştır. Belirtilen deney koşulları altında, karıştırma süresi ve oranı, verim ve tenör değerlerini önemli şekilde etkilememiştir. Pülpteki katı içeriği, %5'den %25'e arttığı zaman tenör değerleri 0,75'den 0,60'a azalmıştır ve verim 0,95'den 0,99'a artmıştır. Pülün pH'sındaki değişim, aglomerasyon performansını değiştirmiştir. Yüzey aktif maddenin (Tritonx-100) ilavesi, verimde bir azalmaya yol açmıştır (Aktaş, 2002).

Gürses ve arkadaşları (2003), aglomerasyonu etkileyen, katı konsantrasyonu, aglomerasyon yağının miktarı ve aglomerasyon süresi gibi bazı parametrelerin, aglomerat verimi ve aglomeratların kül ve piritik kükürt içeriği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kömür-yağ aglomeratlarının oluşum oranı ve kül ve kükürtün uzaklaştırılması arasındaki ilişkiyi tanımlamak için aynı zamanda Balkaya ve Aşkale linyitlerinin aglomerasyon oranları, deneysel veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Linyitler için hem verim hemde selektivite açısından prosesin başarısı, önemli şekilde aglomerasyon oranının kontrolüne ve bu parametrelere bağlı olduğu görülmüştür (Gürses vd., 2003).

Abakay ve arkadaşları (2004), aglomerasyon yöntemi ile Şırnak asfaltitinin temizlenme imkanını araştırmışlardır. Öğütme süresi, bağlayıcı sıvı türü, bağlayıcı sıvı konsantrasyonu, pülp yoğunluğu ve karıştırma hızının aglomerasyon prosesinin performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca göl suyu ve deniz suyunun aglomerasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Belirlenen optimum koşullar altında, aglomerasyon yöntemi ile %36,8 kül içerikli aglomeratlar %97,3 yanabilir verimle kazanılmıştır. Kül uzaklaştırma üzerinde deniz suyu ve göl suyunun etkisinin olumsuz olduğu ortaya çıkmıştır (Abakay vd., 2004).

Ünal ve Erşan (2005), Sivas-Divriği (S-D) Uluçayır linyitinin ince kısımlarının aglomerasyonunu, gazyağı ve gazyağı-ekstrakte yağı (mikrodalga enerjisine tabi tutulan linyitten elde edilmiştir) karışımlarını kullanarak araştırmışlardır. Aglomerasyon üzerinde partikül boyutu, bağlayıcı miktarı ve türü, mikrodalga süresinin etkisi incelenmiştir. Mikrodalga süresinin etkisi araştırılarak, mikrodalga süresinin artışı ile tenörün aynı zamanda arttığı ortaya çıkmıştır. Uluçayır linyitinin ağır ortam ayırması

gerçekleştirilerek, elde edilen sonuçlar aglomerasyon yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Ağır ortam ayırımında partikül boyutunun artışı ile verim önemli şekilde artmıştır (%12,07'den %89,50'ye). Linyitin aglomerasyonunda verim değerleri, partikül boyutunun artışı ile artmıştır (Ünal ve Erşan, 2005).

Özkan ve arkadaşları (2005), kükürt, kömür, kalsit ve barit kullanarak minerallerin aglomerasyonunda ortam olarak kullanılan çözeltinin yüzey geriliminin etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında, doğal olarak hidrofobik ve hidrofilik oluşan mineralleri kullanmışlardır. Bu malzemelerin aglomerasyon verimlerinin, çözeltinin yüzey geriliminin azalması ile azaldığı ve belirli bir çözelti yüzey geriliminin altında mineralin aglomerasyonunun gerçekleşmediği belirlenmiştir (Özkan vd., 2005).

Valdes ve Garcia (2006), iki farklı İspanya kömür yıkama tesisinden alınan ince kömür artıklarından yüksek kalorifik değere ve düşük kül içeriğine sahip kömürlerin kazanımı için ev orjinli artık bitkisel yağları kullanarak aglomerasyon deneyleri gerçekleştirmişlerdir. İnce boyuttaki kömür artıklarından kömürün kazanımının yağın maliyeti ile değiştiği, artık bitkisel yağların uygunluğu, onların düşük maliyetleri gibi bu prosesin ticari uygulanabilirliği açısından önem taşıdığı ortaya çıkmıştır (Valdes and Garcia, 2006).

Agloflotasyon

Coleman ve arkadaşları (1995), Suncor yağlı kumlarının ince boyutlu artıklarından arta kalan bitümün kazanımı için laboratuvar ölçekli aglomerasyon-flotasyon deneylerini bir bitüm adsorplayıcı olarak öğütülmüş kömür kullanarak yapmışlardır. Öğütülmüş kömür no.2 fuel oil ile kondüsyonlandıktan sonra 30 saniye yüksek hızda karıştırılmış ve 3 dakika flotasyon ile toplanmıştır. Bu yağla kondüsyonlanan kömür daha sonra ince boyutlu artıklarla, düşük hızda 5 dakika karıştırılmıştır. 5 dakikalık süre için flotasyonla bitümün %93'lük kısmı kazanılmıştır (Coleman et al., 1995).

Gence (2006), ince boyuttaki bitümlü kömürlerden yüksek kalorifik değere ve düşük kül içeriğine sahip ürünlerin elde edilmesi için agloflotasyon yöntemini hexan, heptan, pentan ve toluen kullanarak araştırmıştır. Optimum agloflotasyon koşullarında hexan kullanımında, %10,87 kül (kuru bazda) içeren konsantre %92,17 yanabilir verim (kuru bazda) ile kazanılmış olup konsantrenin alt ısı değeri 5864 kcal/kg olarak elde edilmiştir (Gence, 2006).

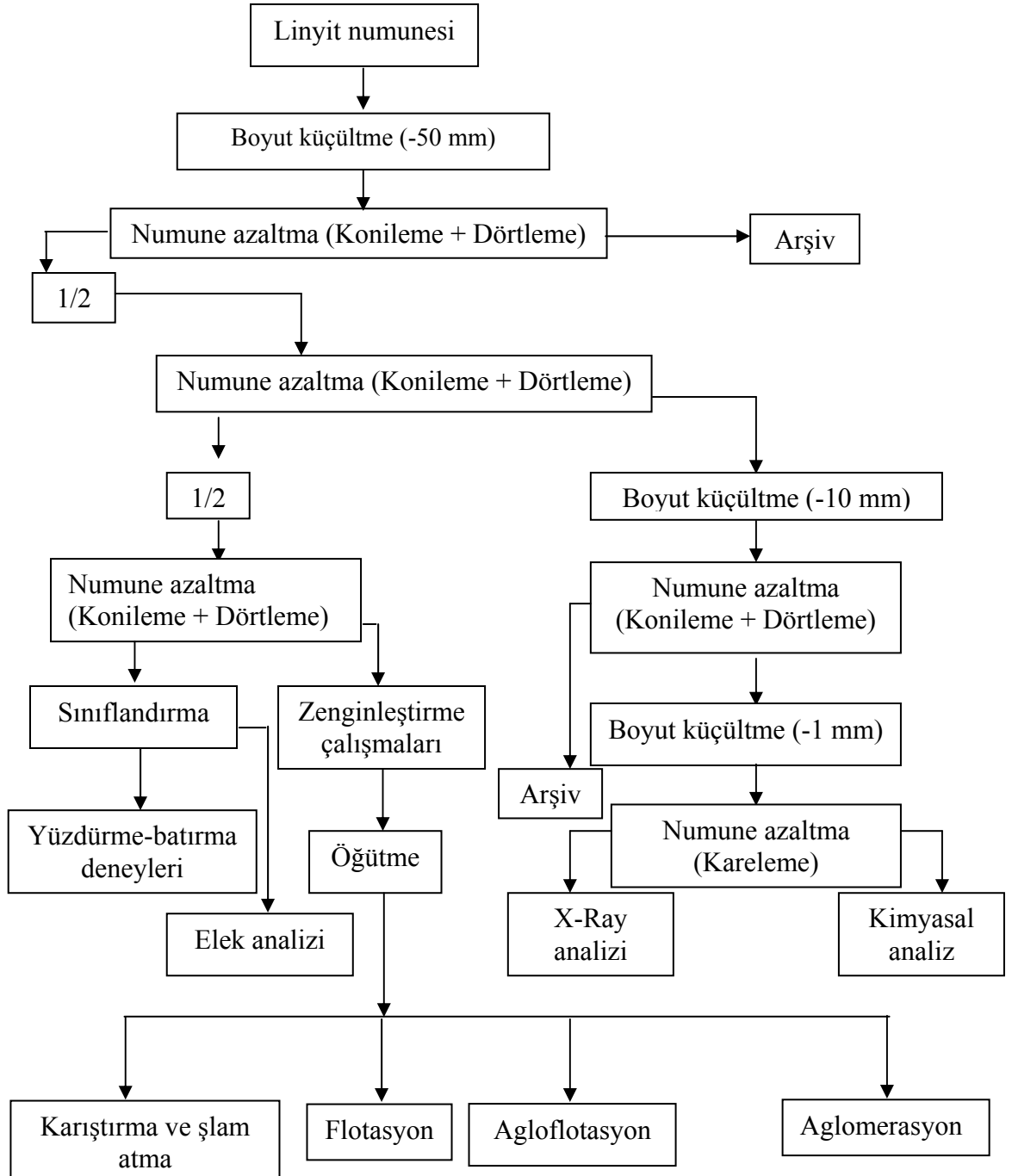
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Malzeme

Bu çalışmada kullanılmak üzere Adıyaman ili, Gölbaşı ilçesinde bulunan Soykan kömür işletmesinden, Adıyaman-Gölbaşı linyit sahasını temsil edecek şekilde yaklaşık 400 kg. kömür numunesi alınmış ve Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama laboratuvarına getirilmiştir. Linyit numunesine uygulanan numune hazırlama akım şeması Şekil 7.1’ de verilmiştir. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin, kimyasal analiz, petrografik analiz, major element analiz ve X-Ray analiz sonuçları sırası ile Çizelge 7.1, Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3 ve Şekil 7.2’de verilmiştir. Analiz yöntemleri Ek Açıklamalar A’da verilmiştir.

Çizelge 7.1. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin kimyasal analiz sonuçları

Bileşen	Orjinal kömür	Havada kuru kömür	Tam kuru kömür
Nem (%)	48,66	14,15	-
Kül (%)	15,13	25,30	29,47
Uçucu madde (%)	23,69	39,61	46,14
Sabit karbon (%)	12,52	20,94	24,39
Kok (%)	27,65	46,24	53,86
Gaz (%)	72,35	53,76	46,14
Piritik kükürt (%)	0,65	1,09	1,27
Sülfat kükürt (%)	0,11	0,18	0,21
Organik kükürt (%)	0,67	1,12	1,30
Toplam kükürt (%)	1,43	2,39	2,78
Üst ısı değeri (kcal/kg)	2193	3667	4271
Alt ısı değeri (kcal/kg)	1650	3417	4062



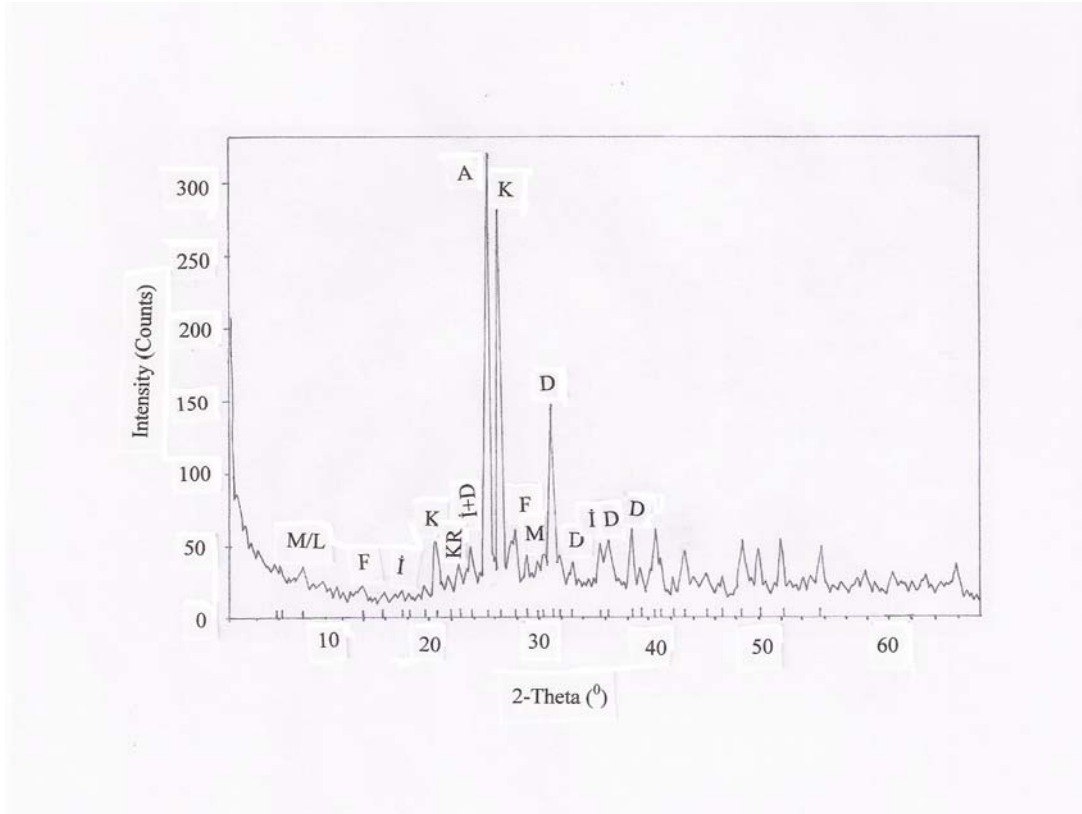
Şekil 7.1. Adıyaman-Gölbaşı linyiti numune hazırlama akım şeması

Çizelge 7.2. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin petrografik analiz sonuçları

Maseral grubu	%
Hüminit	57
Liptinit	6
İnertinit	6
Pirit	6
Kil, silt vb.	25

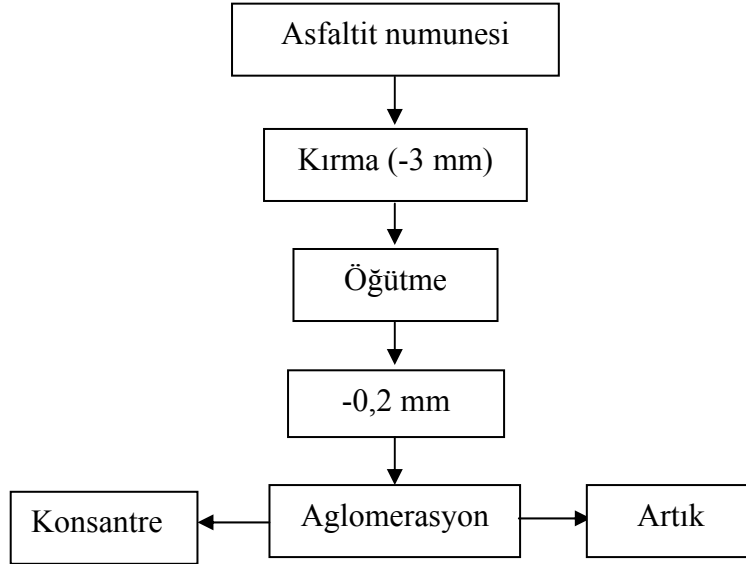
Çizelge 7.3. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin major element analiz sonuçları

Bileşen	%
Al ₂ O ₃	11,50
SiO ₂	32,55
Fe ₂ O ₃	5,80
TiO ₂	0,70
CaO	18,50
Na ₂ O	0,50
K ₂ O	0,70
MgO	5,10
P ₂ O ₅	0,70
MnO	0,10
Cr ₂ O ₃	0,20
BaO	0,80
SO ₃	15,98
Ateşte zaiyat	6,87

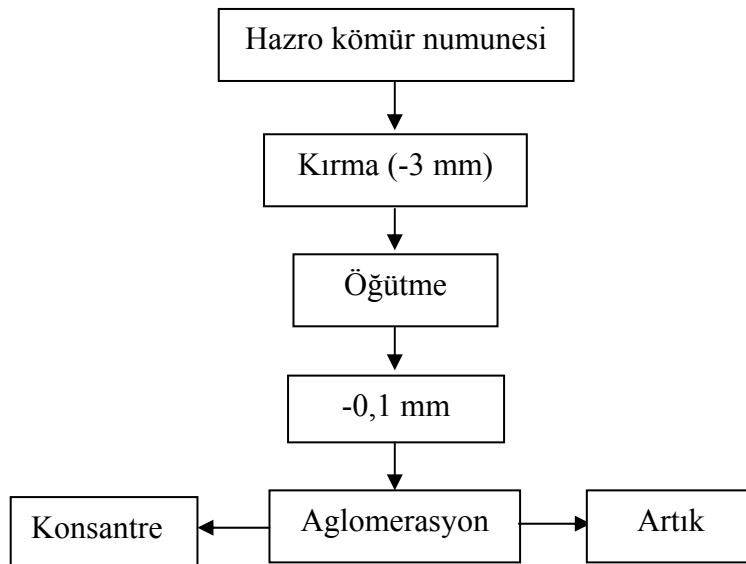


Şekil 7.2. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin X-Ray analiz sonuçları
(A:Anhidrit, K:Kuars, D:Dolomit, F:Feldspat, İ:İllit, KR:Kristobalit, M:Mika)

Deneylerde kullanılmak üzere Şırnak ili, No:1 ocağından 30 kg. asfaltit örneği ve Diyarbakır ili, Hazro ilçesinden 30 kg. kömür örneği alınmış ve Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama laboratuvarına getirilmiştir. Asfaltit ve Hazro kömür numunesine uygulanan numune hazırlama akım şeması Şekil 7.3 ve Şekil 7.4’ de verilmiştir. Şırnak asfaltitinin kimyasal analiz, major element analiz ve minor element analiz sonuçları sırası ile Çizelge 7.4, Çizelge 7.5, Çizelge 7.6’da verilmiştir. Hazro kömürünün (Diyarbakır) kimyasal analiz ve major element analiz sonuçları Çizelge 7.7 ve Çizelge 7.8’de verilmiştir.



Şekil 7.3. Şırnak asfaltiti numune hazırlama akım şeması



Şekil 7.4. Hazro kömür numune hazırlama akım şeması

Çizelge 7.4. Şırnak asfaltitinin kimyasal analiz sonuçları (Abakay vd., 2004)

Bileşen	Havada kurutulmuş	Kurutulmuş ^a
Nem (%)	0,5	-
Kül (%)	44,6	44,8
Uçucu madde (%)	37,8	38,0
Sabit karbon (%)	17,1	17,2
Toplam kükürt (%)	6,0	6,0
Alt ısı değeri (kcal/kg)	4796	4809
Üst ısı değeri (kcal/kg)	4987	4999

^a 105 °C’de kurutulmuş

Çizelge 7.5. Şırnak asfaltitinin major element analiz sonuçları (Abakay vd., 2004)

Bileşen	%
SiO ₂	21,6
Fe ₂ O ₃	5,9
CaO	32,1
MgO	6,0
Na ₂ O	0,6
K ₂ O	3,1
SO ₃	18,2
Al ₂ O ₃ +TiO ₂	11,4
Ateşte zaiyat	1,1

Çizelge 7.6. Şırnak asfaltitinin minör element analiz sonuçları (Abakay vd., 2004)

Bileşen	%
Ni	0,3
Mo	0,2
V	0,2
U ₃ O ₈	0,02

Çizelge 7.7. Hazro kömürünün kimyasal analiz sonuçları (Ayhan vd., 2005)

Bileşim	Orijinal	Havada kurutulmuş	Kurutulmuş ^a
Nem (%)	2,76	1,99	-
Kül (%)	24,57	24,77	25,27
Uçucu madde (%)	34,90	35,18	35,89
Sabit karbon (%)	37,76	38,06	38,84
Üst ısı değeri (kcal/kg)	5890	5937	6058
Toplam kükürt (%)	6,90	6,90	7,00

^a 105 °C’de kurutulmuş.

Çizelge 7.8. Hazro kömürünün major element analiz sonuçları (Ayhan vd., 2005)

Bileşen	%
SiO ₂	42,0
Fe ₂ O ₃	16,5
Al ₂ O ₃	33,9
CaO	0,9
MgO	0,5
Na ₂ O	0,2
K ₂ O	0,9
SO ₃	0,8
Ateşte zaiyat	4,3

7.2 Yöntem

7.2.1 Boyut küçültme

Kömür numunesinin kırma işlemlerinde laboratuvar tipi çeneli kırıcı (Retsch BB1/A) kullanılmıştır. Elek analizleri için 50 mm, 20 mm, 4,75 mm, 0,5 mm, 0,3 mm, 0,1 mm, 0,053 mm ve 0,038 mm'lik elekler kullanılmıştır. Yüzdürme-batırma deneyleri için 50 mm, 20 mm, 4,75 mm ve 0,5 mm'lik elekler kullanılmıştır. Numune azaltma işlemlerinde Retsch PTZ numune bölücü kullanılmıştır. Flotasyonda en uygun öğütme süresinin belirlenmesinde, bilyalı değirmen kullanılmıştır. Numune/bilya oranı, 1/10 olacak şekilde 1 kg. kömür kuru öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Değirmen çalışma hızı 54 devir/dakika olarak belirlenmiştir. Öğütülen numuneden kareleme yöntemi ile 50 gr örnek alınmıştır. Daha sonra 0,85 mm, 0,5 mm, 0,212 mm, 0,1 mm, 0,075 mm, 0,045 mm ve 0,038 mm'lik elekler kullanılarak elek analizi yapılmıştır. Eleme işlemi yaş olarak yapılmıştır.

7.2.2 Yüzdürme-batırma deneyleri

Kömür numunesinin yıkanabilirlik özelliğinin belirlenmesi amacı ile -50+20 mm, -20+4,75 mm ve -4,75+0,5 mm boyut gruplarında yüzdürme-batırma deneyleri yapılmıştır. Yüzdürme-batırma deneyleri, 1,3, 1,4, 1,5 1,6 g/cm³ yoğunluklarında hazırlanan ZnCl₂ çözeltilerinde yapılmıştır.

7.2.3 Karıştırma ve şlam atma

Karıştırma ve şlam atma deneyleri, FRAMO-Geratetechnik, LR20 tipi mekanik karıştırıcı ile yapılmıştır. Deneyler 1 litrelik beherde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan hesaplamalar Ek Açıklamalar B'de verilmiştir.

7.2.4 Flotasyon

Flotasyon deneyleri, Denver Laboratuvar tipi flotasyon cihazı ile yapılmıştır. Deneylerde 1 litrelik flotasyon hücresi kullanılmıştır. Toplayıcı türü olarak yağlı toplayıcılar (gazyağı, mazot, %80 gazyağı + %20 fuel oil, %80 mazot + %20 fuel oil, %80 gazyağı + %20 orfom, %80 gazyağı + %20 moly, %80 gazyağı + %20 phil flo.), çeşitli reaktifler (2-etil hegzanol, dodesil amin, dodesil sülfat), oleik asit (yağ asidi grubundan) ve Aero 825 (sülfonat grubu reaktifi) kullanılmıştır. Orfom, moly ve phil flo toplayıcıları Chevron-Phillips Chemical Company LP firmasından diğer toplayıcılar ise Fluka Chemicals'dan temin edilmiştir.

Bastırıcı türü olarak Na_2SiO_3 ve kalgon (sodyum hexametafosfat) kullanılmıştır. Köpürtücü türü olarak çamyağı, MIBC, Aerofroth 88, Aerofroth 65 ve Aerofroth 76 A (Cytec) kullanılmıştır. pH ayarlamasında, NaOH ve HCl (Merck Kalite) kullanılmıştır. Deniz suyu ve göl suyunun flotasyon üzerindeki etkisi araştırılmak üzere, İzmir'den alınan Ege denizi suyu, Van'dan alınan sodalı göl suyu kullanılmıştır.

7.2.5 Aglomerasyon

Aglomerasyon deneyleri, FRAMO-Geratetechnik, LR20 tipi mekanik karıştırıcı ile yapılmıştır. Deneyler 1 litrelik beherde gerçekleştirilmiştir. Bağlayıcı türü olarak gazyağı, mazot, %50 mazot + %50 fuel oil, ayçiçek yağı, mısır yağı, %50 mazot + %50 orfom, %50 mazot + %50 moly ve %50 mazot + %50 phil flo. kullanılmıştır. Farklı tuzların aglomerasyon üzerindeki etkisini araştırmak amacı ile NaCl, MgCl_2 ve FeCl_3 tuzları (Fluka) kullanılmıştır. İlave olarak deniz suyu ve göl suyunun aglomerasyon üzerindeki etkisinin araştırılması için, İzmir'den alınan Ege denizi suyu, Van'dan alınan sodalı göl suyu, Zonguldak-Kdz. Ereğli'den alınan Karadeniz suyu ve Mersin'den alınan Akdeniz suyu kullanılmıştır. pH ayarlamasında, NaOH ve HCl kullanılmıştır.

7.2.6 Agloflotasyon

Agloflotasyon deneylerinde, aglomerasyon aşamasında FRAMO-Geratetechnik, LR20 tipi mekanik karıştırıcı ve flotasyon aşamasında Denver Laboratuar tipi flotasyon cihazı ile yapılmıştır. Deneylerde 1 litrelik flotasyon hücresi kullanılmıştır. pH ayarlamasında, NaOH ve HCl kullanılmıştır.

Agloflotasyon deneyleri üç aşamada yapılmıştır.

1. aşama: Şırnak asfaltiti/Hazro kömürünün aglomerasyonu yapılmıştır.
2. aşama: 1. aşamadan elde edilen Şırnak asfaltitinin/Hazro kömürünün aglomeratları (konsantre) şlamdan uzaklaştırılmış linyite ilave edilmiştir.
3. aşama: Sistemde oluşan aglomeratlar flotasyon yöntemi ile kazanılmıştır.

8. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

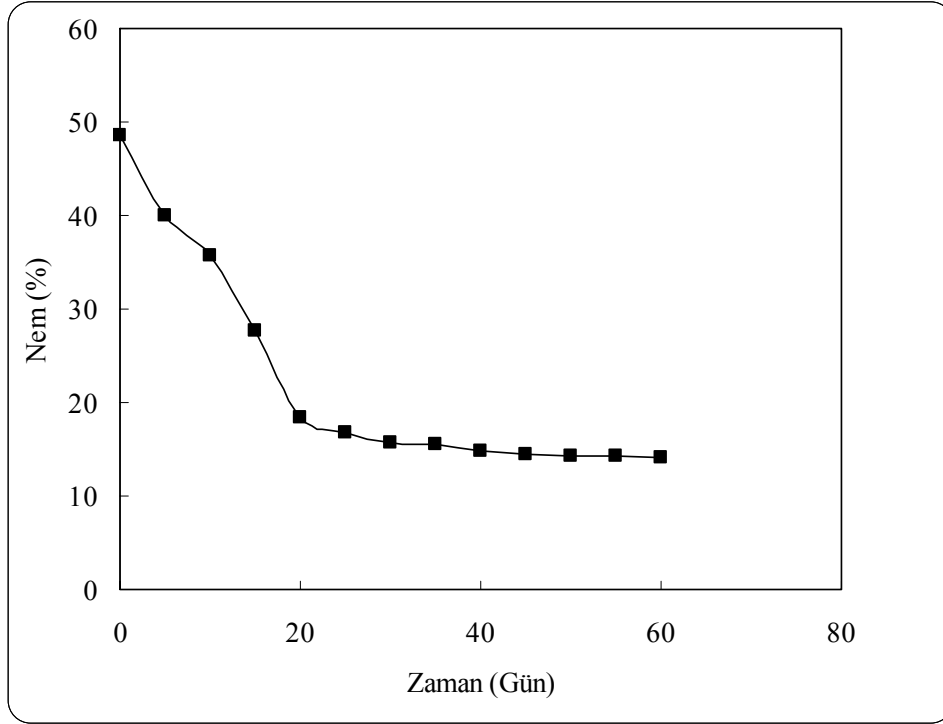
8.1 Boyut Küçültme

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin elek analiz sonuçları Çizelge 8.1’de verilmiştir. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin, güne göre nem içeriğindeki değişimi tespit etmek amacı ile kömürün orijinal halde alındıktan sonra kimyasal analiz örneğinden 5 günlük aralıklarla örnek alınarak nem oranları tayin edilmiştir. Linyitin, nem oranının güne göre değişimi Şekil 8.1’de verilmiştir. Şekil verileri Ek Açıklamalar-C’de verilmiştir.

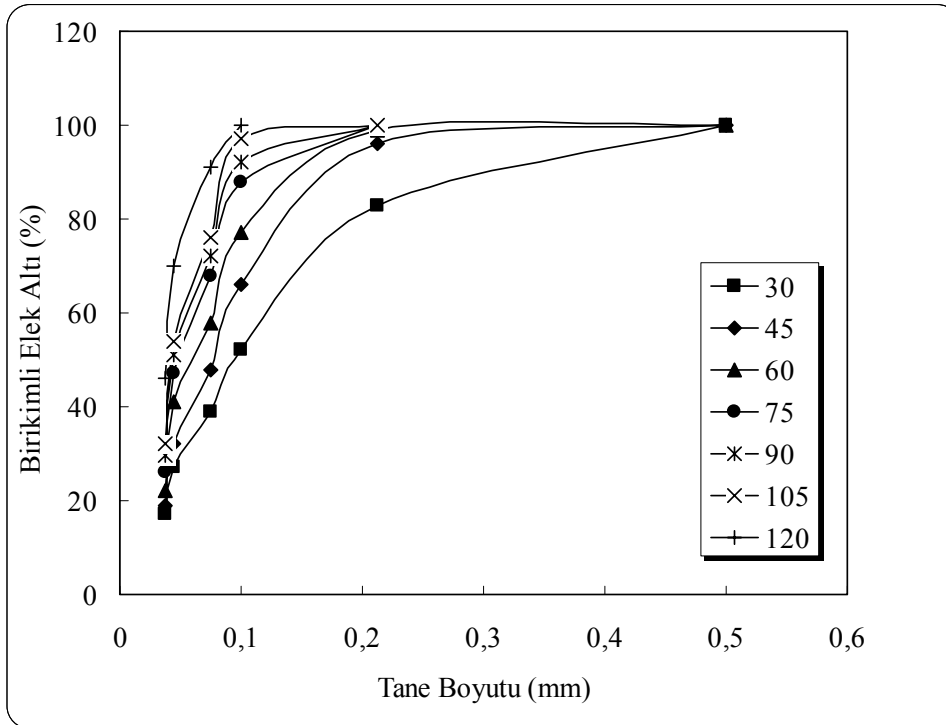
Çizelge 8.1. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin elek analiz sonuçları

Tane boyutu (mm)	Ağ. (%)	Nem (%)	Havada kuru bazda kül (%)	Tam kuru bazda kül (%)	Kümülatif elek altı	
					Ağ. (%)	Kül (%)
-50+20	60,41	14,35	25,36	29,61	100	29,47
-20+4,75	30,63	14,17	25,20	29,36	39,59	29,26
-4,75+0,5	7,87	13,02	25,19	28,97	8,96	28,91
-0,5+0,3	0,31	12,51	24,01	27,45	1,09	28,47
-0,3+0,1	0,38	11,73	24,55	27,81	0,78	28,87
-0,1+0,053	0,18	10,49	24,32	27,17	0,40	29,88
-0,053+0,038	0,02	8,03	30,10	32,73	0,22	32,09
-0,038	0,20	5,00	30,46	32,06	0,20	32,06
Toplam	100	14,15	25,30	29,47		

Şekil 8.1’de görüldüğü gibi, gün sayısı arttıkça nem oranı azalmaktadır. Özellikle 0-20 gün arasındaki nem azalması yüksek değerlerde iken 20-60 gün arasında nemin azalma değeri düşmüştür. Adıyaman-Gölbaşı linyiti üzerinde yapılan elek analizi fraksiyonlarının mikroskopta incelenmesi sonucu Adıyaman-Gölbaşı linyitinin, 0,1 mm’nin altında serbestleştiği belirlenmiştir. Adıyaman-Gölbaşı linyiti, farklı sürelerde öğütüldükten sonra elek analizine tabi tutulmuştur. Öğütme testlerinin toplu sonuçları Şekil. 8.2’de verilmiştir.



Şekil 8.1. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin nem oranının güne göre değişimi



Şekil 8.2. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin öğütme testlerinin toplu sonuçları

Şekil 8.2 incelendiğinde, 30 dakika öğütme sonucunda linyitin %52'sinin, 45 dakika sonucunda %66'sının, 60 dakika sonucunda %77'sinin, 75 dakika sonucunda %88'inin, 90 dakika sonucunda %92'sinin, 105 dakika sonucunda %97'sinin ve 120 dakika sonucunda %100'ünün 0,1 mm'nin altına indirildiği görülmektedir.

Bu çalışmada agloflotasyon deneylerinde kullanılan Şırnak asfaltit örneği, Ayhan ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi, 50 dk öğütüldükten sonra deneylerde kullanılmıştır. 50 dk öğütülen asfaltit örneğinin elek analiz sonucu Çizelge 8.2'de verilmiştir.

Çizelge 8.2. Şırnak asfaltitinin elek analiz sonuçları (Ayhan vd., 2004)

Tane boyutu (mm)	Ağ. (%)	Kümülatif elek altı (%)
-0,212+0,106	8,8	100,0
-0,106+0,075	14,2	91,2
-0,075+0,053	14,0	77,0
-0,053+0,038	9,0	63,0
-0,038	54,0	54,0
Toplam	100,0	

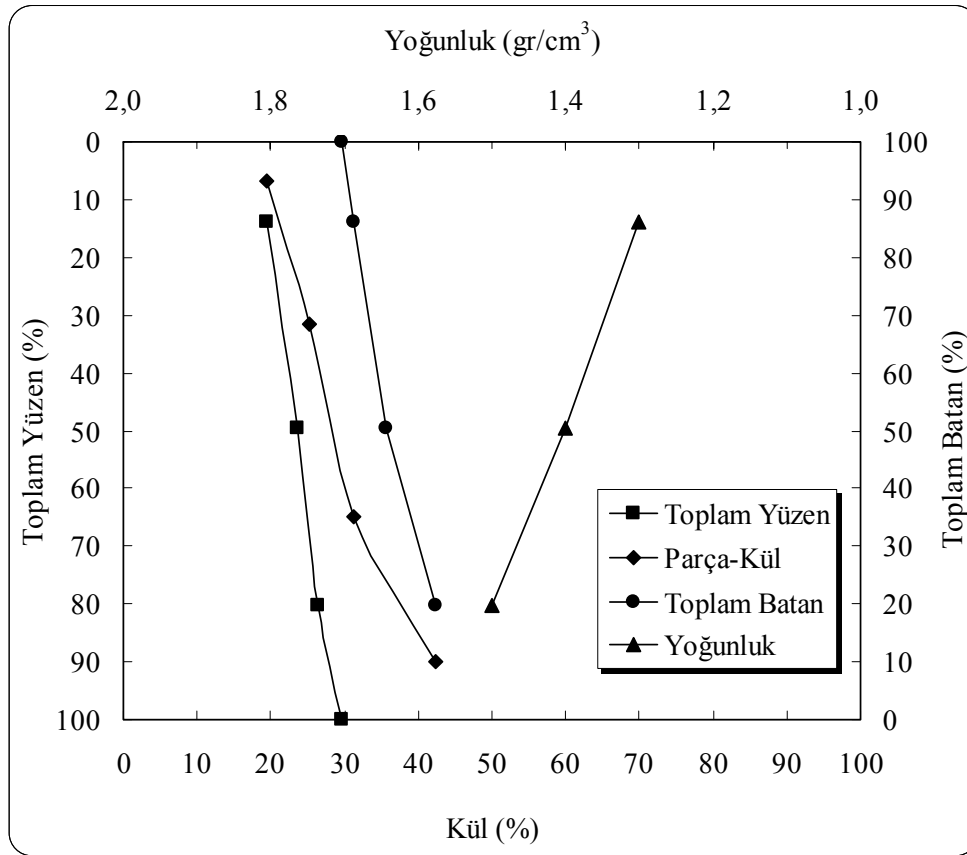
Aynı şekilde agloflotasyon deneylerinde kullanılan Hazro kömürü örneği de Ayhan ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi tane boyutu 0.1 mm'nin altına indirildikten sonra kullanılmıştır. Hazro kömür örneğinin elek analiz sonucu Çizelge 8.3'de verilmiştir.

Çizelge 8.3. Hazro kömürünün elek analiz sonuçları (Ayhan vd., 2005)

Tane boyutu (mm)	Ağ. (%)	Kümülatif elek altı (%)
-0,106+0,075	12,70	100,00
-0,075+0,053	17,80	87,30
-0,053+0,045	14,90	69,50
-0,045+0,038	18,40	54,60
-0,038	36,20	36,20
Toplam	100,00	

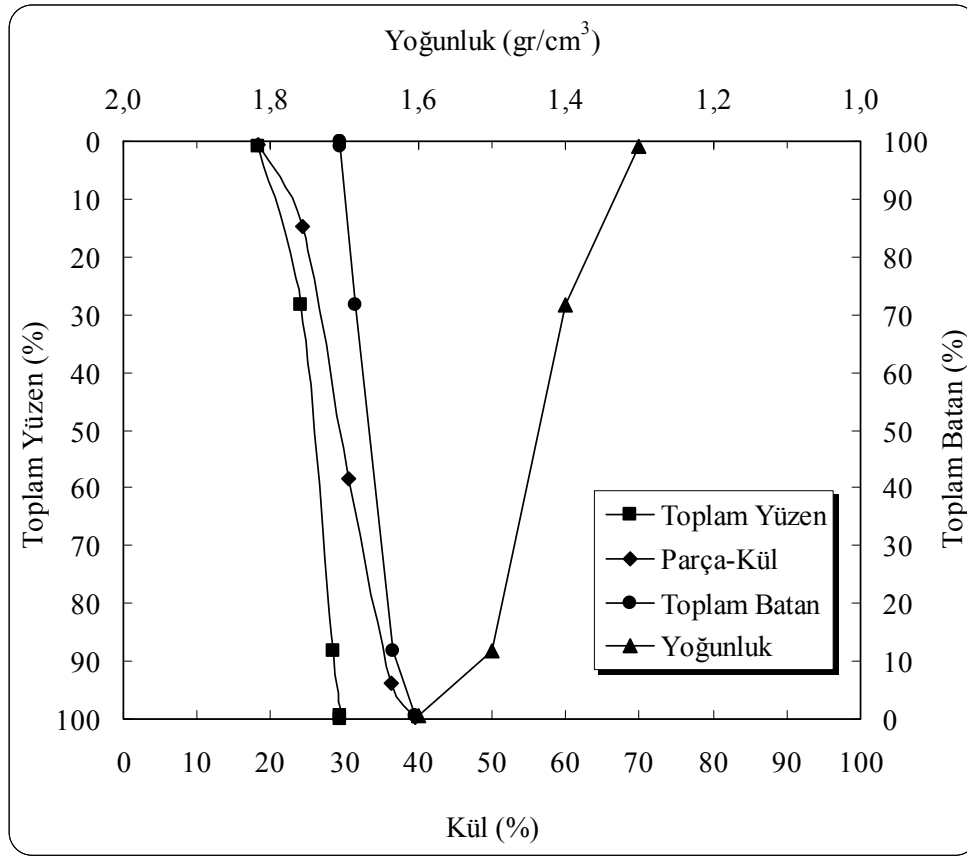
8.2 Yüzdürme-Batırma Deneyleri

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin yıkanabilme özelliklerini belirlemek amacı ile -50+20 mm, -20+4,75 mm ve -4,75+0,5 mm boyut sınıflarında yüzdürme-batırma deneyleri yapılmıştır. Yıkanabilirlik eğrileri sırası ile Şekil 8.3, Şekil 8.4 ve Şekil 8.5’de verilmiştir. Şekil verileri Ek Açıklamalar-D’de verilmiştir.



Şekil 8.3. Adıyaman-Gölbaşı linyiti -50+20 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri

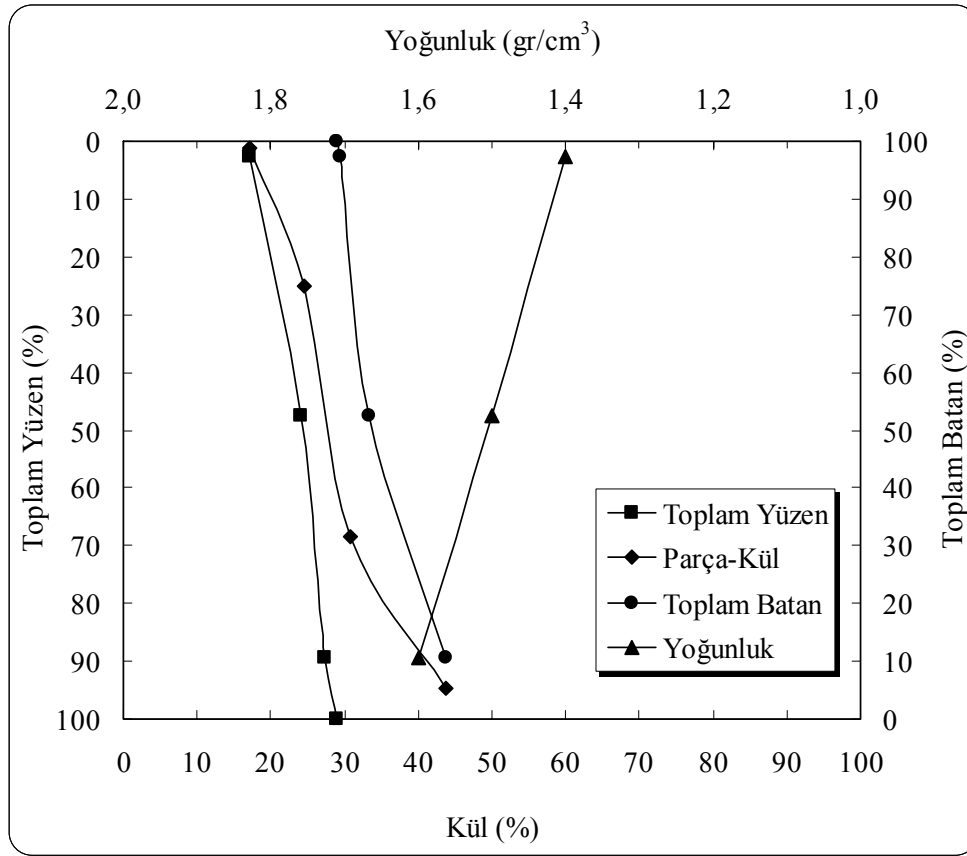
Şekil 8.3’de görüldüğü gibi, -50+20 mm tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma deneylerinden söz konusu tane boyutunun 1,3 g/cm³’de yıkanması ile %13,83 oranında %19,36 küllü temiz kömür, 1,4 g/cm³’de yıkanması ile %49,59 oranında %23,51 küllü temiz kömür ve 1,5 g/cm³’de yıkanması ile %80,22 oranında %26,49 küllü temiz kömür elde edilmiştir.



Şekil 8.4. Adıyaman-Gölbaşı linyiti -20+4,75 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri

Şekil 8.4’de görüldüğü gibi, -20+4,75 mm tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma deneylerinden söz konusu tane boyutunun 1,3 g/cm³’de yıkanması ile %1 oranında %18,20 küllü temiz kömür, 1,4 g/cm³’de yıkanması ile %28,46 oranında %24,10 küllü temiz kömür, 1,5 g/cm³’de yıkanması ile %88,23 oranında %28,41 küllü temiz kömür ve 1,6 g/cm³’de yıkanması ile %99,5 oranında %29,31 küllü temiz kömür elde edilmiştir.

Şekil 8.5’de görüldüğü gibi, -4,75+0,5 mm tane boyutunda yapılan yüzdürme-batırma deneylerinden söz konusu tane boyutunun 1,4 g/cm³’de yıkanması ile %2,65 oranında %17,18 küllü temiz kömür, 1,5 g/cm³’de yıkanması ile %47,64 oranında %24,14 küllü temiz kömür ve 1,6 g/cm³’de yıkanması ile %89,42 oranında %27,21 küllü temiz kömür elde edilmiştir.



Şekil 8.5. Adıyaman-Gölbaşı linyiti -4,75+0,5 mm tane boyutu yıkanabilirlik eğrileri

-50+20 mm tane boyutunda; 1,4 g/cm³'de $\pm 0,1$ yoğunluk ayırma değeri %66,39'dur. -20+4,75 mm tane boyutunda; 1,4 g/cm³'de $\pm 0,1$ yoğunluk ayırma değeri %87,23 ve 1,5 g/cm³'de $\pm 0,1$ yoğunluk ayırma değeri %71,04'dür. -4,75+0,5 mm tane boyutunda; 1,5 g/cm³'de $\pm 0,1$ yoğunluk ayırma değeri %86,77'dir. Ayırma yoğunluğuna yakın madde miktarının ayırma üzerindeki etkisi göz önüne alınarak Özbayoğlu ve Bilgen (1997) tarafından oluşturulan çizelgeye göre her üç tane boyutu için $\pm 0,1$ yoğunluk ayırma değerleri 25'den büyük olmakta ve bu da ayırmanın mümkün olmadığını göstermektedir. Her üç boyut grubuna ait yıkanabilirlik eğrileri incelendiğinde, linyit numunesinin yıkanabilirliğinin iyi olmadığı görülmektedir.

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin yıkanabilirlik özelliklerinin iyi olmaması nedeniyle kül ve kükürt içeriklerinin azaltılması amacı ile karıştırma ve şlam atma, flotasyon, aglomerasyon ve agloflotasyon deneyleri yapılmıştır.

8.3 Karıştırma ve Şlam Atma

Adıyaman-Gölbaşı linyiti üzerinde yapılan ön deneylerde şlam uzaklaştırmanın aglomerasyon ve flotasyon üzerinde olumlu etkisinin görülmesinden dolayı aglomerasyon ve flotasyon çalışmalarından önce karıştırma ve şlam atma aşamasının optimum koşulları araştırılmıştır.

Adıyaman-Gölbaşı linyiti, su ortamında karıştırılarak 0,038 mm'lik elek ile elenmiş, katı oranının, NaOH ve HCl'in karıştırma ve şlam atma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar +0,038 mm'lik kısmın kül içeriği göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Linyit numunesi, 75 dakika öğütüldükten sonra (%88'i 0,1 mm'nin altında) karıştırma ve şlam atma deneylerinde kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan beslemenin kül içeriği % 29,47 dir. Şekil verileri Ek Açıklamalar-E'de verilmiştir.

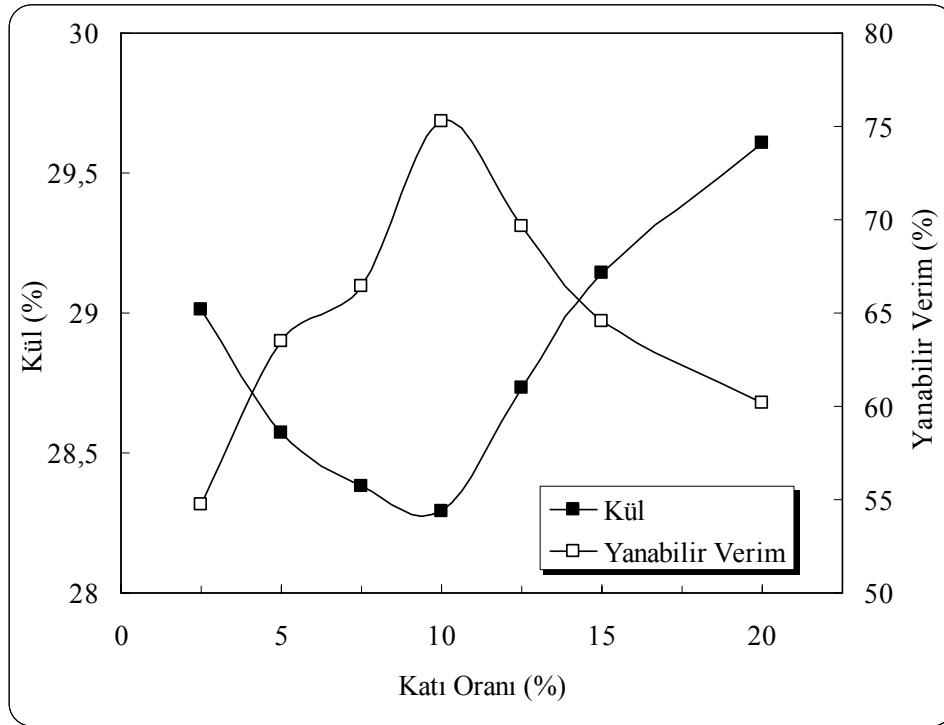
Karıştırma ve şlam atma aşamasının başlangıç koşulları şu şekildedir:

Katı oranı	: %5
Koşullandırma süresi	: 20 dakika
Eleme	: 0,038 mm
Karıştırma hızı	: 1800 dev/dakika

8.3.1 Katı oranının etkisi

Farklı katı oranlarında karıştırma ve şlam atma deneyleri yapılarak, katı oranının karıştırma ve şlam atma aşaması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.6'da verilmiştir.

Şekil 8.6'da görüldüğü gibi katı oranı arttıkça kül değerleri, %10 katıya doğru azalmakta ve %10 katıdan sonra artmaktadır. Kül oranı ve yanabilir verim değerlerine göre en iyi katı oranı %10 olarak seçilmiştir. %10 katı oranında, %28,29 kül içeren + 0,038 mm'lik kısım, %75,24 yanabilir verimle elde edilmiştir.

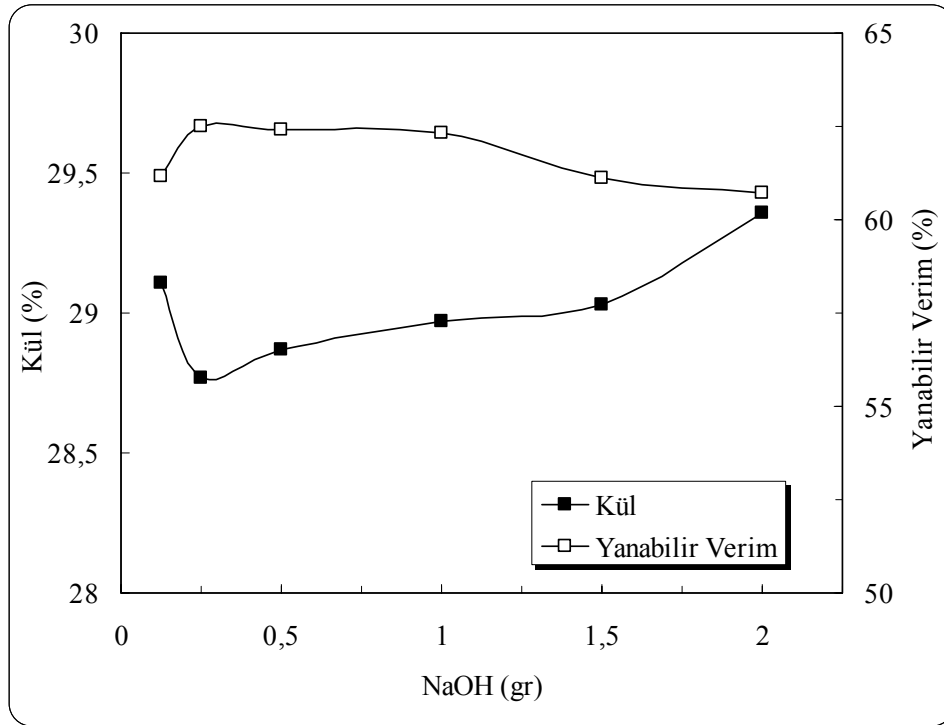


Şekil 8.6. Kati oranının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi

8.3.2 NaOH'in etkisi

NaOH'in karıştırma ve şlam atma aşaması üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile farklı NaOH miktarları içeren çözeltilerde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.7'de verilmiştir.

Şekil 8.7'de görüldüğü gibi, NaOH miktarı arttıkça kül değerleri artmaktadır. Kül içeriğinin azalmasında en iyi sonuç 0,250 gr NaOH'de elde edilmiştir. 0,250 gr NaOH'de, %28,77 kül içeren +0,038 mm'lik kısım %62,49 yanabilir verimle elde edilmiştir. Yüksek miktarlarda NaOH kullanımının önemli oranlarda çözünmeye neden olarak tane boyutunu önemli derecede düşürdüğü ve bu nedenle elek üstünde kalan malzeme miktarlarını azalttığı gözlenmiştir.

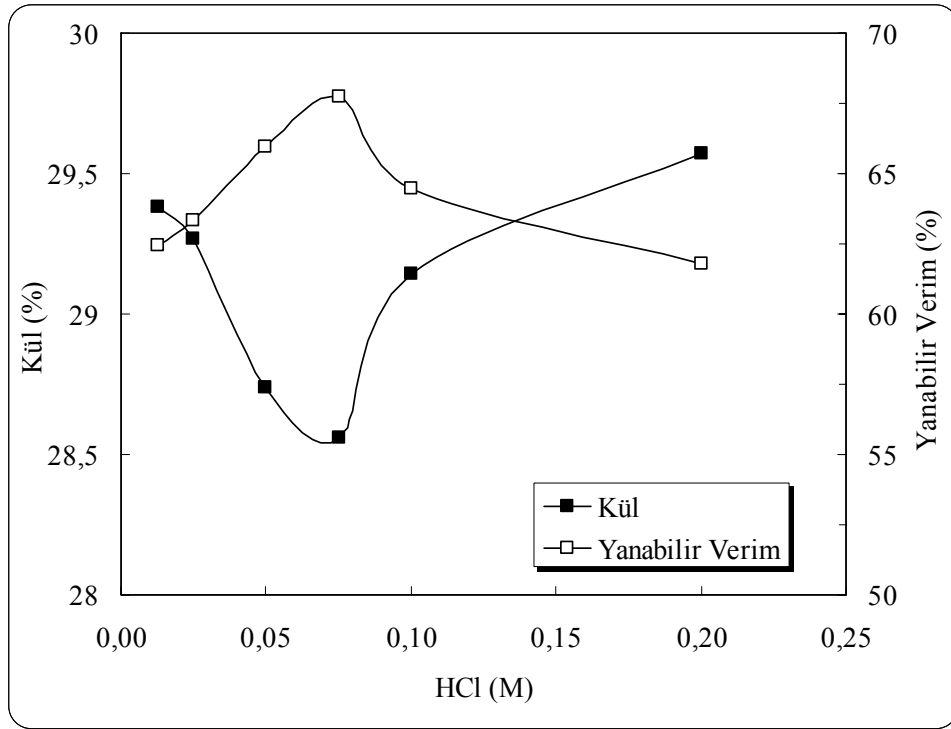


Şekil 8.7. NaOH'in kül ve yanabilir verim üzerine etkisi (Katı oranı: %10)

8.3.3 HCl'in etkisi

HCl'in karıştırma ve şlam atma aşaması üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile farklı molaritelerde HCl içeren çözeltilerde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.8'de verilmiştir.

Şekil 8.8'de görüldüğü gibi kül değerleri, 0,075 M'a doğru azalmakta ve 0,075 M'dan sonra artmaktadır. Kül içeriğinin azalmasında en iyi sonuç 0,075 M HCl'de elde edilmiştir. 0,075 M HCl'de, %28,56 kül içeren +0,038 mm'lik kısım %67,74 yanabilir verimle elde edilmiştir.



Şekil 8.8. HCl'in kül ve yanabilir verim üzerine etkisi (Katı oranı: %10)

NaOH ortamında besleme malına göre kül azalması %2,38, HCl ortamında %3,09 ve çeşme suyunda %4'dür. Çeşme suyunda elde edilen kül azalması ve yanabilir verim değerleri, şlam atma aşamasında NaOH ve HCl kullanılması ile elde edilen kül azalmaları ve yanabilir verim değerlerinden daha yüksek olduğundan dolayı karıştırma ve şlam atma aşamasında NaOH ve HCl kullanılmamıştır.

Optimum karıştırma ve şlam atma koşulları şu şekilde belirlenmiştir:

Katı oranı	: %10
Koşullandırma süresi	: 20 dakika
Eleme	: 0,038 mm
Karıştırma hızı	: 1800 devir/dakika

8.4 Flotasyon

Kömür içinde çok ince partiküller şeklinde kilin bulunuşu kömürün flotasyon verimini azaltmaktadır ve reaktif tüketimini artırmaktadır. Bu durum kömür partiküllerinin yüzeyinin çok ince bir kil tabakası ile kaplanmasına yol açarak kömürü hidrofilik yapmaktadır. Bu nedenle hava kabarcıkları ve kömür partikülleri arasındaki adhezyon (yapışma) kuvveti azalmaktadır ve flotasyon daha fazla güçleşmektedir (Wen and Sun, 1981; Öney, 1993).

Bu nedenle bu çalışmada, Adıyaman-Gölbaşı linyitinin kül ve kükürt içeriklerinin azaltılması amacı ile öncelikle optimum karıştırma ve şlam atma koşulları kullanılarak linyit numunesinden şlam uzaklaştırıldıktan sonra flotasyon yöntemi kullanılmıştır. Öğütme süresinin, pH'ın, katı oranının, toplayıcı türü ve miktarının, bastırıcı türü ve miktarının ve köpürtücü türü ve miktarının flotasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Şekil verileri Ek Açıklamalar-F'de verilmiştir.

Flotasyon aşamasının başlangıç koşulları şu şekildedir:

Katı oranı	: %10
Motor hız	: 1000 rpm
pH	: 7 (NaOH ve HCl)
Koşullandırma süresi	: 15+10+5 dakika
Flotasyon süresi	: 3 dakika
Toplayıcı (Gazyağı) miktarı	: 7 kg/ton
Köpürtücü (Çamyağı) miktarı	: 1,75 kg/ton

8.4.1 Öğütme süresinin etkisi

En uygun öğütme süresinin tespiti için farklı sürelerde öğütülen linyit numunesi, optimum karıştırma ve şlam atma koşullarında şlamdan uzaklaştırıldıktan sonra flotasyon işlemine tabi tutulmuştur. Farklı öğütme sürelerinde öğütülen linyit numunesi, optimum karıştırma ve şlam atma koşullarında şlamdan uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen + 0,038 mm'lik kısımların kül ve toplam kükürt içerikleri Çizelge 8.4'de verilmiştir.

Çizelge 8.4. Farklı öğütme sürelerinde öğütülen linyit numunesinin, şlam uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen + 0,038 mm'lik kısımların kül ve toplam kükürt içerikleri

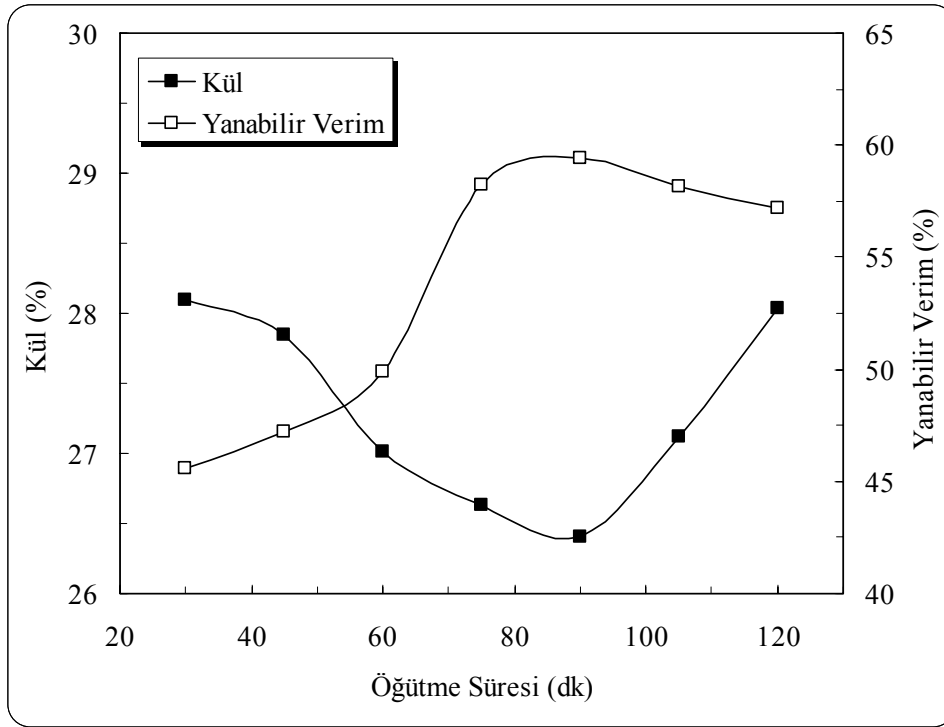
Öğütme süresi (dakika)	+ 0,038 mm'lik kısım		
	Ağ (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)
30	83,0	29,28	2,77
45	81,0	29,13	2,75
60	78,0	28,94	2,74
75	74,0	28,29	2,73
90	70,5	28,15	2,72
105	68,0	28,37	2,74
120	54,0	29,02	2,76
Besleme	100,0	29,47	100,00

Çizelge 8.4'de görüldüğü gibi, öğütme süresi arttıkça elde edilen + 0,038 mm'lik kısımların kül ve toplam kükürt içerikleri 90 dakikaya doğru azalmakta ve 90 dakikadan sonra artmaktadır. Öğütme süresinin artması ile + 0,038 mm'lik kısımların miktarı azalmaktadır.

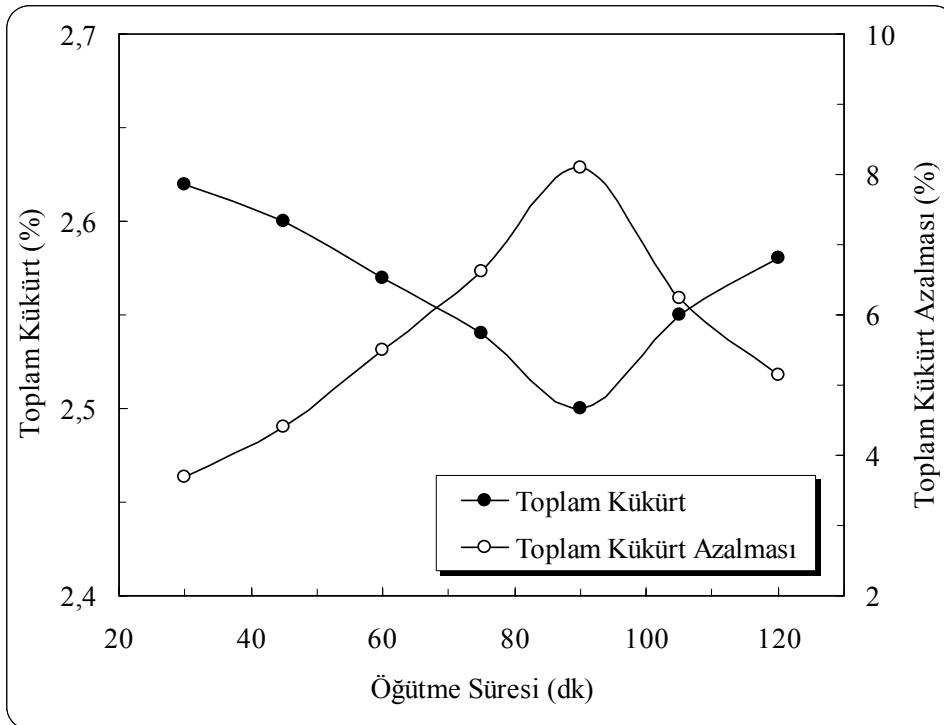
Flotasyon deney sonuçları Şekil 8.9 ve Şekil 8.10'da verilmiştir. Beslemenin kül ve kükürt içerikleri sırasıyla % 28,15 ve 2,72 dir. Flotasyon şartları aksi şekillerde belirtilmedikçe aşağıdaki gibidir.

Katı oranı : %10
pH : 7 (NaOH ve HCl)
Toplayıcı (Gazyağı) miktarı : 7 kg/ton
Köpürtücü (Çamyağı) miktarı : 1,75 kg/ton

Şekil 8.9 ve Şekil 8.10'da görüldüğü gibi konsantrenin kül içeriği ve toplam kükürt içeriği 90 dakikaya doğru azalmakta ve 90 dakikadan sonra artmaktadır. Toplam kükürt azalması ve yanabilir verim değerlerine göre en iyi öğütme süresi 90 dakika olarak seçilmiştir. 90 dakikalık öğütmede, %26,40 kül ve %2,5 toplam kükürt içeren bir konsantre %59,41 yanabilir verim ve %8,09 toplam kükürt azalması ile kazanılmıştır.



Şekil 8.9. Öğütme süresinin kül ve yanabilir verim üzerine etkisi

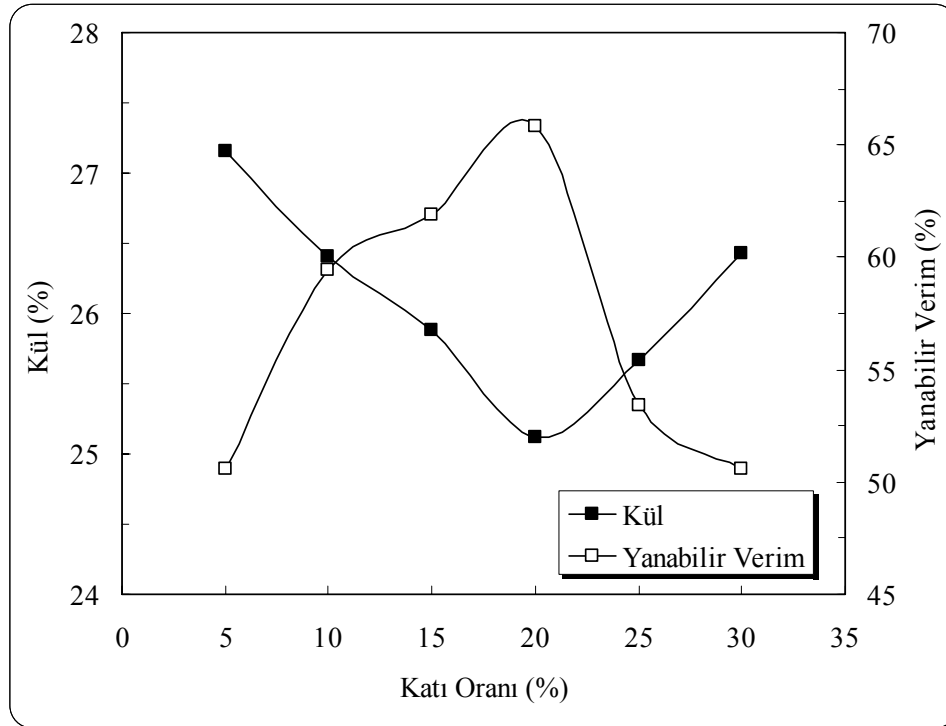


Şekil 8.10. Öğütme süresinin toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi

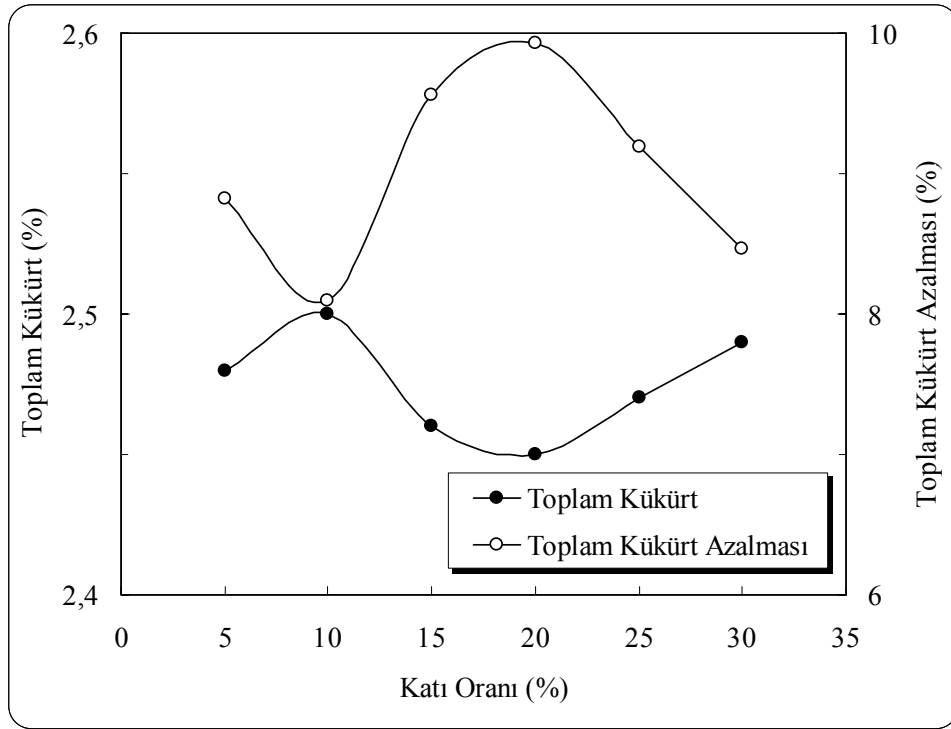
Linyitlerin doğal hidrofilik yapısı ve düşük yüzdürülebilirliği, hidroksil, karboksil, karbonil, düşük karbon ve yüksek kül içeriğinden ileri gelmektedir (Misra et al., 1991; Pawlak et al., 1986; Aplan, 1976; Fuerstenau, et al., 1987; Crawford and Mainwaring, 2001). Düşük sınıflı kömürler özellikle linyitler, temizlenmeleri en güç olanlar arasındadırlar (Aplan, 1983). Linyitlerin zayıf yüzdürülebilirliği esasen yüksek oksijen içeriğine ve yüzeyinde hidrofilik fonksiyonel grupların fazla olmasına bağlanmıştır (Sun, 1954; Fuerstenau, et al., 1983; Arnold and Aplan, 1986; Stachurski and Abdel-Khalek, 1990). Benzer olarak bu çalışmada, Şekil 8.9'da görüldüğü gibi linyitin yüzdürülebilirliğinin zayıf olmasından dolayı test edilen tüm öğütme sürelerinde yanabilir verim değerleri düşük seviyelerdedir.

8.4.2 Katı oranının etkisi

En uygun katı oranının belirlenmesi için farklı katı oranlarında flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.11 ve Şekil 8.12'de verilmiştir.



Şekil 8.11. Katı oranının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi

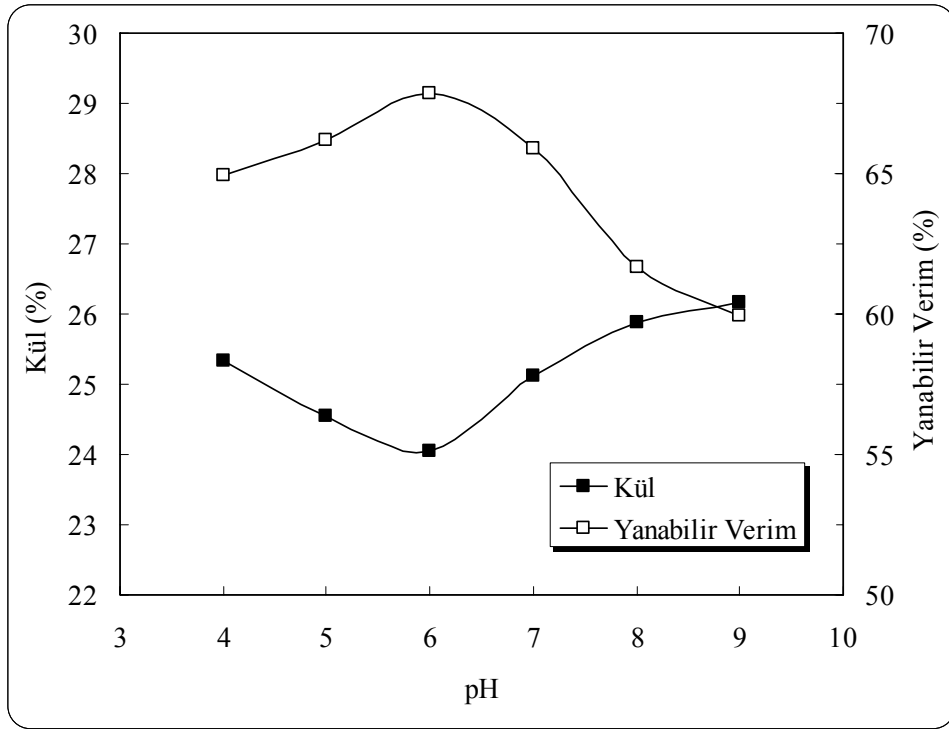


Şekil 8.12. Katı oranının toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi

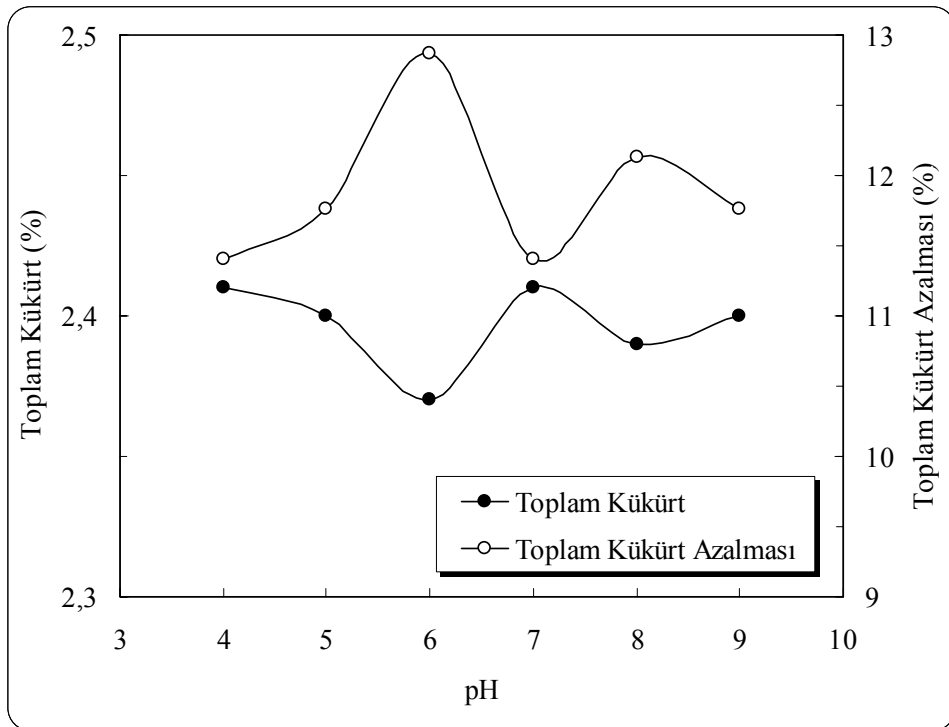
Şekil 8.11’de görüldüğü gibi, konsantrelerin kül içeriği %20 katıya doğru azalmakta ve %20 katıdan sonra artmaktadır. En düşük kül içeriği ve en yüksek yanabilir verim, %20 katı oranında elde edilmesinden dolayı en iyi katı oranı %20 olarak seçilmiştir. %20 katı oranında konsantrenin kül içeriği %25,12 ve yanabilir verimi %65,87 iken Şekil 8.12’de görüldüğü gibi toplam kükürt içeriği %2,45 ve toplam kükürt azalması %9,93 şeklindedir.

8.4.3 pH’ın etkisi

En uygun pH değerinin belirlenmesi için pH 4-9 arasında flotasyon deneyleri yapılmıştır. pH’ın konsantrenin kül ve toplam kükürt içeriği üzerindeki etkisi Şekil 8.13 ve Şekil 8.14’de verilmiştir.



Şekil 8.13. pH'nın kül ve yanabilir verim üzerine etkisi



Şekil 8.14. pH'nın toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi

Şekil 8.13 ve Şekil 8.14’de görüldüğü gibi toplam kükürt azalması ve kül içeriği açısından en iyi pH değeri pH 6 olarak seçilmiştir. pH 6’da, %24,04 küllü konsantre %67,87 yanabilir verimle kazanılmış olup konsantredeki toplam kükürt oranı %2,37 ve toplam kükürt azalması %12,87 şeklindedir.

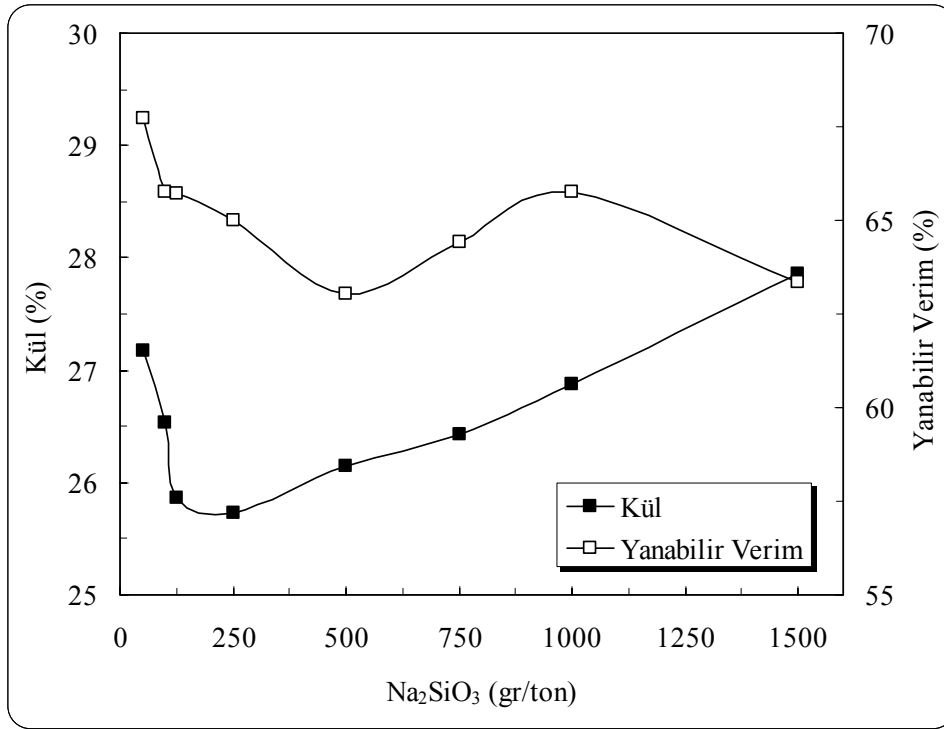
Düşük sınıflı kömürlerin elektrokinetik potansiyeli üzerinde yapılan çalışmalar, şarjın sıfır noktasının asidik aralıkta değiştiğini (pH~ 2-4) ve pH 7,5’de flotasyon deneylerinin gerçekleştirildiğini göstermiştir (Aplan, 1988; Aplan, 1993; Gürses et al., 1997; Onlina and Aplan, 1989; Wen and Sun, 1977). Düşük sınıflı veya oksitlenmiş kömürler pH 3-5 aralığında yüksek derecede negatif yüzeylidirler (Polat, et al., 2003). Kömür geniş pH aralığında iyi şekilde yüzmesine rağmen optimum pH değeri nötr noktasına yakın olarak bulunmuştur (Brown, 1962).

8.4.4 Bastırıcı türü ve miktarının etkisi

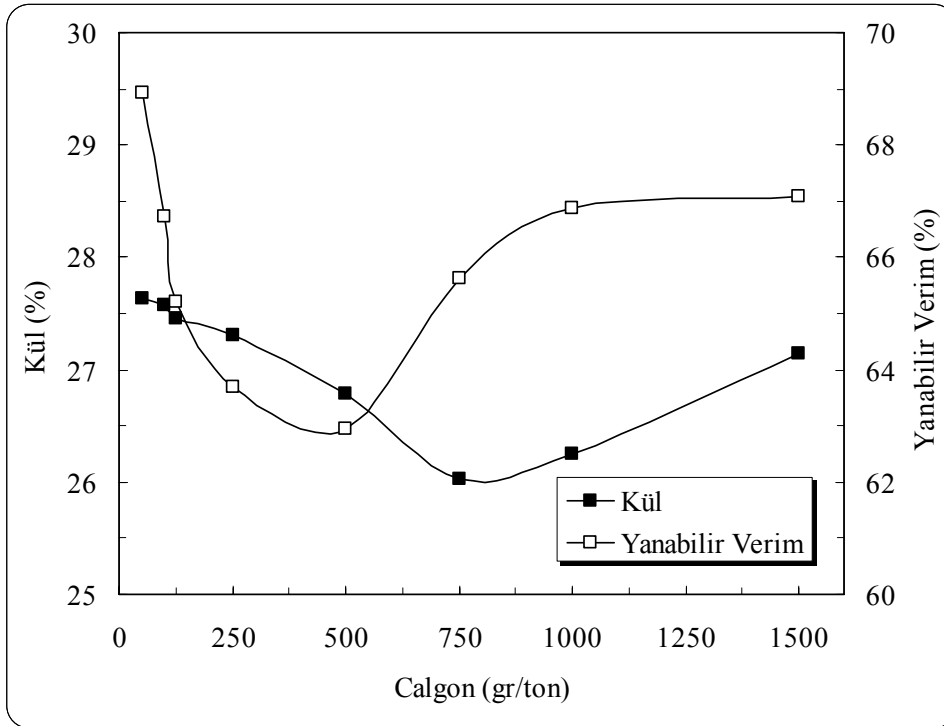
Bastırıcı kullanımının flotasyon üzerindeki etkisini belirlemek amacı ile farklı miktarlarda Na_2SiO_3 ve Calgon (Sodyum hexametafosfat) kullanılarak flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.15 ve Şekil 8.16’da verilmiştir.

Şekil 8.15’de görüldüğü gibi, Na_2SiO_3 kullanıldığı zaman, konsantrenin kül içeriğinin azalmasında en iyi sonuç 250 g/ton Na_2SiO_3 ’de elde edilmiştir. 250 g/ton Na_2SiO_3 ’de, %25,73 kül içeren konsantre %64,98 yanabilir verimle elde edilmiştir. Besleme göre kül azalması %8,60 olmuştur.

Şekil 8.16’da görüldüğü gibi, Calgon kullanıldığı zaman, konsantrenin kül içeriğinin azalmasında en iyi sonuç 750 g/ton Calgon’da elde edilmiştir. 750 g/ton calgon’da, %26,02 kül içeren konsantre %65,62 yanabilir verimle elde edilmiştir. Besleme malına göre kül azalması %7,57 olmuştur.



Şekil 8.15. Na_2SiO_3 'ın flotasyon üzerindeki etkisi (Katı oranı:%20, pH: 6)



Şekil 8.16. Calgon'un flotasyon üzerindeki etkisi (Katı oranı:%20, pH: 6)

Bastırıcı kullanılmaması durumunda, kül azalması beslemeye göre %14,60 olup %24,04 kül içeren konsantre %67,87 yanabilir verimle elde edilmiştir. Na_2SiO_3 ve Calgon kullanımı flotasyon üzerinde herhangi bir olumlu etki yapmaması nedeni ile Adıyaman-Gölbaşı linyitinin flotasyonunda bastırıcı kullanılmamıştır.

8.4.5 Toplayıcı türünün etkisi

Farklı toplayıcıların flotasyon üzerindeki etkisini araştırmak üzere deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 8.5’de verilmiştir.

Çizelge 8.5. Toplayıcı türünün flotasyon üzerindeki etkisi

Tür	Konsantre				
	Ağ (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Gazyağı	64,20	24,04	2,37	12,87	67,87
Mazot	63,00	23,92	2,22	18,38	66,71
%80 Gazyağı + %20 Fuel oil	65,08	24,08	2,33	14,34	68,77
%80 Mazot + %20 Fuel oil	64,65	22,25	2,19	19,49	69,96
%80 Gazyağı + %20 Orfom	63,68	25,31	2,40	11,76	66,20
%80 Gazyağı + %20 Moly	66,49	25,25	2,41	11,40	69,17
%80 Gazyağı + %20 Phil flo.	65,40	25,77	2,43	10,66	67,57
2-etil hegzanol	56,88	24,60	2,35	13,60	59,69
Oleik asit	64,82	23,76	2,42	11,03	68,78
Dodesilamin	64,97	23,23	2,34	13,97	69,42
Dodesilsülfat	62,03	24,14	2,38	12,50	61,49
Aero 825	65,52	24,84	2,36	13,24	68,54
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge 8.5’de görüldüğü gibi, kül ve toplam kükürt azalması açısından en iyi toplayıcı türü olarak %80 Mazot + %20 Fuel oil seçilmiştir. %80 Mazot + %20 Fuel oil

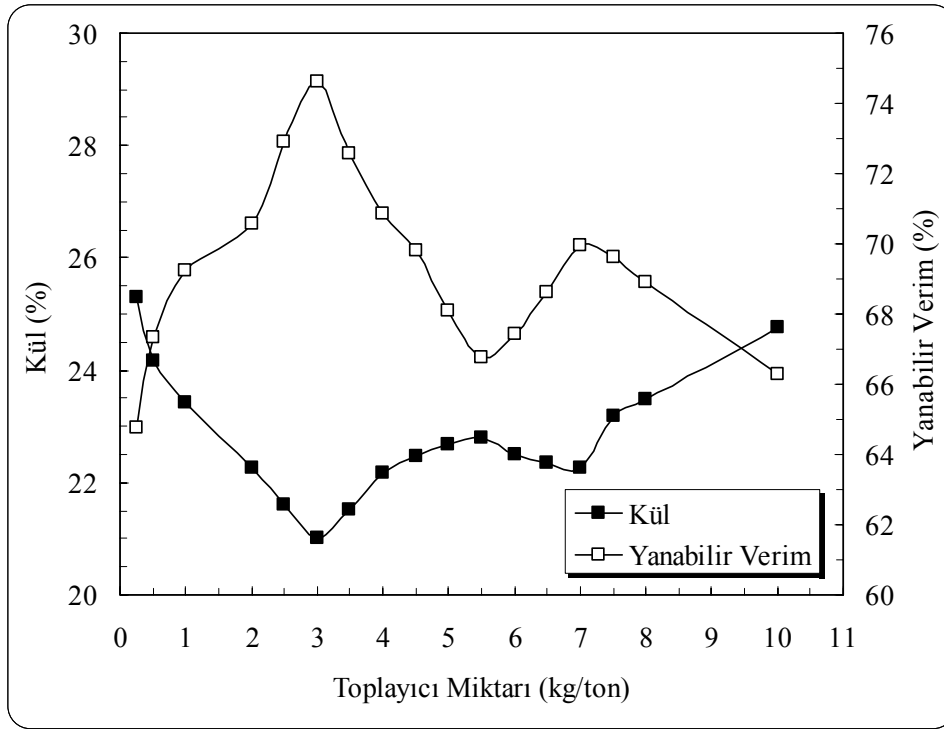
kullanıldığı zaman %22,25 küllü konsantre %69,96 yanabilir verim ile kazanılmış olup toplam kükürt içeriği %2,19 olmuştur. Killerin asidik pH'da daha çok hidrofobik oldukları bilinmektedir (Firth, et al., 1981). pH 6'da katyonik reaktifin (dodesil amin) iyonlarının adsorpsiyonu sonucu kül azalması dodesil sülfat ve 2-etil hegzanol'a göre daha yüksek elde edilmiştir. pH 6'da dodesil sülfatın kullanılması durumunda reaktif moleküllerinin zıt kutuplarından dolayı kül azalması dodesil amin'e göre düşük elde edilmiştir. Test edilen toplayıcılar arasında linyitin yanabilir kısımlarını en az miktarda yüzdüren 2-etilhegzanol'dur.

8.4.6 Toplayıcı miktarının etkisi

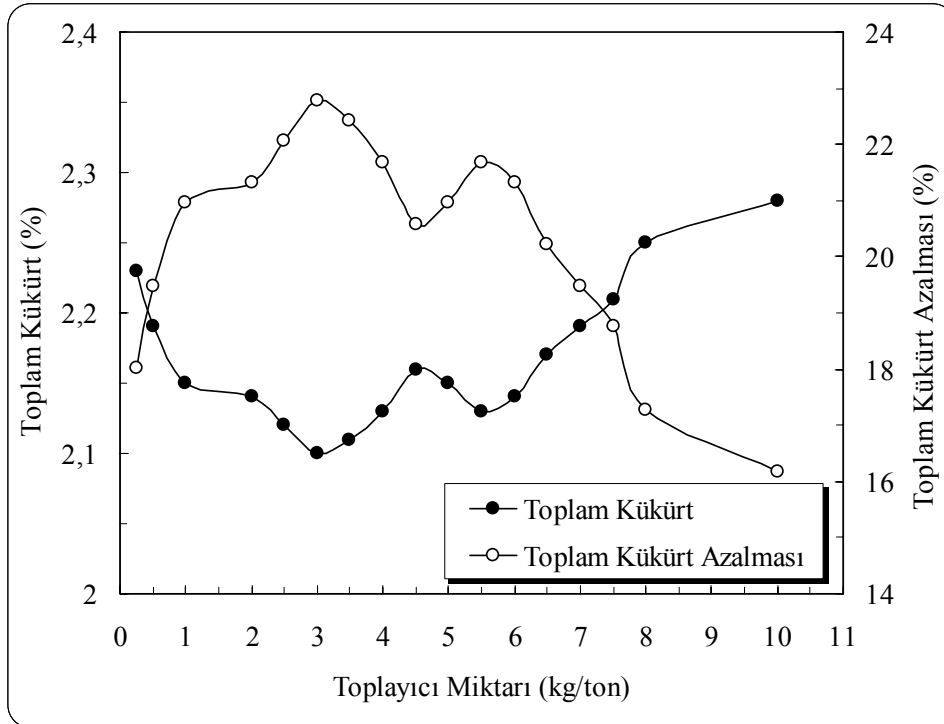
Farklı miktarlarda %80 Mazot + %20 Fuel oil kullanılarak, toplayıcı miktarının flotasyon üzerindeki etkisini araştırmak üzere deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.17 ve Şekil 8.18'de verilmiştir.

Şekil 8.17 ve Şekil 8.18'de görüldüğü gibi, kül ve toplam kükürt içeriği açısından en iyi toplayıcı miktarı 3 kg/ton olarak seçilmiştir. 3 kg/ton toplayıcı miktarı kullanıldığı zaman %21,02 küllü konsantre %2,10 toplam kükürt içeriği ve %74,64 yanabilir verimle elde edilmiştir. Düşük miktarlarda toplayıcı kullanımı konsantrelerin yanabilir verim değerlerini artırmıştır.

Kömür flotasyonunda, gazyağı, fuel oil ve kreozot gibi non-polar yağlar toplayıcı şeklinde kullanılmaktadır. Bu toplayıcılar, kömür yüzeyine hava kabarcıklarının yapışmasını sağlamaktadır. Linyitin doğal hidrofilik yapısından dolayı yüksek derecede hidrofobik kömürler için kullanılan konsantrasyon aralığında polar olmayan yağlar kullanılarak linyitin yüzdürülmesi çok güç olduğundan linyitin yüzdürülmesi için fazla miktarda yağ gerekmektedir (örneğin, 5-50 kg/ton fuel oil) (Aplan, 1976; Gutierrez-Rodriguez and Aplan, 1984; Aplan and Arnold, 1991). Benzer olarak, Adıyaman-Gölbaşı linyitinin hidrofilik yapısından dolayı optimum toplayıcı miktarı, 3 kg/ton gibi yüksek miktar bulunmuştur.



Şekil 8.17. Toplayıcı miktarının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi



Şekil 8.18. Toplayıcı miktarının toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi

8.4.7 Köpürtücü türünün etkisi

Farklı köpürtücülerin flotasyon üzerindeki etkisini araştırmak üzere deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 8.6’da verilmiştir.

Çizelge 8.6. Köpürtücü türünün flotasyon üzerindeki etkisi

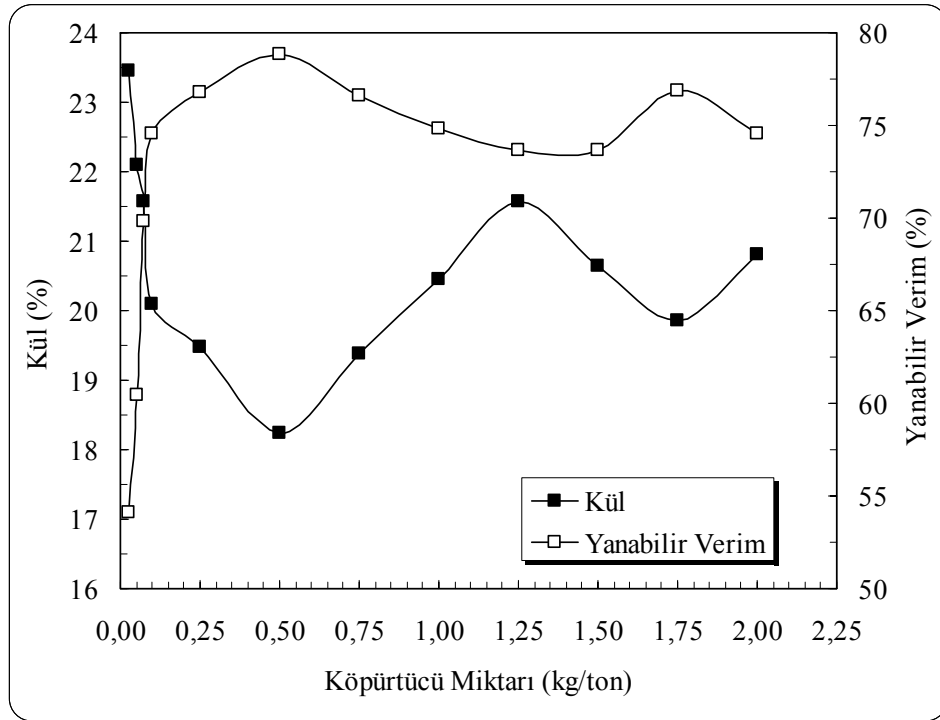
Tür	Konsantre				
	Ağ (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
MIBC	68,91	19,85	1,52	44,12	76,87
Çamyağı	67,90	21,02	1,75	35,66	74,64
Aerofroth 88	65,35	21,80	1,92	29,41	71,13
Aerofroth 65	68,40	21,28	1,83	32,72	74,94
Aerofroth 76 A	65,00	21,82	1,89	30,51	70,73
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge 8.6’da görüldüğü gibi kül ve toplam kükürt içeriği açısından en iyi sonuç MIBC ile elde edilmiştir. Köpürtücü olarak MIBC kullanıldığı zaman, %19,85 küllü konsantre, %1,52 toplam kükürt ve %76,87 yanabilir verimle kazanılmıştır. Toplam kükürt azalması %44,12 elde edilmiştir.

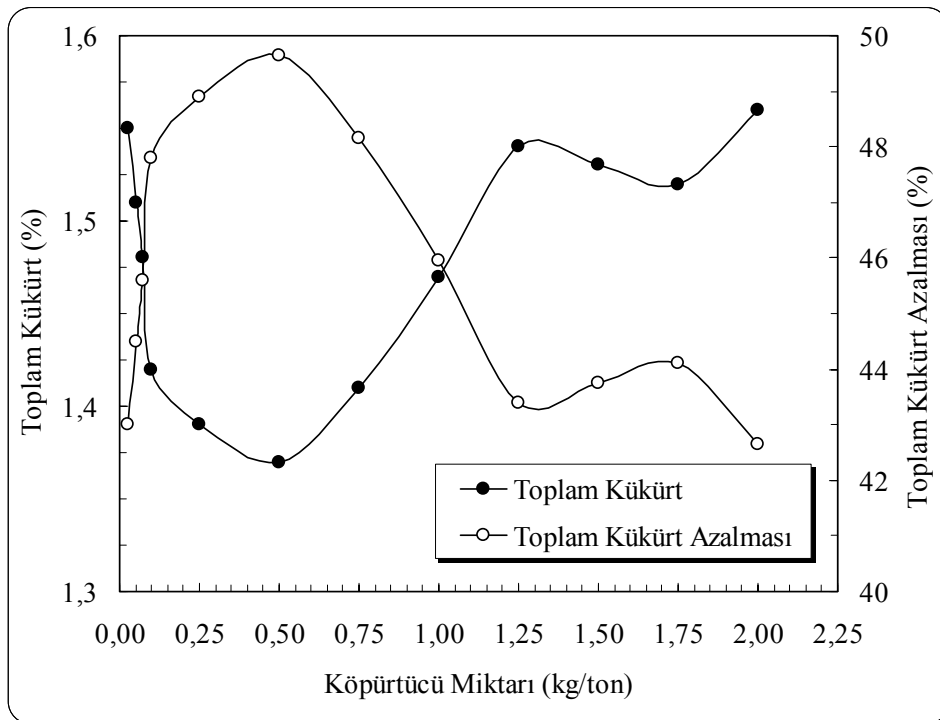
8.4.8 Köpürtücü miktarının etkisi

Farklı miktarlarda MIBC kullanılarak köpürtücü miktarının flotasyon üzerindeki etkisini araştırmak üzere deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.19 ve Şekil 8.20’de verilmiştir.

Şekil 8.19 ve Şekil 8.20’de görüldüğü gibi kül ve toplam kükürt azalması açısından en iyi sonuç 0,5 kg/ton kullanımında elde edilmiştir. 0,5 kg/ton MIBC kullanımında, %18,24 küllü konsantre, %1,37 toplam kükürt içermekte olup %78,86 yanabilir verimle kazanılmıştır. Toplam kükürt azalması %49,63 olmuştur.



Şekil 8.19. Köpürtücü miktarının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi



Şekil 8.20. Köpürtücü miktarının toplam kükürt ve kükürt azalması üzerine etkisi

Karıştırma ve şlam atma ve flotasyon aşamasında tespit edilen optimum koşullar şu şekildedir:

Karıştırma ve şlam atma

Katı oranı	: %10
Koşullandırma süresi	: 20 dakika
Eleme	: 0,038 mm
Karıştırma hızı	: 1800 devir/dakika

Flotasyon

Öğütme süresi	: 90 dakika
Katı oranı	: %20
pH	: 6 (NaOH ve HCl)
Islatma koşullandırma süresi	: 15 dakika
Toplayıcı türü	: %80 Mazot + %20 Fuel oil
Toplayıcı miktarı	: 3 kg/ton
Köpürtücü türü	: MIBC
Köpürtücü miktarı	: 0,5 kg/ton
Toplayıcı koşullandırma süresi	: 10 dakika
Köpürtücü koşullandırma süresi	: 5 dakika
Bastırıcı miktarı	: 0 g/ton
Köpük alma süresi	: 3 dakika

8.4.9 Temizleme flotasyonu

Flotasyon aşamalarında tespit edilen optimum koşullarda elde edilen konsantre üzerinde üç aşamalı temizleme flotasyonu yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 8.7’de verilmiştir. Temizleme flotasyonu deney koşulları şu şekildedir:

1. Temizleme:

Koşullandırma süresi	: 10 dakika
Köpürtücü miktarı (MIBC)	: 0,25 kg/ton
Köpürtücü koşullandırma süresi	: 5 dakika
pH	: 6
Köpük alma süresi	: 2 dakika

2. Temizleme:

Koşullandırma süresi	: 10 dakika
Köpürtücü miktarı (MIBC)	: 0,125 kg/ton
Köpürtücü koşullandırma süresi	: 5 dakika
pH	: 6
Köpük alma süresi	: 2 dakika

3. Temizleme:

Koşullandırma süresi	: 10 dakika
Köpürtücü miktarı (MIBC)	: 0,0625 kg/ton
Köpürtücü koşullandırma süresi	: 5 dakika
pH	: 6
Köpük alma süresi	: 1 dakika

Çizelge 8.7. Optimum karıştırma ve şlam atma koşullarında, şlam uzaklaştırıldıktan sonra Adıyaman-Gölbaşı linyitinin üç aşamalı temizleme flotasyon deney sonuçları

Ürünler	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Yanabilir verim (%)
Konsantre	23,33	15,04	1,19	27,59
Ara ürün 3	11,86	17,28	1,25	13,65
Ara ürün 2	14,00	19,12	1,41	15,76
Ara ürün 1	20,11	21,91	1,62	21,86
Artık	30,70	50,52	5,77	21,14
Toplam	100,00	28,15	2,72	100,00

Çizelge 8.7’de görüldüğü gibi, Adıyaman-Gölbaşı linyitinin optimum karıştırma ve şlam atma koşullarında şlam uzaklaştırıldıktan sonra yapılan üç aşamalı temizleme flotasyonu sonucunda, %15,04 küllü konsantre, %1,19 toplam kükürt ve %27,59 yanabilir verimle kazanılmıştır.

8.4.10 Deniz suyu ve Sodali Göl suyunun etkisi

Flotasyonda deniz suyu veya diğer artık suların kullanımındaki ana neden temiz su eksikliğidir. Ayrıca tuzlu ortamda yapılan flotasyonda, tanecikler çevresindeki elektriksel çift tabaka sıkıştırılmakta ve böylece hidrofobik yüzey alanlarının açılmasına yol açmaktadır. Bu alanlar daha sonra hidrofobik bağ ile partiküller ve kabarcıkları çekebilmektedir. Bazı araştırmacılar, elektriksel çift tabakanın sıkışması sonucu zeta potansiyelinin azaldığını ve bunun sonucu kabarcık ve partikül arasındaki uzun mesafeli itici elektriksel kuvvetlerin azaltıldığını bildirmişlerdir (Yang et al., 1988; Yoon and Sabey, 1988). İnorganik tuz çözeltilerinde doğal olarak hidrofobik mineraller, herhangi bir reaktif ilavesi olmaksızın yüzmektedirler. Kömür elektrolitlerin adsorpsiyonu için önemli bir kapasiteye sahiptir (Öney, 1993). %3,5 tuzluluk oranında deniz suyunun ayrıntılı bileşimi Çizelge 8.8’de verilmiştir.

Çizelge 8.8. %3,5 tuzluluk oranında deniz suyunun ayrıntılı bileşimi
(www.seafriends.org.nz)

Element	ppm (mg/l)	Element	ppm (mg/l)
Hidrojen	110,000	Mo	0.01
Oksijen	883,000	Ru	0.0000007
Cl	10,800	Rh	.
Na	19,400	Pd	.
Mg	1,290	Ag	0.00028
S	904	Cd	0.00011
K	392	In	.
Ca	411	Sn	0.00081
Br	67.3	Sb	0.00033
He	0.0000072	Te	.
Li	0.170	I	0.064
Be	0.0000006	Xe	0.000047
B	4.450	Cs	0.0003
C	28.0	Ba	0.021
N	15.5	La	0.0000029
F	13	Ce	0.0000012
Ne	0.00012	Pr	0.00000064
Al	0.001	Nd	0.0000028
Si	2.9	Sm	0.00000045
P	0.088	Eu	0.0000013
Ar	0.450	Gd	0.0000007
Sc	<0.000004	Tb	0.00000014
Ti	0.001	Dy	0.00000091
V	0.0019	Ho	0.00000022
Cr	0.0002	Er	0.00000087
Mn	0.0004	Tm	0.00000017
Fe	0.0034	Yb	0.00000082
Co	0.00039	Lu	0.00000015
Ni	0.0066	Hf	<0.000008
Cu	0.0009	Ta	<0.0000025
Zn	0.005	W	<0.000001
Ga	0.00003	Re	0.0000084
Ge	0.00006	Os	.
As	0.0026	Ir	.
Se	0.0009	Pt	.
Kr	0.00021	Au	0.000011
Rb	0.120	Hg	0.00015
Sr	8.1	Tl	.
Y	0.000013	Pb	0.00003
Zr	0.000026	Bi	0.00002
Nb	0.000015	Th	0.0000004
		U	0.0033
		Pu	.

Çizelge 8.8’de verilen tüm çözünmüş tuzlar deniz suyunun tuzluluk oranını (genellikle %3,5) oluşturmaktadır. Başlıca tuz iyonları Çizelge 8.9’da gösterildiği gibi %99,9’u oluşturmaktadır. Nehirlerden tatlı su ilavesi veya tatlı suyun buharlaşması ile tuzluluk oranında farklılıklar meydana gelmektedir (www.seafriends.org.nz).

Çizelge 8.9. Başlıca tuz iyonları (www.seafriends.org.nz)

İyon	Değerlik	Konsantrasyon ppm (mg/kg)	Tuzluluk oranı (%)
Cl	-1	19345	55.03
Na	+1	10752	30.59
SO ₄	-2	2701	7.68
Mg	+2	1295	3.68
Ca	+2	416	1.18
K	+1	390	1.11
HCO ₃	-1	145	0.41
Br	-1	66	0.19
BO ₃	-3	27	0.08
Sr	+2	13	0.04
F	-1	1	0.003

Karadeniz, tuzluluk oranı (%18) az olan bir denizdir. Ege denizi, tuzluluk oranı (%39) yüksek bir denizdir. Akdeniz dünya denizleri içinde oldukça yüksek (%39) tuzluluk oranına sahip bir denizdir (www.aof.edu.tr). Sodali göl suyunun, tuzluluk oranı %19, pH'sı ise 9.8’dir (<http://tr.wikipedia.org>). Sodali göl suyu, %5,9 oranında sodyum karbonat, %3,8 oranında sodyum klorür, %0,4 oranında magnezyum klorür, %0,3 oranında magnezyum sülfat, %0,1 oranında kalsiyum sülfat ve %0,1 oranında potasyum klorür içermektedir (www.bitlis.gov.tr).

Deniz suyu ve göl suyunun flotasyon üzerindeki etkisini araştırmak amacı ile çeşme suyunda optimum karıştırma ve şlam atma koşullarında, şlam uzaklaştırıldıktan sonra optimum flotasyon koşullarında Ege denizi suyu ve sodali göl suyunda üç aşamalı temizleme flotasyonu yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 8.10 ve Çizelge 8.11’de verilmiştir.

Flotasyon deney koşulları şu şekildedir:

Öğütme süresi	:90 dakika
Katı oranı	:%20
pH	: 6 (NaOH ve HCl)
Islatma koşullandırma süresi	:15 dakika
Toplayıcı türü	: %80 Mazot + %20 Fuel oil
Toplayıcı miktarı	: 3 kg/ton
Köpürtücü türü	: MIBC
Köpürtücü miktarı	: 0,5 kg/ton
Toplayıcı koşullandırma süresi	: 10 dakika
Köpürtücü koşullandırma süresi	: 5 dakika
Bastırıcı miktarı	: 0 g/ton
Köpük alma süresi	: 3 dakika

Çizelge 8.10. Ege denizi suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin üç aşamalı temizleme flotasyon deney sonuçları

Ürünler	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Yanabilir verim (%)
Konsantre	14,29	17,23	1,05	16,46
Ara ürün 3	9,69	18,27	1,11	11,02
Ara ürün 2	17,35	19,31	1,18	19,49
Ara ürün 1	22,64	21,97	1,23	24,59
Artık	36,03	43,28	5,49	28,44
Toplam	100,00	28,15	2,72	100,00

Çizelge 8.11. Sodalı göl suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin üç aşamalı temizleme flotasyon deney sonuçları

Ürünler	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Yanabilir verim (%)
Konsantre	12,44	17,67	1,08	14,25
Ara ürün 3	10,33	18,45	1,14	11,73
Ara ürün 2	15,51	19,86	1,16	17,30
Ara ürün 1	19,47	20,11	1,23	21,65
Artık	42,25	40,36	4,85	35,07
Toplam	100,00	28,15	2,72	100,00

Çizelge 8.10 ve Çizelge 8.11’de görüldüğü gibi, Adıyaman-Gölbaşı linyitinin çeşme suyunda optimum karıştırma ve şlam atma koşullarında, şlam uzaklaştırıldıktan sonra optimum flotasyon koşullarında Ege denizi suyunda yapılan üç aşamalı temizleme flotasyonu sonucunda, %17,23 küllü konsantre, %1,05 toplam kükürt ve %16,46 yanabilir verimle ve sodalı göl suyunda yapılan üç aşamalı temizleme flotasyonu sonucunda, %17,67 küllü konsantre, %1,08 toplam kükürt ve %14,25 yanabilir verimle kazanılmıştır.

Adıyaman-Gölbaşı linyiti üzerinde optimum karıştırma ve şlam atma koşullarında, şlam uzaklaştırıldıktan sonra çeşme suyunda yapılan flotasyon, Ege denizi suyunda ve Sodalı göl suyunda yapılan flotasyon deneylerinin akım şemaları ve malzeme dengesi Şekil 8.21, Şekil 8.22 ve Şekil 8.23’de verilmiştir.

8.4.11 Şlam uzaklaştırılmadan yapılan flotasyon

Karıştırma ve şlam atma işlemi yapılmadan Adıyaman-Gölbaşı linyitinin belirlenen optimum flotasyon koşulları kullanılarak üç aşamalı temizleme flotasyonu yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 8.12’de verilmiştir.

Flotasyon deney koşulları şu şekildedir:

Öğütme süresi	:90 dakika
Katı oranı	:%20
pH	: 6 (NaOH ve HCl)
Islatma koşullandırma süresi	:15 dakika
Toplayıcı türü	: %80 Mazot + %20 Fuel oil
Toplayıcı miktarı	: 3 kg/ton
Köpürtücü türü	: MIBC
Köpürtücü miktarı	: 0,5 kg/ton
Toplayıcı koşullandırma süresi	: 10 dakika
Köpürtücü koşullandırma süresi	: 5 dakika
Bastırıcı miktarı	: 0 g/ton
Köpük alma süresi	: 3 dakika

Çizelge 8.12. Karıştırma ve şlam atma işlemi yapmadan, optimum flotasyon koşullarında Adıyaman-Gölbaşı linyitinin üç aşamalı temizleme flotasyonu

Ürünler	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Yanabilir verim (%)
Konsantre	12,17	22,11	2,25	13,44
Ara ürün 3	9,15	26,43	2,34	9,54
Ara ürün 2	13,96	27,76	2,42	14,30
Ara ürün 1	19,37	28,59	2,59	19,61
Artık	45,35	32,96	3,20	43,11
Toplam	100,00	29,47	2,78	100,00

Çizelge 8.12’de görüldüğü gibi, Adıyaman-Gölbaşı linyitinin karıştırma ve şlam atma işlemi yapılmadan yapılan üç aşamalı temizleme flotasyonu sonucunda, %22,11 küllü konsantre, %2,25 toplam kükürt ve %13,44 yanabilir verimle kazanılmıştır. Karıştırma ve şlam atma işlemi yapmadan, optimum flotasyon koşullarında Adıyaman-Gölbaşı linyitinin flotasyon deney akım şeması ve malzeme dengesi Şekil 8.24’de verilmiştir. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin farklı su ortamlarında yapılan flotasyon çalışmalarının toplu sonuçları Çizelge 8.13’de verilmiştir.

Çizelge 8.13. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin farklı su ortamlarında yapılan flotasyon çalışmalarının toplu sonuçları

Flotasyon ortamı	Konsantre			
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Yanabilir verim (%)
Çeşme suyunda (şlamdan uzaklaştırılmış)	23,33	15,04	1,19	27,59
Çeşme suyunda (şlamdan uzaklaştırılmamış)	12,17	22,11	2,25	13,44
Sodalı göl suyu	12,44	17,67	1,08	14,25
Ege denizi suyu	14,29	17,23	1,05	16,46

Çizelge 8.13’de görüldüğü gibi, sodalı göl suyu ve Ege denizi suyunda elde edilen sonuçlar, çeşme suyunda şlam uzaklaştırıldıktan sonra yapılan flotasyon deney sonucu ile karşılaştırıldığında, çeşme suyunda şlam uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen

konsantrenin kül içeriği daha düşük ve konsantrenin miktarı daha yüksektir. Toplam kükürt içeriği açısından sodalı göl suyu ve Ege denizi suyunun kullanımı, toplam kükürt değeri daha düşük olan konsantreler elde edilmiştir.

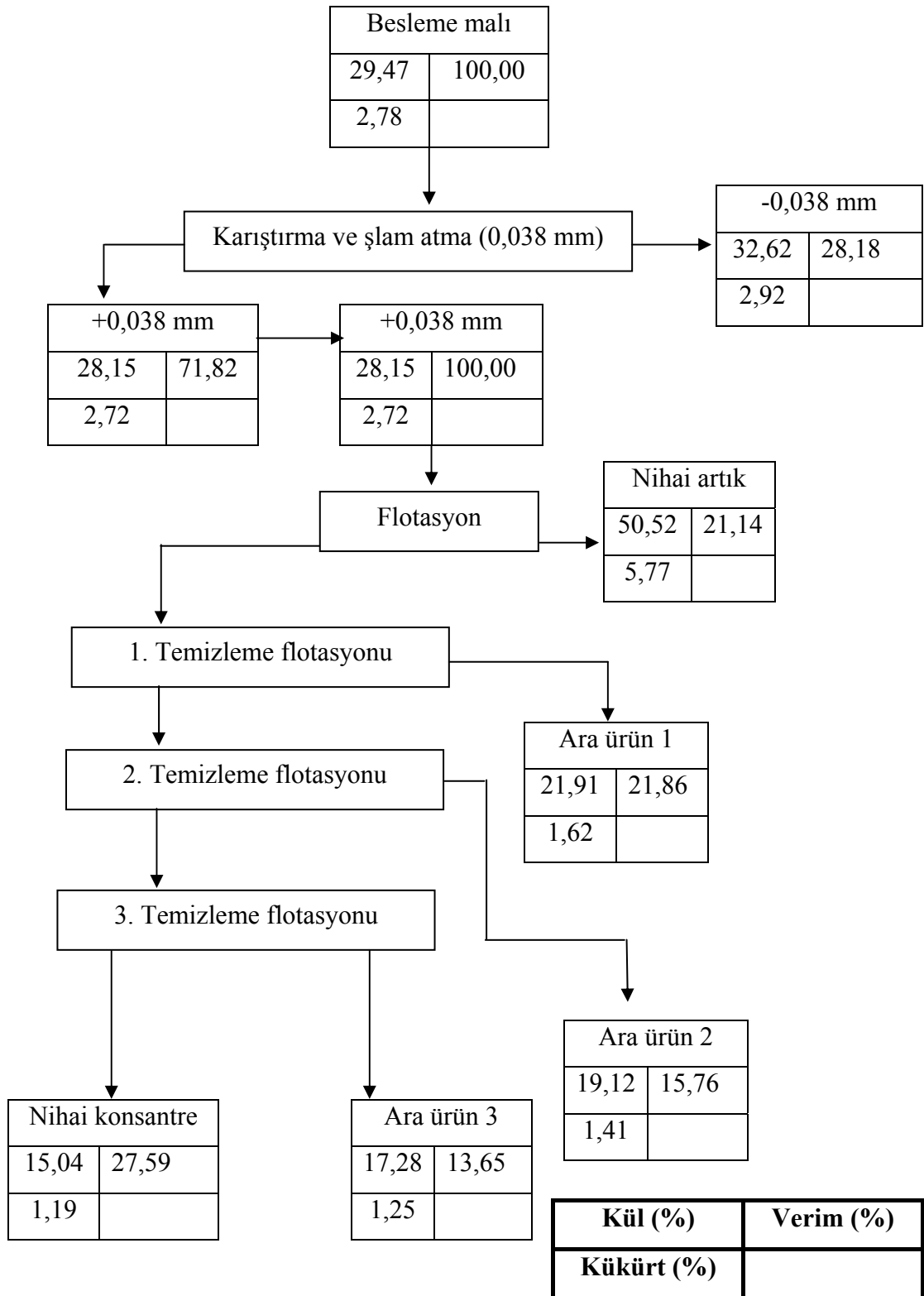
Tuz çözeltilerinde yağ aglomerasyonunun genel etkileri, tuz flotasyonuna benzer olduğu görülmüştür. Her iki yöntemde, kömür verimi geniş konsantrasyonlarda tuz kullanımı ile artırılmıştır ve kömür verimi zeta potansiyeli değerinin sıfır olduğu noktada maksimum olarak elde edilmiştir (Yang et al., 1988). Fan ve ark. (1988), Yüksek derecede hidrofobik kömür veya grafit partikülleri için aglomerasyon ortamının iyonik kuvvetindeki bir artışın, aglomerasyon veriminin artışına neden olduğunu, zayıf derecede hidrofobik kömür veya pirit partikülleri için aglomerasyon veriminde bir azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir (Fan et al., 1988). Yüksek derecede hidrofobik katılarda tuz konsantrasyonunun etkisi, ayrı partikülleri çevreleyen elektriksel çift tabakanın sıkıştırılmasından dolayı görülmüştür. Zayıf derecede hidrofobik partiküller üzerindeki bu etki, hidratlanmış katyonların adsorpsiyonundan dolayı olduğu görülmüştür (Fan et al., 1987). Buna göre bu çalışmada Adıyaman-Gölbaşı linyitinin hidrofillik yapısı nedeni ile Ege denizi suyu ve sodalı göl suyunun kullanımı flotasyon ortamında linyit partikülleri üzerinde hidratlanmış katyonların adsorpsiyonundan dolayı elde edilen yanabilir verim değerleri (Ege denizi suyunda %16,46 ve sodalı göl suyunda %14,25), çeşme suyunda şlam uzaklaştırıldıktan sonra yapılan flotasyonda elde edilen (%27,59) yanabilir verim değerinden düşük olarak elde edilmiştir.

Çeşme suyunda, şlam uzaklaştırılarak ve şlam uzaklaştırılmadan yapılan flotasyon deney sonuçları karşılaştırıldığında flotasyondan önce şlamın uzaklaştırılması linyit yüzeyinde mikron mertebesinde bulunan kilin uzaklaştırılması ve suda çok az çözünen minerallerin linyit numunesinden uzaklaştırılarak flotasyon üzerindeki etkisinin ortadan kaldırılması açısından flotasyon sonuçları üzerinde olumlu bir etki yapmıştır. Şlamın uzaklaştırılması kül ve toplam kükürt içeriği daha düşük olan konsantrenin elde edilmesini sağlamıştır.

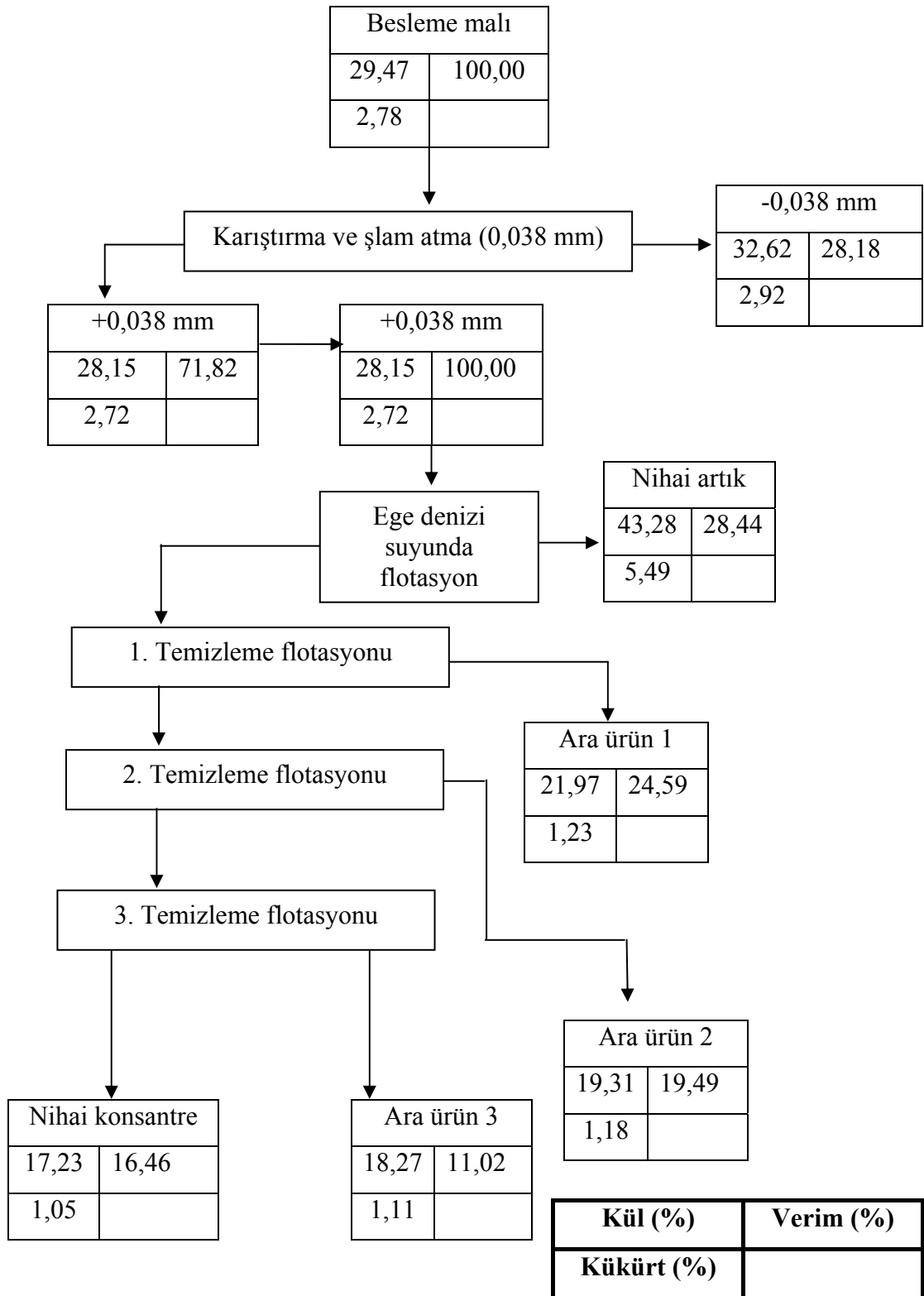
Kömür, termik santrallerde %60'ı 90 mikronun altında olacak şekilde öğütüldükten sonra sıcak hava ile sürüklenerek 1100-1200 °C'deki yanma odalarına

püskürtülmektedir. Termik santrallerin karakteri gereği kullanılan enerji kaynağının ancak %30'u net elektriğe dönüşmekte, geri kalanı ise artık ısı olarak çıkmaktadır. Çatalağzı B (1-2) santralinde kullanılan kömürlerin özellikleri şu şekildedir: 3390 kcal/kg ısı değeri, %20 orijinal nem, %35 kül, %0,53 toplam kükürt. Çimento sanayinde kullanılan kömürlerin maksimum %10-15 kül, %2 kükürt, %10-12 nem içermesi ve ısı değeri 6500-7000 kcal/kg arasında olması gerekmektedir. Yakıt maliyetini düşürmek amacı ile daha düşük kaliteli kömürlerin kullanımı mümkündür. Bu amaçla, çimento fırınında %20-25 kül, %18-28 nem içeren ve alt ısı değeri 4000-4500 kcal/kg olan kömürlerde, üretim sisteminde gerekli değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Şeker fabrikalarında kullanılan linyitler değerlendirilirken kullanım yerine bağlı olarak, ısı değeri 2500-3000 kcal/kg ve 4000 kcal/kg'dan büyük olanlar olmak üzere iki türe ayrılmaktadır. Şeker üretiminde kullanılacak kömürün nem ve kül içeriklerinin mümkün olduğu kadar az olması istenmektedir. Tuğla sanayinde kullanılan linyitin ortalama ısı değeri 4000 kcal/kg'dır (Beker, 1998).

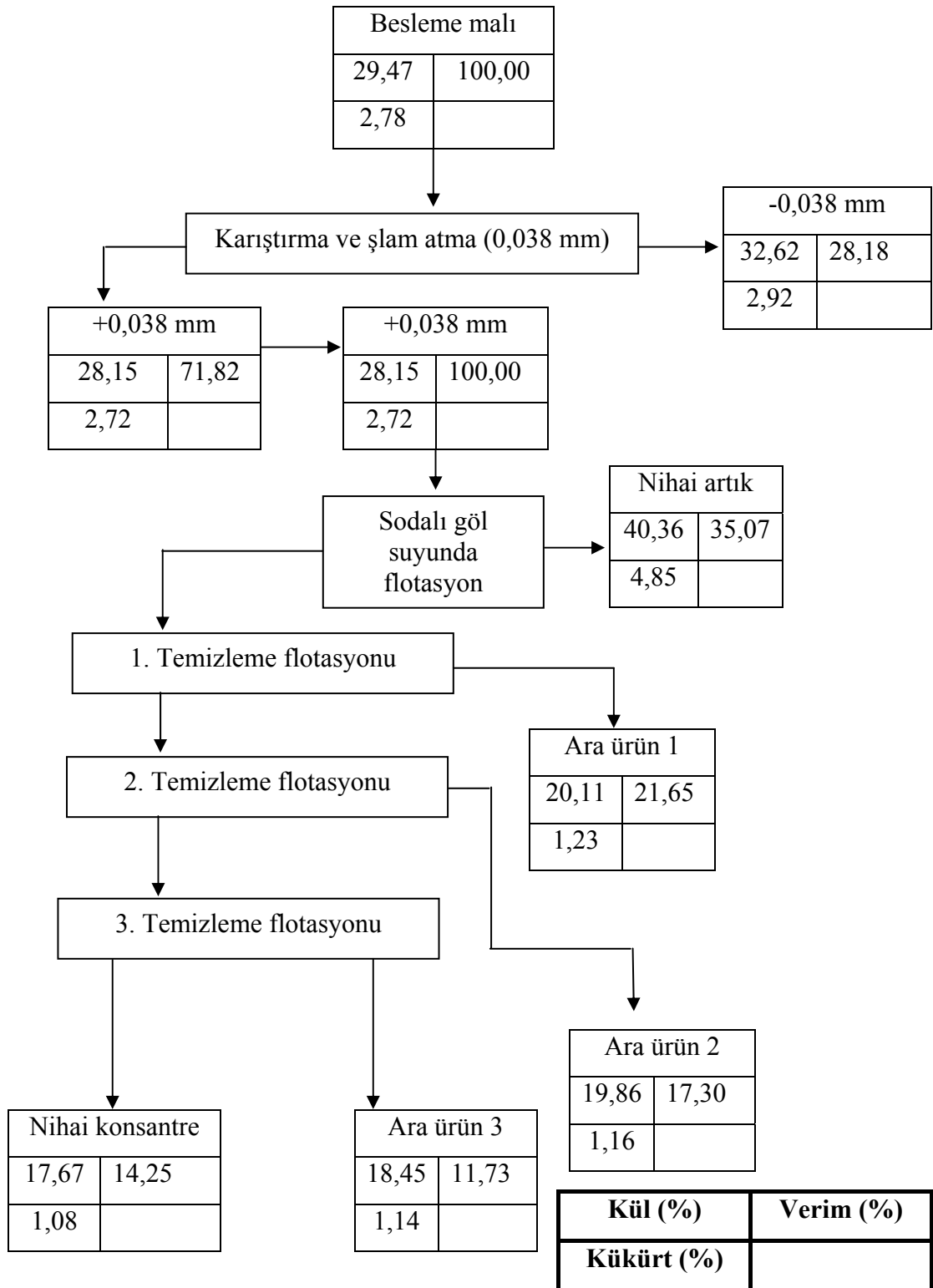
Çeşme suyunda şlam uzaklaştırılmadan yapılan flotasyon deney sonucunda elde edilen konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 4167 kcal/kg'dır. Çeşme suyunda şlam uzaklaştırılarak yapılan flotasyon deney sonucunda elde edilen konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 5040 kcal/kg'dır. %15,04 kül, %1,19 toplam kükürt ve kuru bazda 5040 kcal/kg alt ısı değerine sahip konsantre termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde, çimento sanayinde, şeker sanayinde ve tuğla sanayinde kullanılabilir. Ancak üç aşamalı flotasyon deneyi sonucunda konsantrenin yanabilir verim değeri (%27,59) çok düşüktür. Linyitin doğal hidrofilik yapısından dolayı linyitin yüzdürülmesi için yüksek miktarlarda toplayıcı (3 kg/ton %80 Mazot + %20 Fuel oil) ve köpürtücü (0,5 kg/ton MIBC) kullanılması gerekmektedir. Flotasyon yöntemi Adıyaman-Gölbaşı linyitinin değerlendirilmesi açısından ekonomik bir yöntem değildir.



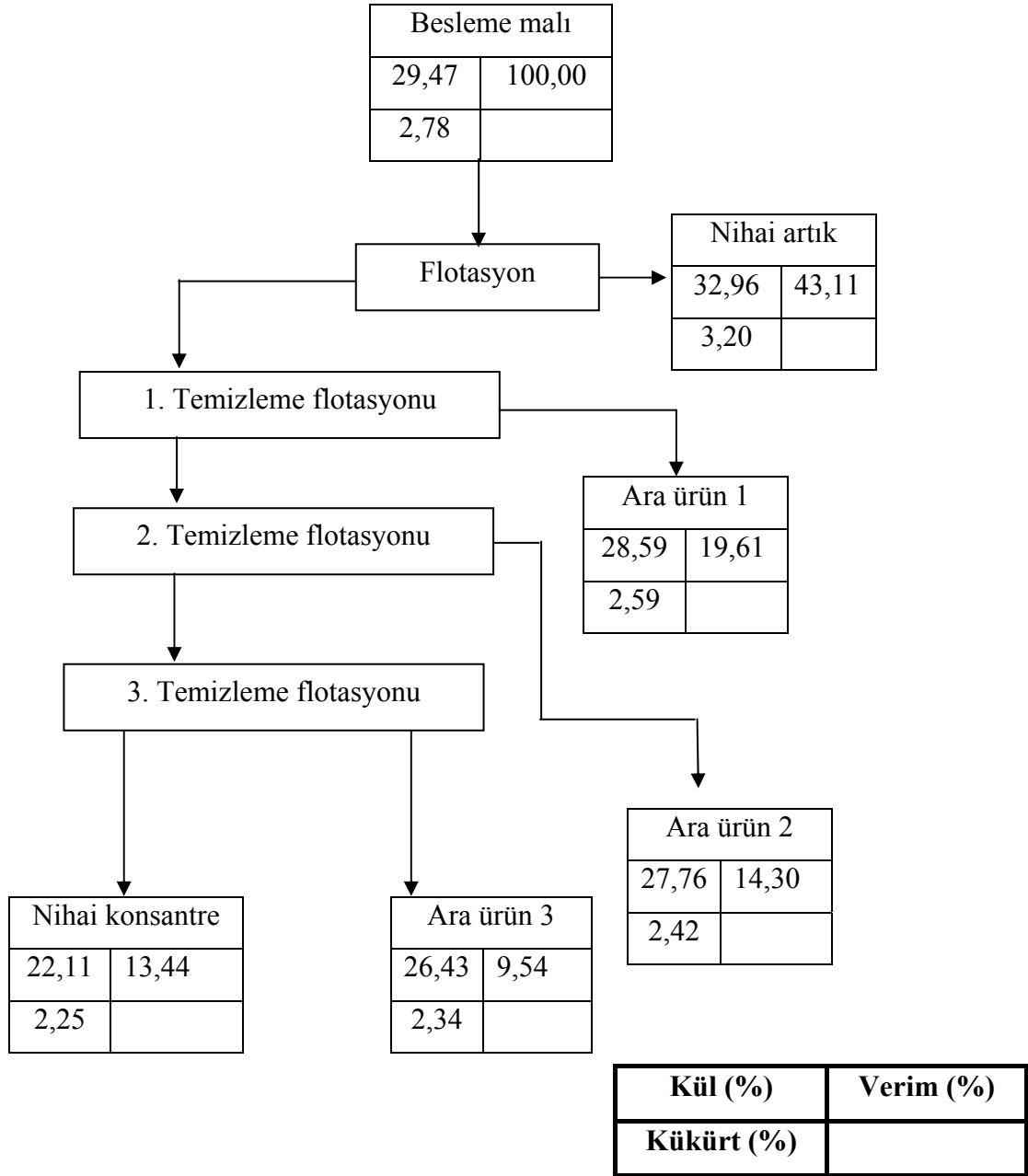
Şekil 8.21. Çeşme suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin flotasyon akım şeması ve malzeme dengesi



Şekil 8.22. Ege denizi suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin flotasyon akım şeması ve malzeme dengesi



Şekil 8.23. Sodali göl suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin flotasyon akım şeması ve malzeme dengesi



Şekil 8.24. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin karıştırma ve şlam atma işlemi yapılmadan yapılan flotasyon akım şeması ve malzeme dengesi

8.5 Aglomerasyon

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin kül ve kükürt içeriklerinin azaltılması amacı ile öncelikle optimum karıştırma ve şlam atma koşulları kullanılarak linyit numunesinden şlam uzaklaştırıldıktan sonra aglomerasyon yöntemi kullanılmıştır. Aglomerasyon deneylerinde kullanılan linyit numunesi %28,15 kül ve %2,72 toplam kükürt içermektedir. pH'nın, katı oranının, bağlayıcı türü ve miktarının ve elek boyutunun aglomerasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

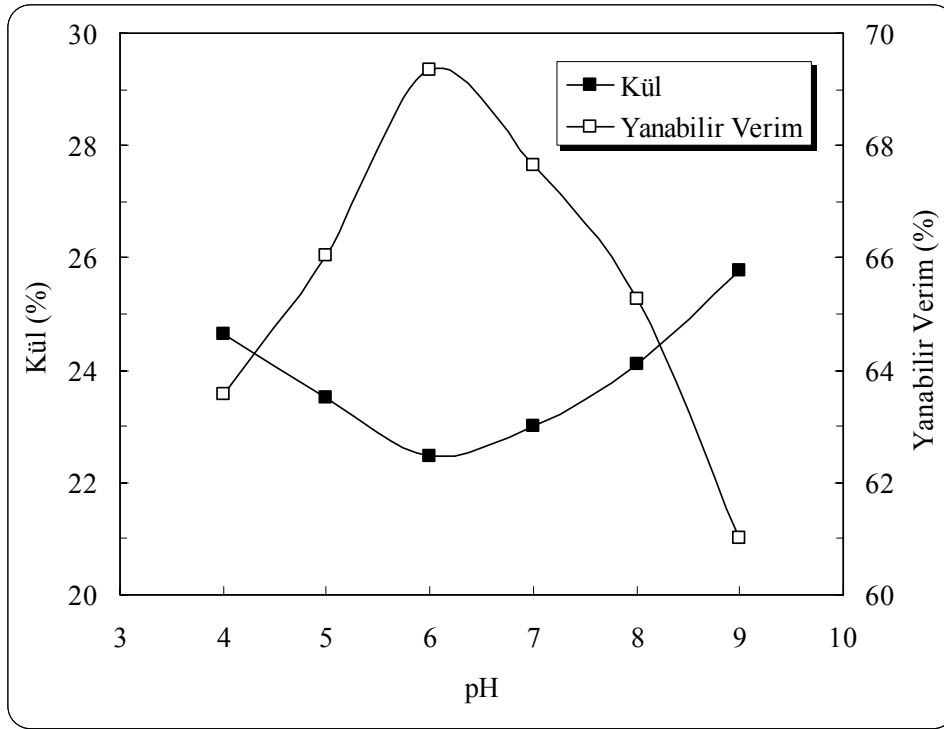
Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, aglomerasyon işleminden sonra 0,106 mm'lik elekte eleme yaptıktan sonra elek üstünde kalan aglomeratların kül ve toplam kükürt içeriğine göre yapılmıştır. Şekil verileri Ek Açıklamalar-G'de verilmiştir.

Aglomerasyon deneylerinin başlangıç koşulları şu şekildedir:

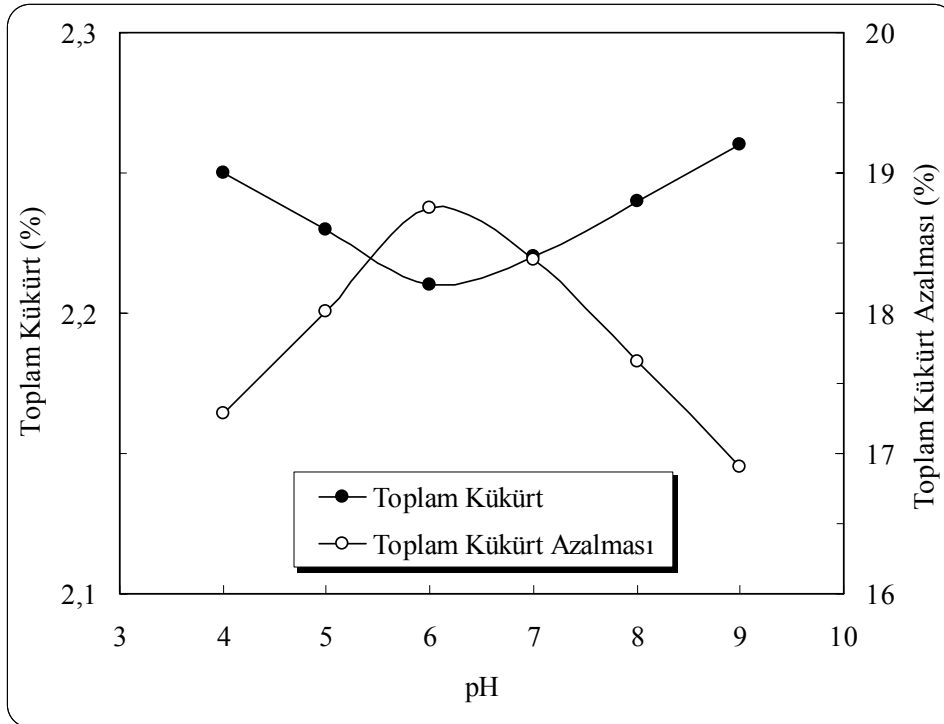
Katı oranı	: %5
Bağlayıcı	: Gazyağı
Bağlayıcı oranı	: %10
Başlangıç koşullandırma süresi	: 15 dakika
Bağlayıcı ilavesinden sonra koşullandırma	: 10 dakika
Eleme	: 0,106 mm

8.5.1 pH'nın etkisi

En uygun pH değerinin belirlenmesi için pH 4-9 arasında aglomerasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.25 ve Şekil 8.26'da verilmiştir.



Şekil 8.25. pH'nın kül içeriği ve yanabilir verim üzerine etkisi



Şekil 8.26. pH'nın toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi

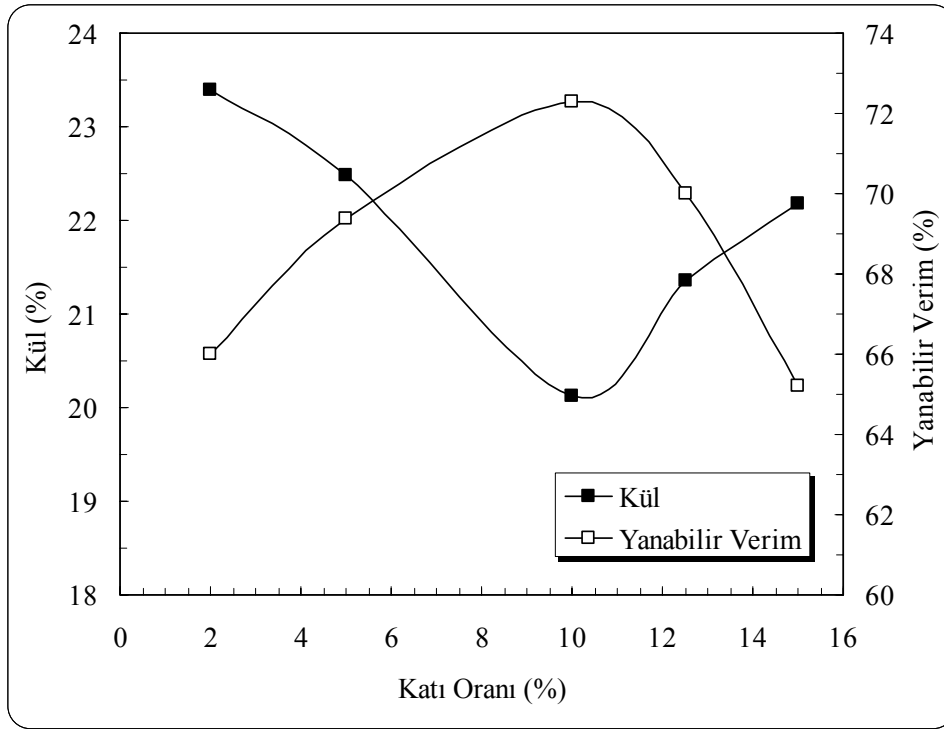
Şekil 8.25 ve Şekil 8.26’da görüldüğü gibi toplam kükürt azalması ve kül içeriği açısından en iyi pH değeri pH 6 olarak seçilmiştir. pH 6’da, %22,48 küllü konsantre %69,36 yanabilir verimle kazanılmış olup konsantredeki toplam kükürt oranı %2,21 ve toplam kükürt azalması %18,75 şeklindedir.

Linyitler yüksek orandaki fonksiyonel gruplardan dolayı yüksek hidrofilik özellikler taşımaktadırlar (Pawlak et al., 1986; Aplan, 1993). Düşük sınıflı ve oksitlenmiş kömürler aglomerasyon yöntemine zayıf şekilde cevap vermektedirler (Laskowski and Yu, 2000). Antrasitler ve bitümlü kömürler, linyitlerden daha iyi şekilde aglomere olmaktadır. Ayrıca nem içeriği, porozite ve bileşimsel parametreler (karbon içeriği, hidrojen içeriği, oksijen içeriği, hidrojen/karbonun atomik oranı, oksijen/karbonun atomik oranı) aglomerasyona tepkisini etkileyen faktörler arasındadırlar. Kömürün nem içeriği, bileşimsel parametrelerden daha çok aglomerasyon tepkisi ile yakın şekilde ilişkilidir. Yağ bir film oluşturmak için yüzey üzerinde yayılma yerine kömür gözeneklerinin içine absorbe olur ve bu durum bağlayıcı gücünün azalmasına sebep olur (Wu, et al., 2005). Bu çalışmada, Şekil 8.25’de görüldüğü gibi Adıyaman-Gölbaşı linyiti incelenen tüm pH aralıklarında iyi bir şekilde aglomere olmamıştır. En yüksek miktarda konsantrenin elde edildiği pH değeri pH 6 olup, konsantre miktarı %64,29’dur.

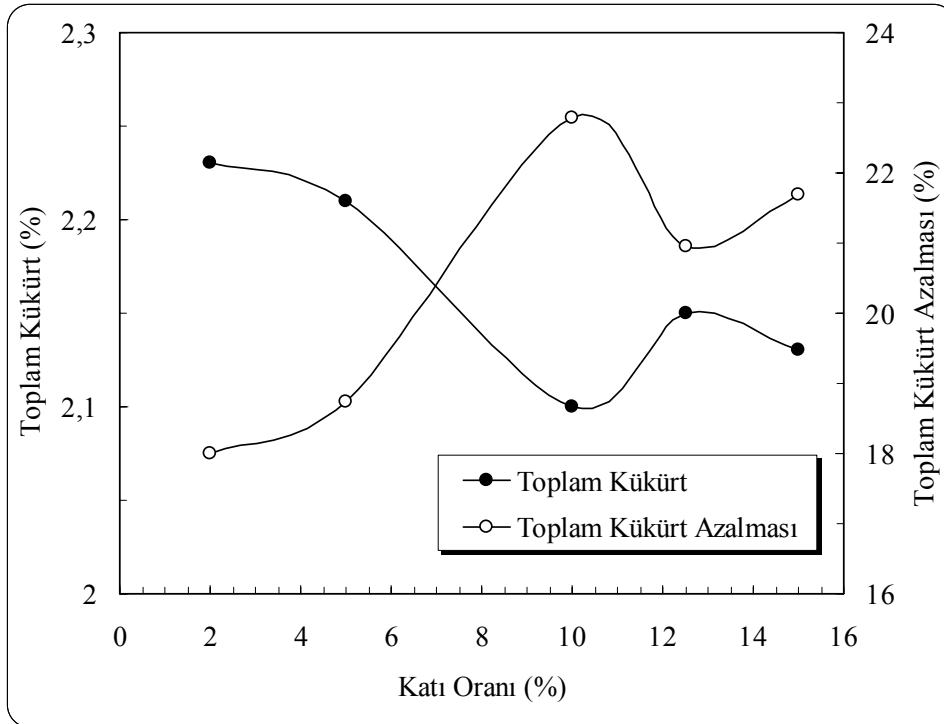
8.5.2 Katı oranının etkisi

En uygun katı oranının belirlenmesi için farklı katı oranlarında aglomerasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.27 ve Şekil 8.28’de verilmiştir.

Şekil 8.27 ve Şekil 8.28’de görüldüğü gibi, toplam kükürt azalması ve kül içeriği açısından en iyi sonuç %10 katı oranında elde edilmiştir. %10 katı oranında konsantrenin kül içeriği %20,13, toplam kükürt içeriği %2,10 ve toplam kükürt azalması %22,79 şeklindedir.



Şekil 8.27. Katı oranının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi (pH: 6)



Şekil 8.28. Katı oranının toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi (pH 6)

8.5.3 Bağlayıcı türünün etkisi

Farklı bağlayıcı türlerinin aglomerasyon üzerindeki etkisini araştırmak üzere deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 8.14’de verilmiştir.

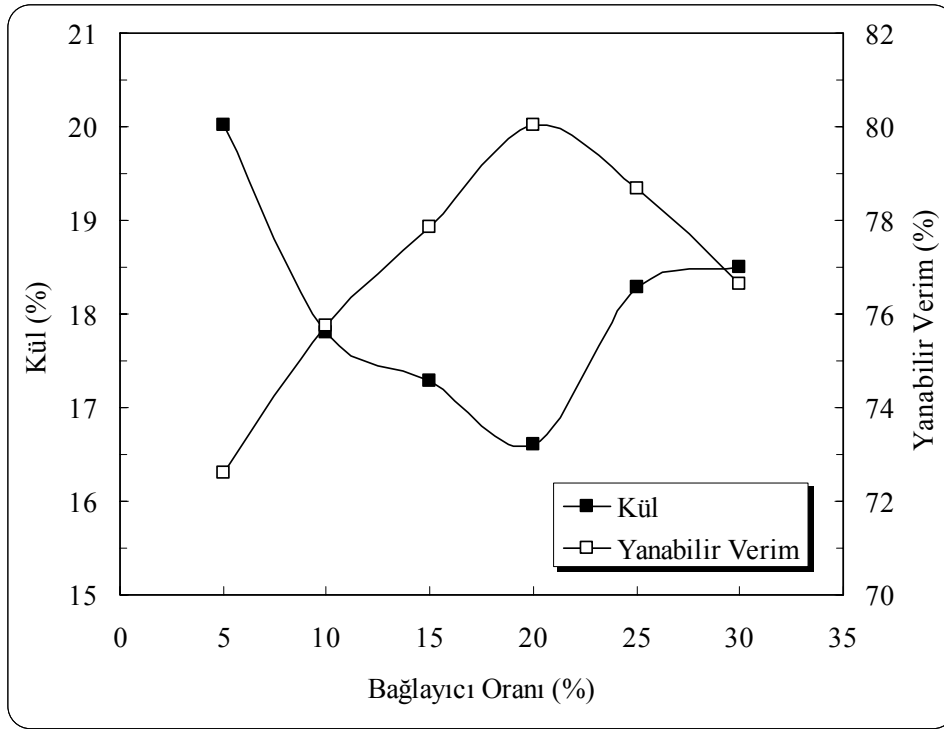
Çizelge 8.14. Bağlayıcı türünün aglomerasyon üzerindeki etkisi

Tür	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam күкүрт azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Gazyağı	65,05	20,13	2,10	22,79	72,31
Mazot	64,95	20,06	1,85	31,99	72,26
%50 Mazot + %50 Fuel oil	66,20	17,80	1,47	45,96	75,74
Ayçiçek yağı	64,41	19,26	2,33	14,34	72,38
Mısır yağı	65,26	18,20	2,37	12,87	74,30
%50 Mazot + %50 Orfom	63,49	20,10	2,01	26,10	70,60
%50 Mazot + %50 Moly	65,05	20,06	2,15	20,96	72,37
%50 Mazot + %50 Phil Flo.	62,31	18,97	2,32	14,71	70,27
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

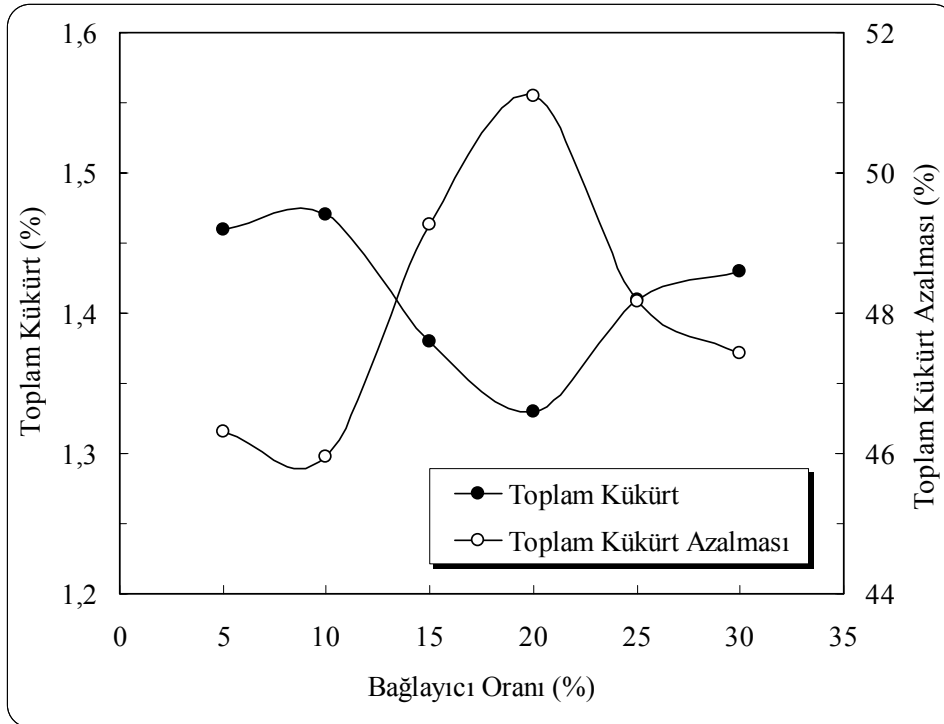
Çizelge 8.14’de görüldüğü gibi, kül içeriği ve toplam күкүрт azalması açısından en iyi bağlayıcı türü olarak %50 Mazot + %50 Fuel oil seçilmiştir. %50 Mazot + %50 Fuel oil kullanıldığı zaman %17,80 küllü konsantre %75,74 yanabilir verim ile kazanılmış olup toplam күкүрт içeriği %1,47 şeklindedir. Test edilen ayçiçek yağı ve mısır yağı diğer bağlayıcı sıvılara göre daha yüksek miktarda күкүрт taşıyan mineralleri aglomere ettiklerinden dolayı konsantrelerin күкүрт oranları yüksek çıkmıştır.

8.5.4 Bağlayıcı oranının etkisi

Farklı oranlarda %50 Mazot + %50 Fuel oil kullanılarak bağlayıcı oranının aglomerasyon üzerindeki etkisini araştırmak üzere deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 8.29 ve Şekil 8.30’da verilmiştir.



Şekil 8.29. Bağlayıcı oranının kül ve yanabilir verim üzerine etkisi



Şekil 8.30. Bağlayıcı oranının toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi

Şekil 8.29 ve Şekil 8.30’da görüldüğü gibi, kül ve toplam kükürt içeriği açısından en iyi sonuç %20 bağlayıcı oranında elde edilmiştir. %20 bağlayıcı oranının kullanımında %16,60 küllü konsantre %1,33 toplam kükürt içeriği ve %80,03 yanabilir verimle elde edilmiştir. Yüksek miktarlarda bağlayıcı kullanımı aglomerat miktarını artırarak, kül yapıcı minerallerinde aglomerasyonuna neden olmuştur.

8.5.5 Elek boyutunun etkisi

Elek boyutunun aglomerasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca konsantre flotasyon yöntemi ile elde edilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 8.15’de verilmiştir.

Çizelge 8.15 . Elek boyutunun aglomerasyon üzerindeki etkisi

Yöntem	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
0,075 mm	70,20	18,77	1,47	45,96	79,36
0,106 mm	68,95	16,60	1,33	51,10	80,03
0,125 mm	66,88	19,03	1,41	48,16	75,37
Flotasyon	40,43	23,87	1,85	31,99	42,84
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge 8.15’de görüldüğü gibi, aglomerasyonda kullanılan elek boyutu büyüdükçe elde edilen konsantre miktarı azalmaktadır. Kül ve toplam kükürt içeriği açısından en iyi sonuç 0,106 mm’lik elek kullanıldığı zaman elde edilmiştir. 0,106 mm’lik elek kullanıldığında %16,60 küllü konsantre, %1,33 toplam kükürt ve %80,03 yanabilir verim ile kazanılmıştır. Aglomeratlar flotasyon yöntemi ile kazanıldığında konsantrenin miktarı ve yanabilir verim oldukça düşük seviyelerdedir.

Hem kömür hem de kömür piriti olefilik olmaya eğimli oldukları için özellikle bu malzemeler arasında olefilik özelliklerindeki farklılık küçük olduğu zaman bu malzemelerin aglomerasyon yöntemi ile ayrılmaları güç olabilmektedir. Düşük sınıflı ve oksitlenmiş kömür durumunda veya piritin olefilikliği yüksek olması durumunda, bu

malzemelerin olefilik özelliklerindeki farklılık küçük olmaktadır (Drzymala and Wheelock, 1993). Bu çalışmada, aglomerasyon yöntemi, kömür ve kükürt taşıyan minerallerin ayırımını iyi bir şekilde sağlayamadığı için elde edilen konsantrenin toplam kükürt içeriği %1,33 şeklinde olup, toplam kükürtün %51,10'u uzaklaştırılmıştır.

Adıyaman-Gölbaşı linyiti için optimum aglomerasyon koşulları şu şekildedir:

pH	: 6
Katı oranı	: %10
Başlangıç koşullandırma süresi	: 15 dakika
Bağlayıcı ilavesi sonrası koşullandırma	: 10 dakika
Bağlayıcı oranı	: %20
Bağlayıcı	: %50 Mazot + %50 fuel oil
Eleme	: 0,106 mm

8.5.6 Sodalı Göl suyu ve deniz suyunun etkisi

Sodalı göl suyu, Karadeniz suyu, Akdeniz suyu ve Ege deniz suyu kullanarak, optimum aglomerasyon koşullarında aglomerasyon deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 8.16'da verilmiştir.

Çizelge 8.16. Sodalı göl suyu ve deniz suyunun aglomerasyon üzerindeki etkisi

Aglomerasyon ortamı	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Sodalı göl suyu	67	18,25	1,20	55,88	76,23
Karadeniz suyu	66,11	17,81	1,22	55,15	75,62
Akdeniz suyu	66,07	17,23	1,13	58,46	76,11
Ege denizi suyu	66,55	17,96	1,17	56,99	75,99
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge 8.16'da görüldüğü gibi, kül ve toplam kükürt içeriği açısından en iyi sonuç Akdeniz suyu kullanımında elde edilmiştir. Akdeniz suyu kullanımında %17,23 küllü konsantre, %1,13 toplam kükürt ve %76,11 yanabilir verim ile kazanılmıştır.

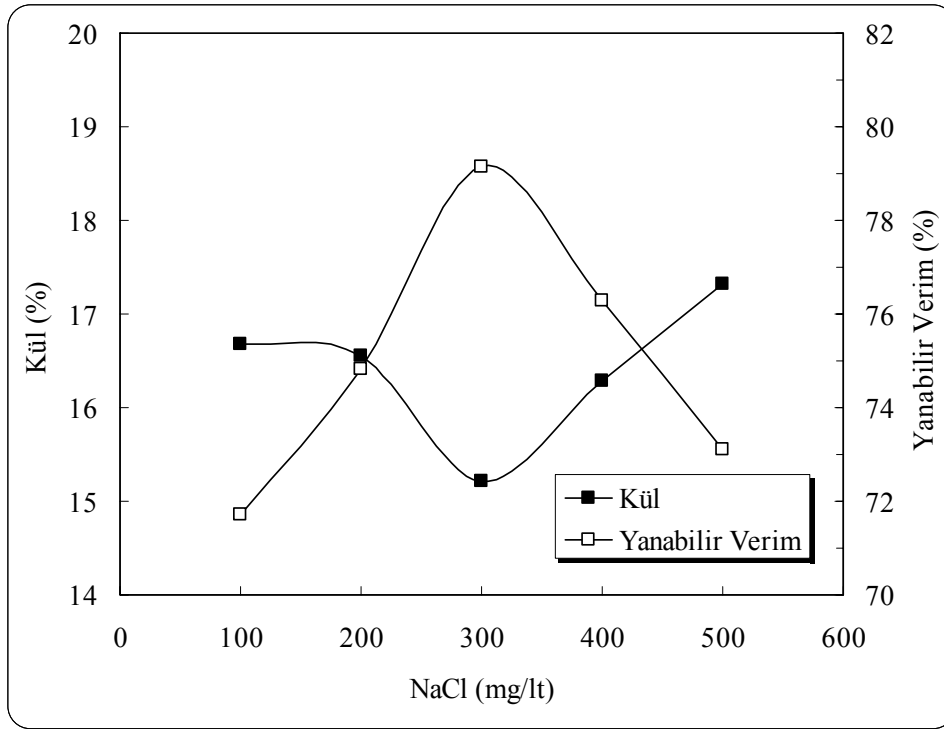
8.5.7 Farklı tuzların etkisi

Üç farklı tuzun (NaCl , MgCl_2 ve FeCl_3) aglomerasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. NaCl , MgCl_2 ve FeCl_3 farklı miktarlarda kullanılarak optimum aglomerasyon koşullarında aglomerasyon deneyleri yapılmıştır. NaCl 'ün, MgCl_2 'ün ve FeCl_3 'ün aglomerasyon üzerindeki etkisi Şekil 8.31-8.36'da verilmiştir.

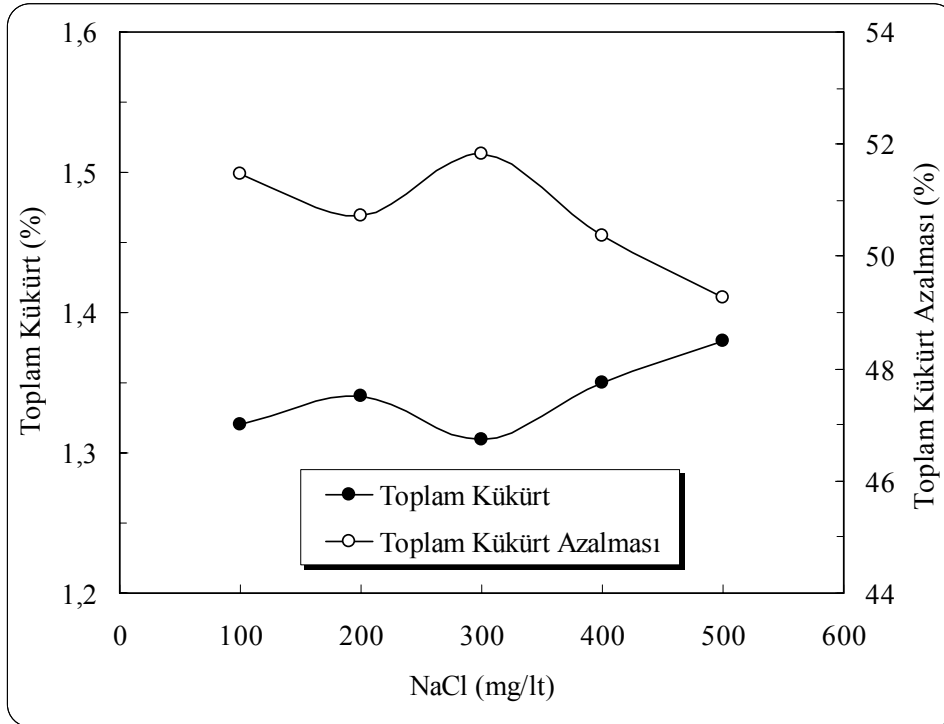
Şekil 8.31 ve Şekil 8.32'de görüldüğü gibi, kül ve toplam kükürt içeriği açısından en iyi sonuç 300 mg/lt NaCl miktarında elde edilmiştir. 300 mg/lt NaCl kullanımında %15,21 küllü konsantre %1,31 toplam kükürt içeriği ve %79,15 yanabilir verim ile kazanılmıştır.

Şekil 8.33 ve Şekil 8.34'de görüldüğü gibi, kül ve toplam kükürt içeriği açısından en iyi sonuç 200 mg/lt MgCl_2 miktarında elde edilmiştir. 200 mg/lt MgCl_2 kullanımında %15,44 küllü konsantre %1,27 toplam kükürt içeriği ve %80 yanabilir verim ile kazanılmıştır.

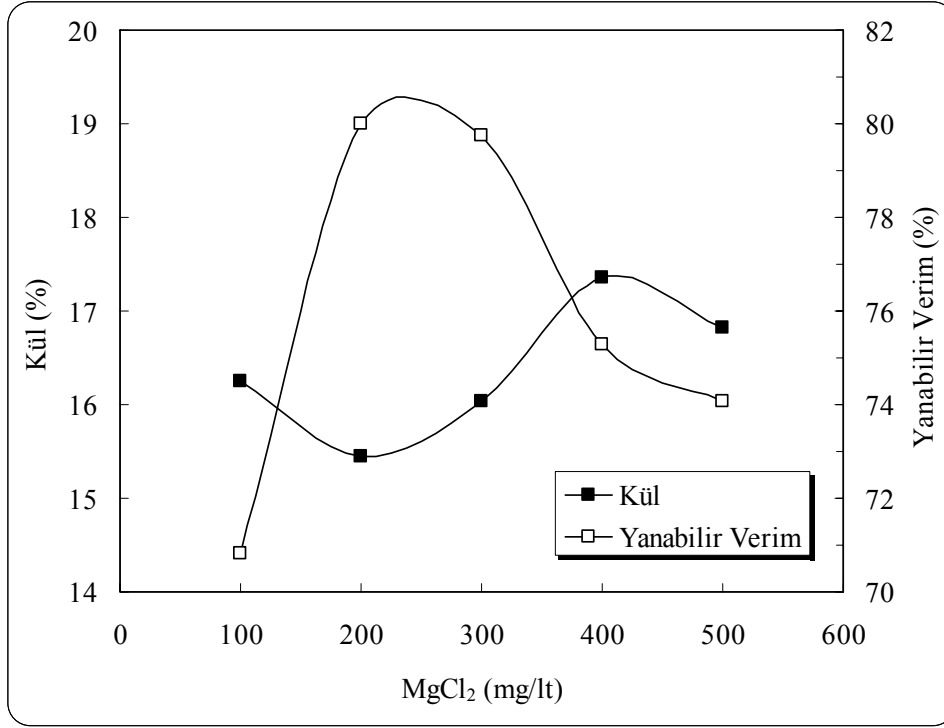
Şekil 8.35 ve Şekil 8.36'da görüldüğü gibi, kül ve toplam kükürt içeriği açısından en iyi sonuç 200 mg/lt FeCl_3 miktarında elde edilmiştir. 200 mg/lt FeCl_3 kullanımında %14,89 küllü konsantre %1,45 toplam kükürt içeriği ve %80,38 yanabilir verim ile kazanılmıştır.



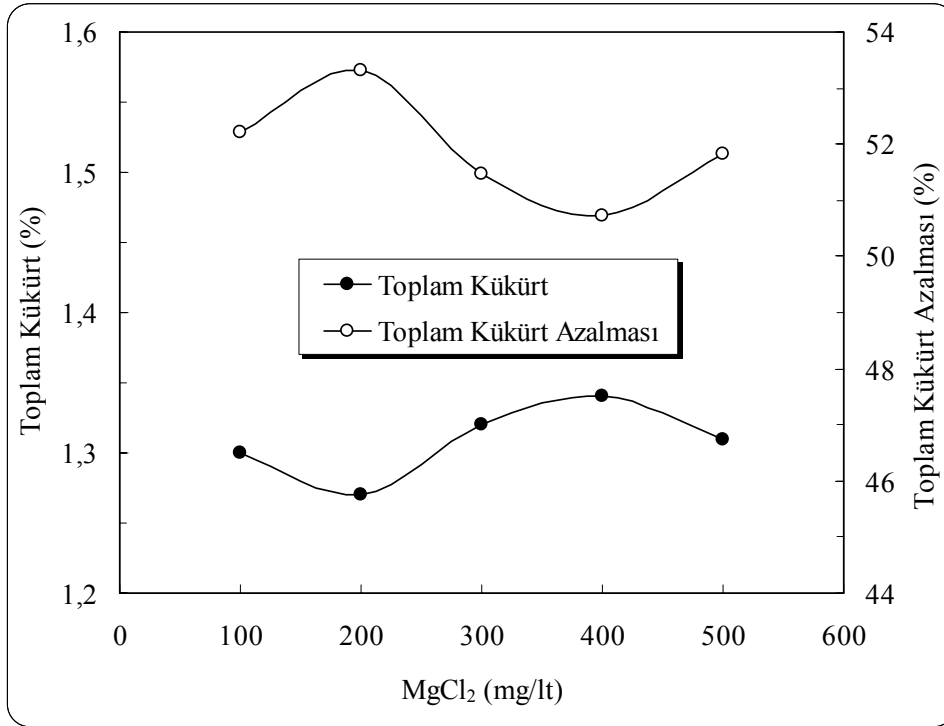
Şekil 8.31. NaCl'ün kül ve yanabilir verimi üzerine etkisi



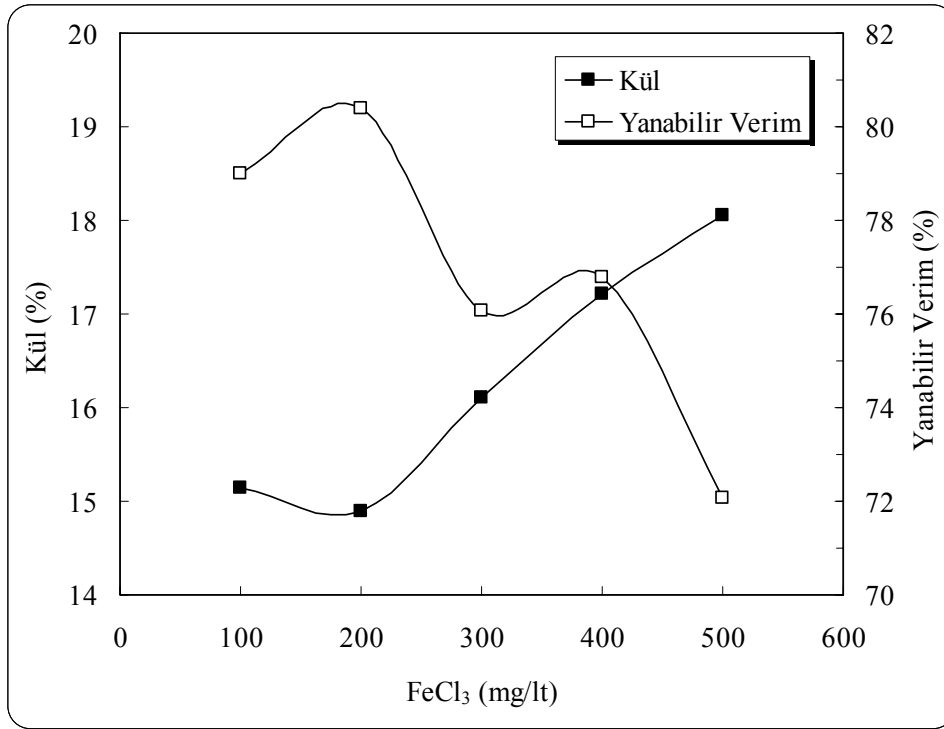
Şekil 8.32. NaCl'ün toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi



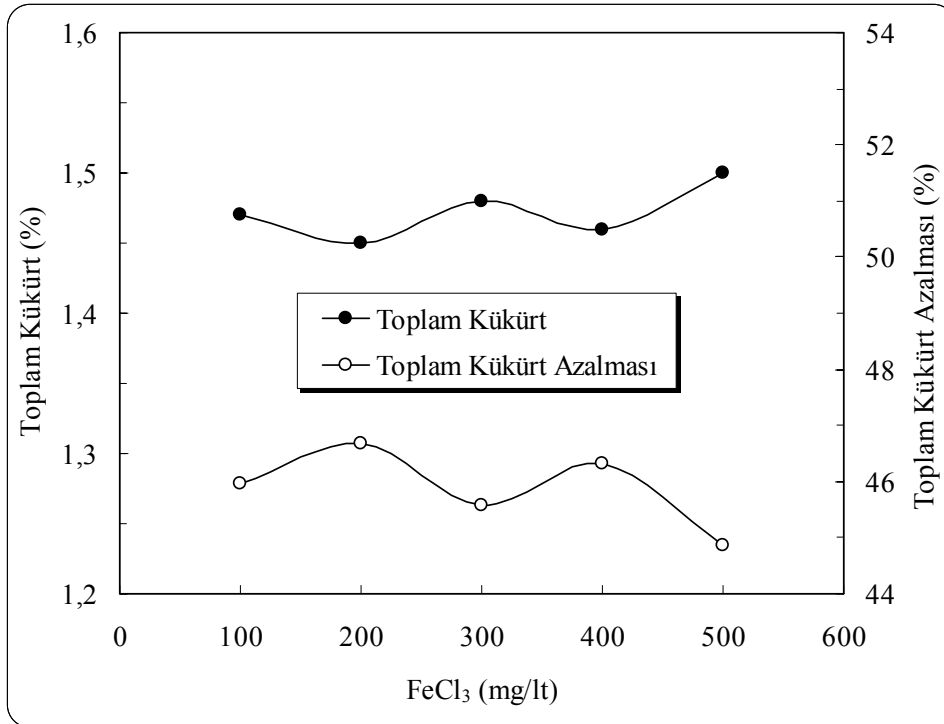
Şekil 8.33. MgCl₂'ün kül ve yanabilir verim üzerine etkisi



Şekil 8.34. MgCl₂'ün toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi



Şekil 8.35. FeCl₃'ün kül ve yanabilir verimi üzerine etkisi



Şekil 8.36. FeCl₃'ün toplam kükürt ve toplam kükürt azalması üzerine etkisi

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin çeşme suyunda, Ege denizi suyunda, Sodalı Göl suyunda, Karadeniz suyunda, Akdeniz suyunda, NaCl, MgCl₂, FeCl₃ ortamlarında yapılan aglomerasyon deneylerinin akım şemaları ve malzeme dengesi Şekil 8.37, Şekil 8.38, Şekil 8.39, Şekil 8.40, Şekil 8.41, Şekil 8.42, Şekil 8.43 ve Şekil 8.44’de verilmiştir.

8.5.8 Şlam Uzaklaştırılmadan Yapılan Aglomerasyon

Karıştırma ve şlam atma işlemi yapılmadan Adıyaman-Gölbaşı linyitinin optimum aglomerasyon koşulları kullanılarak aglomerasyonu yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 8.17’de verilmiştir.

Aglomerasyon deney koşulları şu şekildedir:

pH	: 6
Katı oranı	: %10
Başlangıç koşullandırma süresi	: 15 dakika
Bağlayıcı ilavesi sonrası koşullandırma	: 10 dakika
Bağlayıcı oranı	: %20
Bağlayıcı	: %50 Mazot + %50 fuel oil
Eleme	: 0,106 mm

Çizelge 8.17. Karıştırma ve şlam atma işlemi yapılmadan Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyonu

Ürünler	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam Kükürt (%)	Yanabilir verim (%)
Konsantre	47,71	27,48	2,62	49,06
Artık	52,29	31,29	2,93	50,94
Toplam	100,00	29,47	2,78	100,00

Çizelge 8.17’de görüldüğü gibi şlam uzaklaştırılmadan yapılan aglomerasyon deneyi sonucunda %27,48 küllü konsantre %2,62 toplam kükürt içeriği ve %49,06 yanabilir verimle elde edilmiştir. Karıştırma ve şlam atma işlemi yapılmadan

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin optimum aglomerasyon koşulları kullanılarak yapılan aglomerasyonun deney akım şeması ve malzeme balansı Şekil 8.45’de verilmiştir.

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin farklı su ortamlarında yapılan aglomerasyon çalışmalarının toplu sonuçları Çizelge 8.18’de verilmiştir.

Çizelge 8.18. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin farklı su ortamlarında yapılan aglomerasyon çalışmalarının toplu sonuçları

Aglomerasyon ortamı	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Çeşme suyunda (şlam uzaklaştırılmış)	68,95	16,60	1,33	51,10	80,03
Çeşme suyunda (şlam uzaklaştırılmamış)	47,71	27,48	2,62	5,76	49,06
300 mg/lit NaCl ortamında	67,07	15,21	1,31	51,84	79,15
200 mg/lit MgCl ₂ ortamında	67,98	15,44	1,27	53,31	80,00
200 mg/lit FeCl ₃ ortamında	67,86	14,89	1,45	46,69	80,38
Sodalı göl suyu	67	18,25	1,20	55,88	76,23
Karadeniz suyu	66,11	17,81	1,22	55,15	75,62
Akdeniz suyu	66,07	17,23	1,13	58,46	76,11
Ege denizi suyu	66,55	17,96	1,17	56,99	75,99

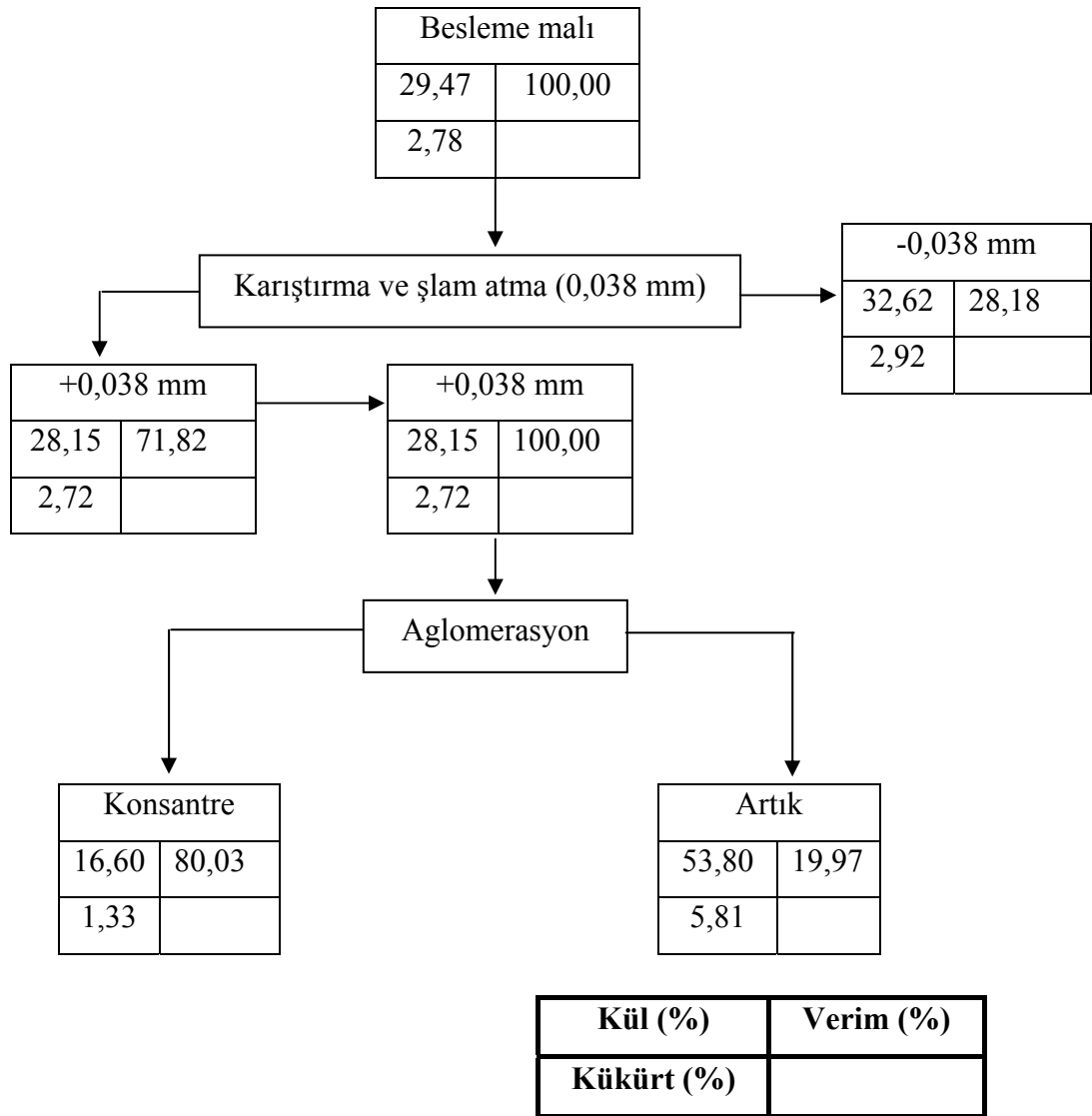
Çizelge 8.18’de görüldüğü gibi göl suyu ve deniz sularında elde edilen sonuçlar, çeşme suyunda şlam uzaklaştırıldıktan sonra yapılan aglomerasyon deney sonucu ile karşılaştırıldığında, çeşme suyunda şlam uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen konsantrenin kül içeriği daha düşük ve konsantrenin miktarı daha yüksektir. Toplam kükürt içeriği açısından göl suyu ve deniz suyunun kullanımı, toplam kükürt değeri daha düşük olan konsantreler elde edilmiştir. Aglomerasyon ortamında deniz suları ve göl suyunun kullanımı, hidrofilik linyit taneleri üzerinde hidratlanmış katyonların adsorpsiyonundan dolayı elde edilen yanabilir verim çeşme suyunda şlam uzaklaştırıldıktan sonra yapılan aglomerasyonda elde edilen yanabilir verim değerinden

düşük olarak elde edilmiştir. Deniz sularında elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında kül içeriği ve toplam kükürt içeriği açısından şu sıralama yapılabilir: Karadeniz > Ege denizi > Akdeniz.

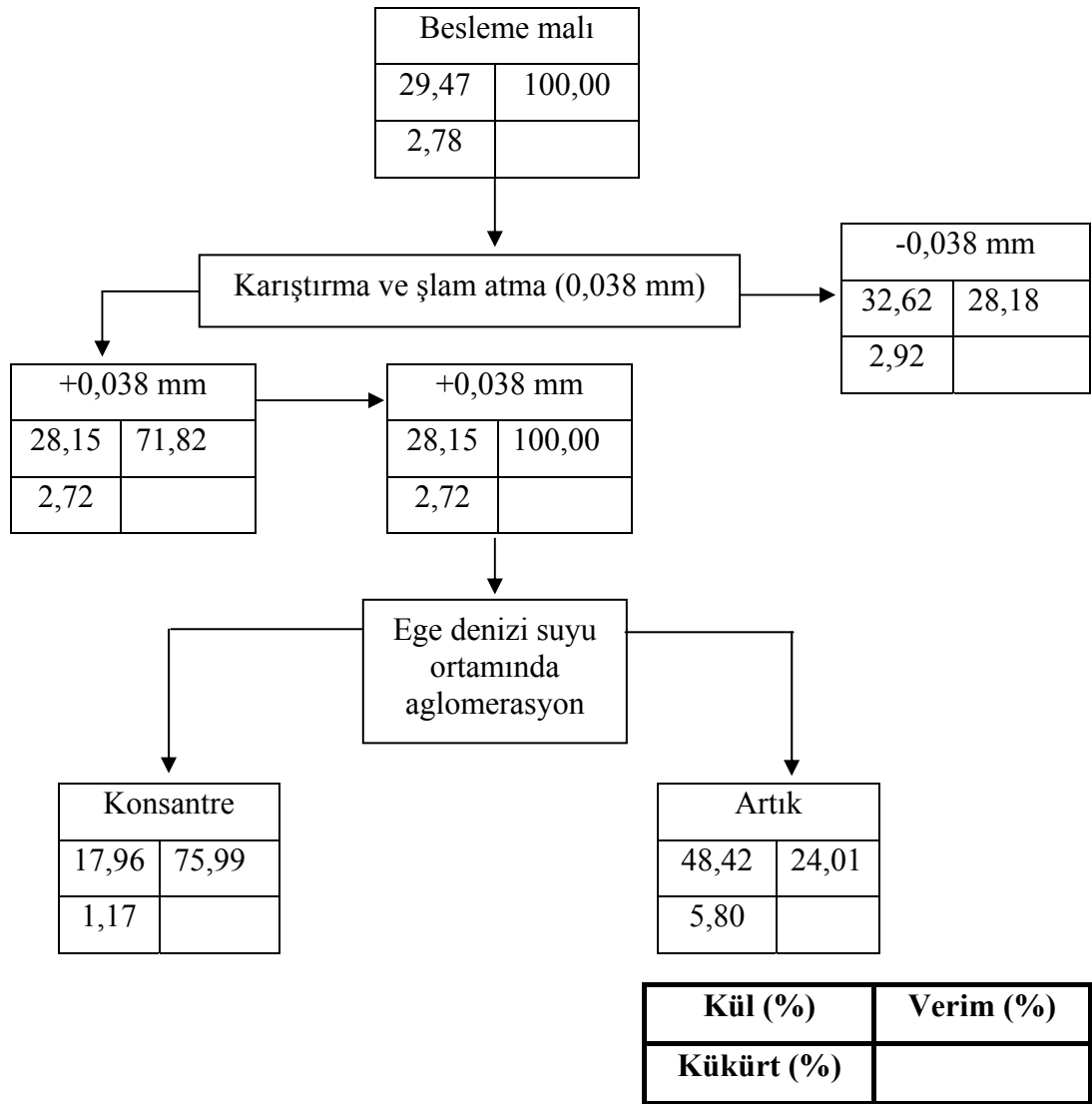
Üç farklı tuz ortamında elde edilen sonuçlar, çeşme suyunda şlam uzaklaştırıldıktan sonra yapılan aglomerasyon deney sonucu ile karşılaştırıldığında, aglomerasyon ortamında tuzun kullanımı, çeşme suyuna göre daha düşük kül içerikli konsantrelerin kazanımı sağlamıştır.

Çeşme suyunda, şlam uzaklaştırılarak ve şlam uzaklaştırılmadan yapılan aglomerasyon deney sonuçları karşılaştırıldığında aglomerasyondan önce şlamın uzaklaştırılması linyit yüzeyinde mikron mertebesinde bulunan kilin uzaklaştırılması ve suda çok az çözünen minerallerin linyit numunesinden uzaklaştırılarak aglomerasyon üzerindeki etkisinin ortadan kaldırılması açısından aglomerasyon sonuçları üzerinde olumlu bir etki yapmıştır. Şlamın uzaklaştırılması kül ve toplam kükürt içeriği daha düşük olan konsantrenin elde edilmesini sağlamıştır.

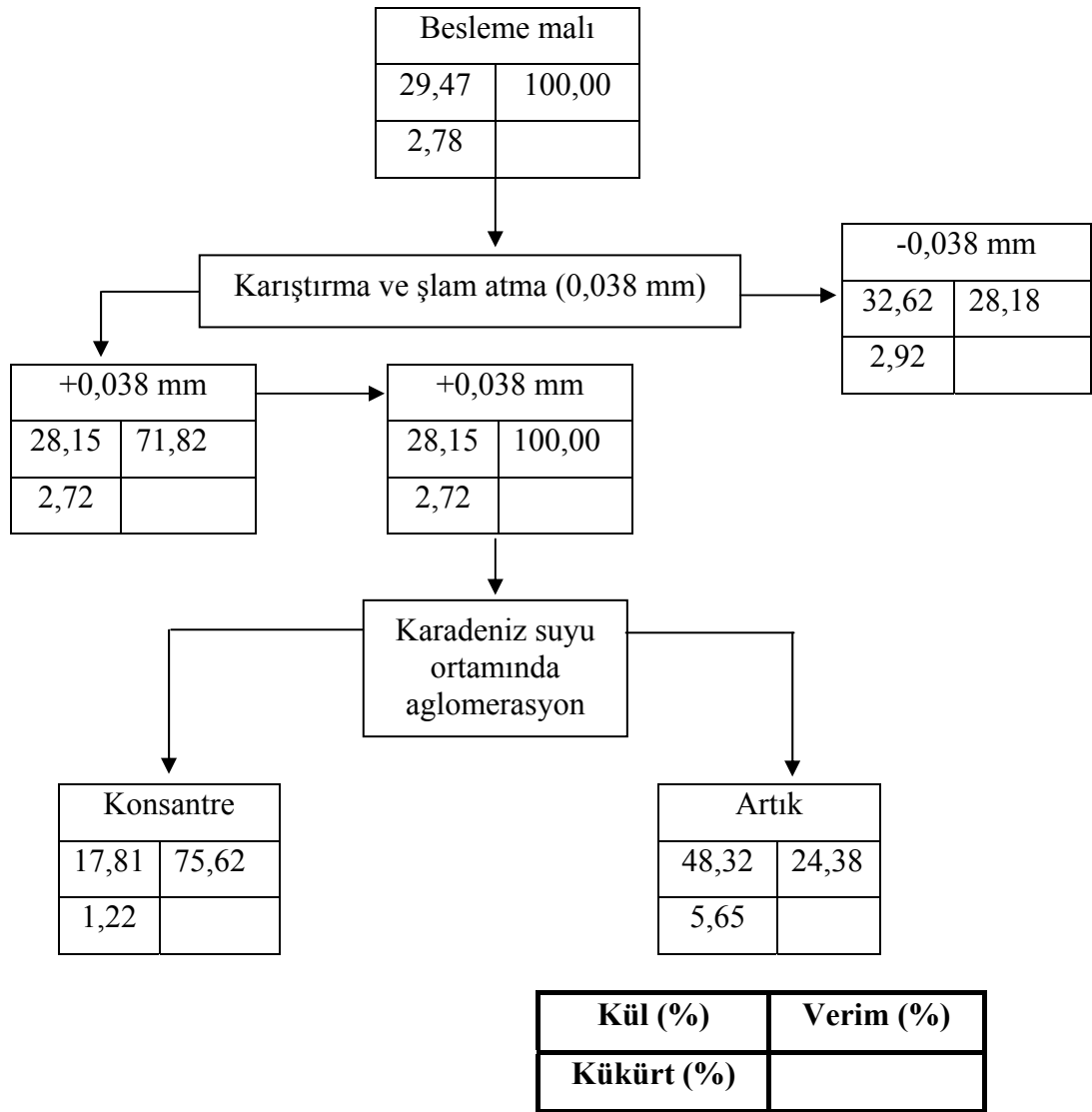
Çeşme suyunda şlam uzaklaştırılmadan yapılan aglomerasyon deney sonucunda elde edilen konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 4073 kcal/kg'dır. Çeşme suyunda şlam uzaklaştırılarak yapılan aglomerasyon deney sonucunda elde edilen konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 5035 kcal/kg'dır. %16,60 kül, %1,33 toplam kükürt ve kuru bazda 5035 kcal/kg alt ısı değerine sahip konsantre termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde, çimento sanayinde ve tuğla sanayinde kullanılabilir.



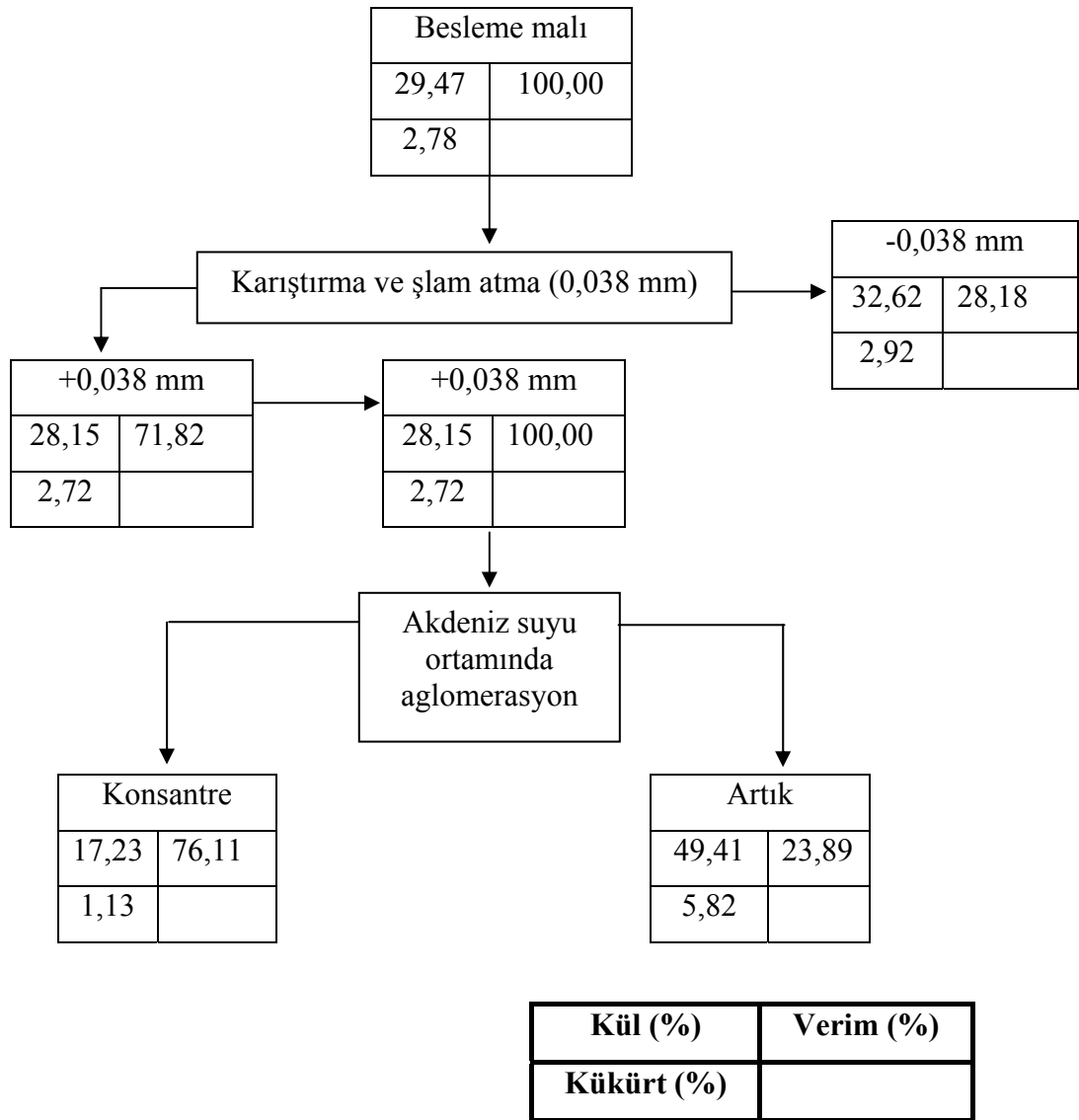
Şekil 8.37. Çeşme suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi



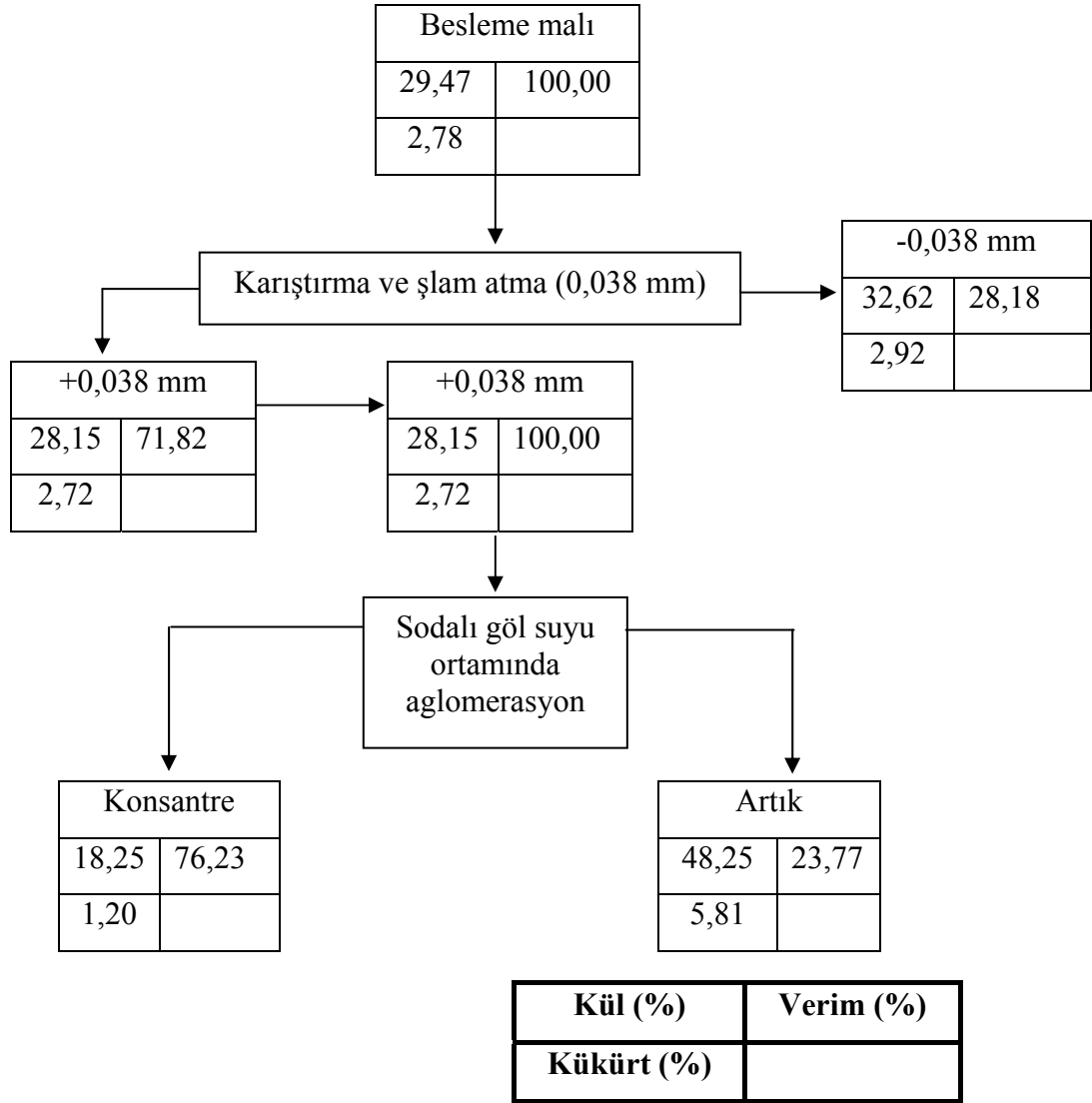
Şekil 8.38. Ege denizi suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi



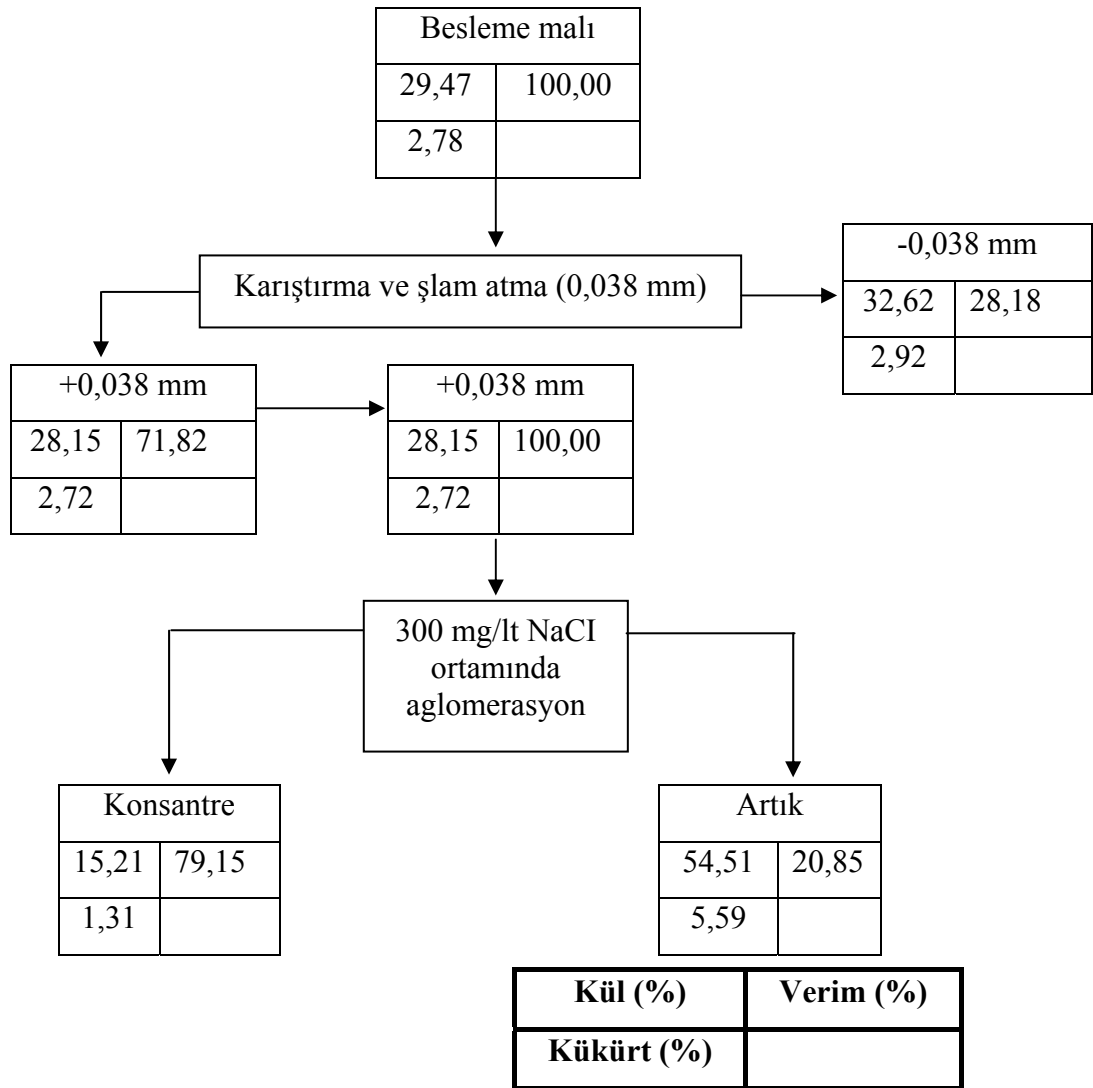
Şekil 8.39. Karadeniz suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi



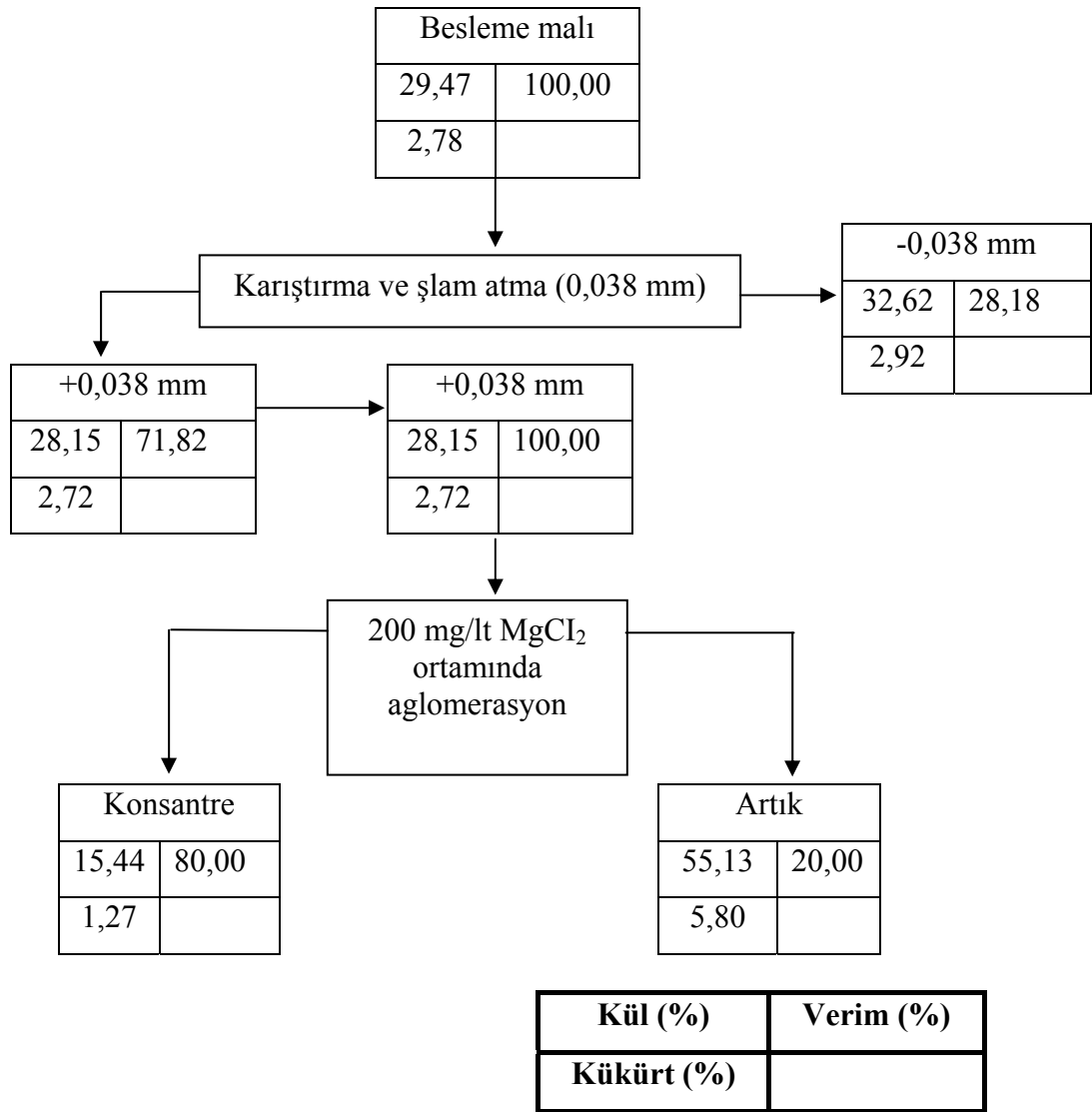
Şekil 8.40. Akdeniz suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi



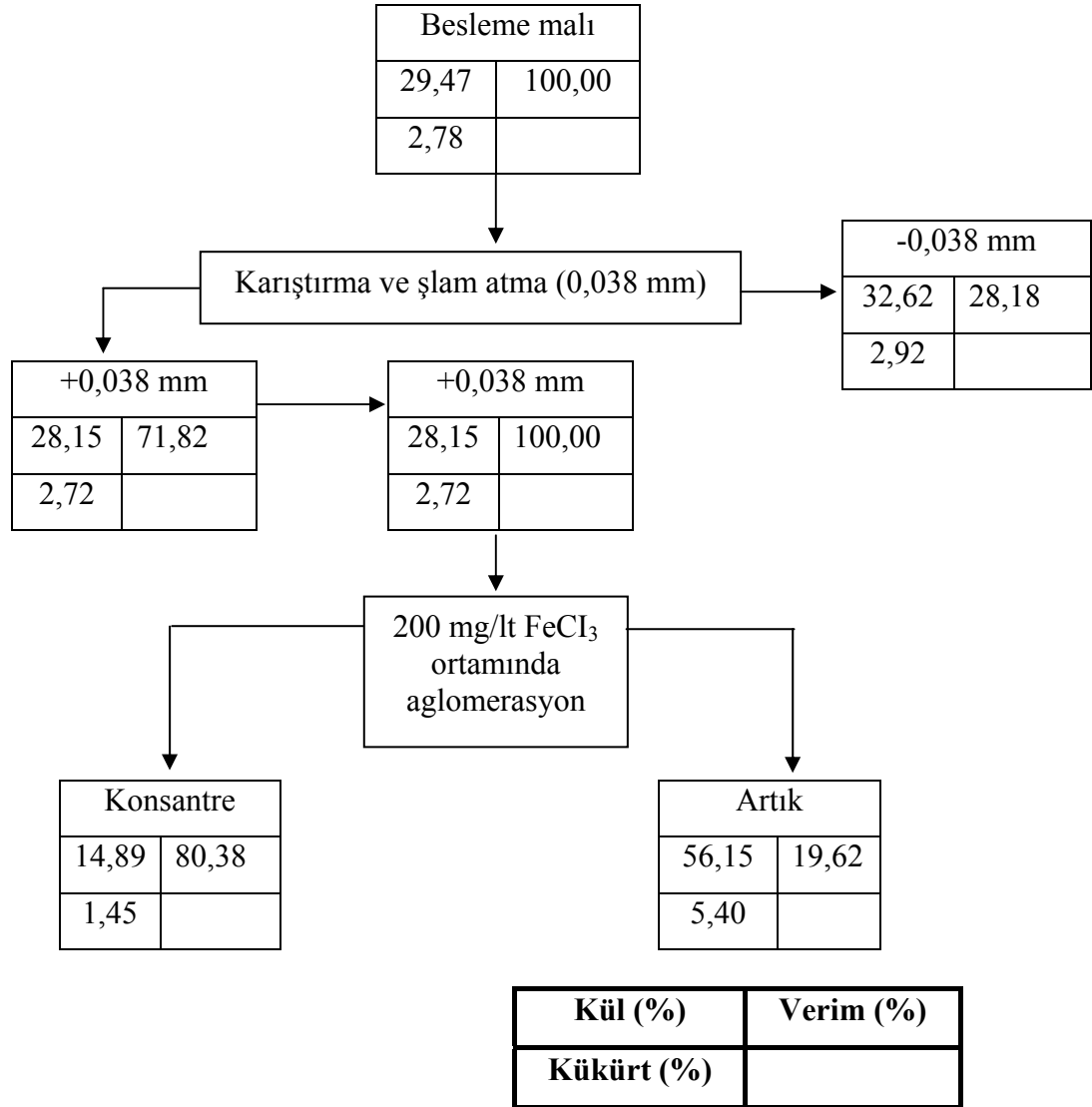
Şekil 8.41. Sodali göl suyunda Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi



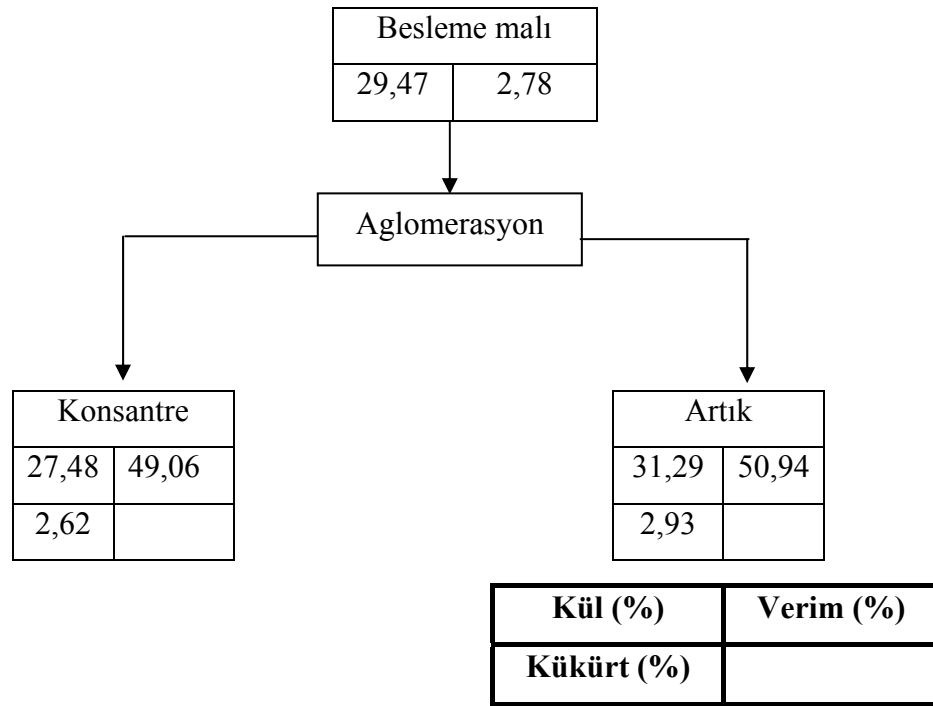
Şekil 8.42. 300 mg/l NaCl ortamında Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi



Şekil 8.43. 200 mg/Lt MgCl₂ ortamında Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi



Şekil 8.44. 200 mg/l FeCl₃ ortamında Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi



Şekil 8.45. Şlam uzaklaştırılmadan Adıyaman-Gölbaşı linyitinin aglomerasyon akım şeması ve malzeme dengesi

8.6 Agloflotasyon

Taşıyıcılı flotasyon, yüzebilirliği yüksek iri tanelerin, yüzmesi zor olan (genelde toz taneler) ince taneleri taşıması esasına dayanmaktadır. Taşıyıcılı flotasyonun konvansiyonel flotasyona karşı avantajı, reaktifle muamele görmüş iri tanenin taşıyıcı olarak kullanılması ile reaktifin verimli şekilde kullanılmasını sağlayarak hem reaktif tüketimini azaltmakta hemde reaktifin seçimliliğini artırmaktadır. Taşıyıcının yalnızca toz tanelerine yönelik hareketi, daha yüksek randıman ve ayırım verimi sağlamaktadır (Özbayoğlu, 1998).

Reaktifle muamele görmüş iri kömür tanelerini toz tanelerin taşınmasında kullanılmaktadır (Mishra et al., 1990; Abd Elrahim, 2003). Agloflotasyon yöntemi kullanılarak önemli miktarda piritik kükürt uzaklaştırılmıştır. Bazı çalışmalarda, kömür sınıfına, beslenen kömürün kükürt içeriği ve piritin serbestleşmesine bağlı olarak piritik kükürt yaklaşık olarak %60-85 oranında uzaklaştırılmıştır (Pawlak et al., 1985; Capes, 1991). Benzer şekilde bu çalışmada, Adıyaman-Gölbaşı linyitinin agloflotasyonu, Şırnak asfaltitinin aglomerasyonunda elde edilen aglomeratlar (konsantre) ve Diyarbakır-Hazro kömürünün aglomerasyonunda elde edilen aglomeratlar (konsantre) kullanılarak yapılmıştır. Optimum yıkama koşullarında yıkanmış Adıyaman-Gölbaşı linyiti, farklı oranlarda Şırnak asfaltiti aglomeratları ve Hazro kömürü aglomeratları ile karıştırılmıştır. Şırnak asfaltiti ve Hazro kömürü aglomeratları taşıyıcı görevi yaparak sistemde oluşturulan aglomeratlar flotasyon işleminde kullanılmıştır.

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin agloflotasyonu üç aşamada yapılmıştır.

1. aşama: Şırnak asfaltiti/Hazro kömürünün aglomerasyonu yapılmıştır.

2. aşama: Yapılan ön denemelerde linyitin aglomerat ilavesinden önce yüzeyinin yağ tabakası ile kaplanmaması durumunda hidrofobik asfaltit/kömür partiküllerine hidrofilik linyit partiküllerinin yeterli derecede bağlanamadıkları tespit edilmiştir. Bu nedenle şlamdan uzaklaştırılmış linyite ağırlığının %1'i kadar mazot ilave edildikten sonra sisteme aglomeratlar ilave edilmiştir. Karışım, 10 dakika boyunca 1800 dev/dakika

hızda karıştırılmıştır. Daha sonra katı oranı %20 olacak şekilde ortama 1. aşamadan elde edilen Şırnak asfaltitinin/Hazro kömürünün aglomeratları (konsantre) şlamdan uzaklaştırılmış linyite ilave edilmiştir ve karıştırma hızı 500 devir/dakikaya düşürülmüştür. pH ayarlaması yapıldıktan sonra 10 dakika karıştırılmıştır. Adıyaman-Gölbaşı linyiti flotasyonunda belirlenen optimum toplayıcı ve köpürtücü miktarları kullanılmıştır. Şekil verileri Ek Açıklamalar-H’de verilmiştir.

3. aşama: Sistemde oluşan aglomeratlar flotasyon yöntemi ile kazanılmıştır. Flotasyon doğal pH, pH 6, pH 7 ve pH 8’de yapılmıştır. 3 dakika köpük alınmıştır.

8.6.1 Şırnak Asfaltiti aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon

Bu çalışmada kullanılan Şırnak asfaltiti aglomeratları, Abakay ve arkadaşları (2004) tarafından belirlenen optimum aglomerasyon koşulları kullanılarak elde edilmiştir. Şırnak asfaltiti için belirlenen optimum aglomerasyon koşulları şu şekildedir:

Öğütme süresi	: 50 dakika
Bağlayıcı sıvı	: %50 Gazyağı + %50 Fuel oil
Bağlayıcı sıvı oranı	: %30
Katı oranı	: %12,5
Karıştırma hızı	: 1800 rpm
Başlangıç koşullandırma süresi	: 30 dakika
Bağlayıcı sıvı ilavesi sonrası koşullandırma	: 10 dakika
Eleme	: 0,106 mm

Şırnak asfaltiti aglomeratlarının kül ve toplam kükürt içeriği sırasıyla %36,81 ve %3,12’dir (Abakay vd., 2004).

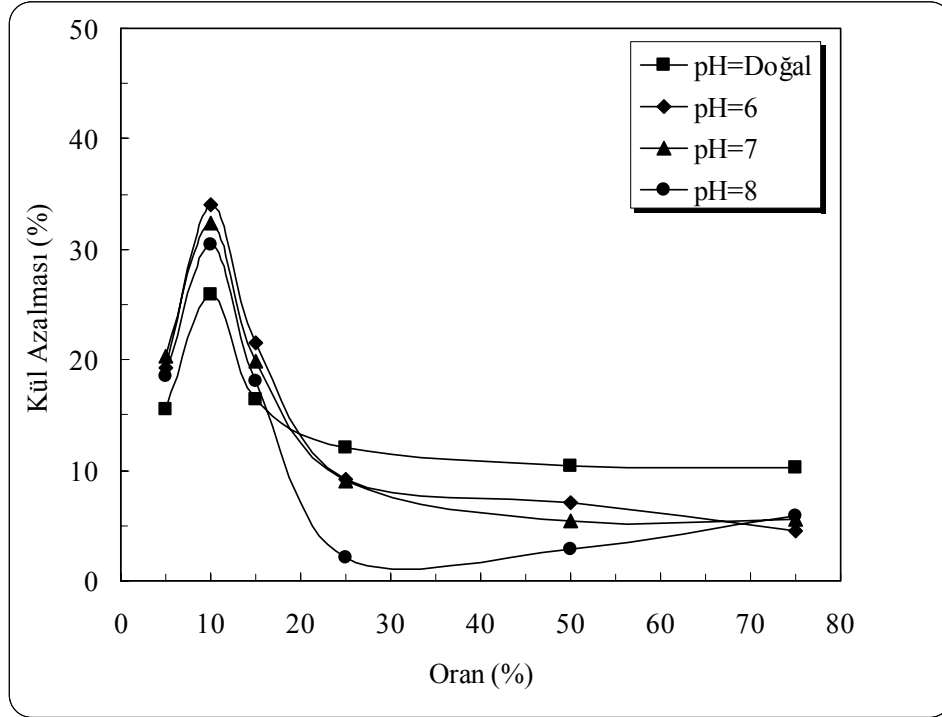
Şırnak asfaltitinin aglomeratları, farklı oranlarda şlamdan uzaklaştırılmış Adıyaman-Gölbaşı linyiti ile karıştırılması durumunda elde edilen malzemelerin kül ve toplam kükürt içerikleri Çizelge 8.19’da verilmiştir. Agloflotasyon deney sonuçları Şekil 8.46, ve Şekil 8.47’de verilmiştir.

Çizelge 8.19. Farklı oranlarda Şırnak asfaltitinin aglomeratları ile karıştırılan şlamdan uzaklaştırılmış Adıyaman-Gölbaşı linyiti ile oluşturulan malzemelerin kül ve toplam kükürt içerikleri

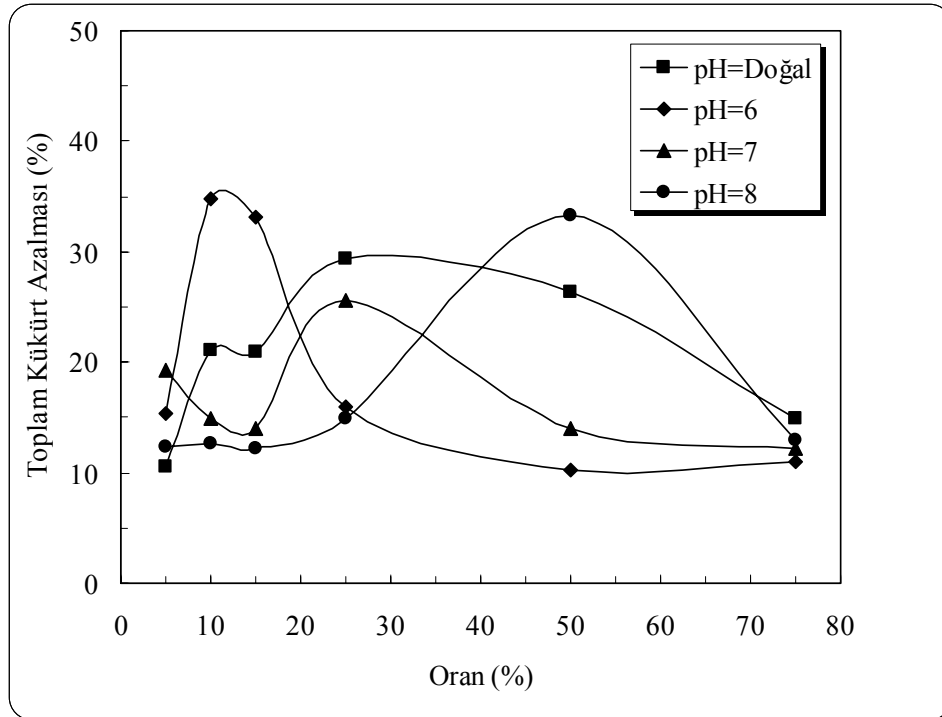
Şırnak asfaltiti aglomerat oranı (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)
5	28,58	2,74
10	29,02	2,76
15	29,45	2,78
25	30,31	2,82
50	32,48	2,92
75	34,64	3,02

Çizelge 8.19’da görüldüğü gibi, Şırnak asfaltiti aglomeratının oranı arttıkça oluşturulan malzemenin kül ve toplam kükürt içeriği artmaktadır.

Şekil 8.46 ve Şekil 8.47’de görüldüğü gibi beslenen malzemenin kül ve toplam kükürt içeriğine göre en iyi sonuç pH 6’da %10 Şırnak asfaltiti aglomeratları oranında elde edilmiştir. pH 6’da %10 Şırnak asfaltiti aglomeratları oranında yapılan deney sonucunda %74,74 ağırlık oranında konsantre, %19,15 kül, %1,80 toplam kükürt ve %85,13 yanabilir verimle kazanılmıştır. Toplam kükürt azalması %34,78 ve kül azalması %34,01 şeklinde olmuştur. Konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 4904 kcal/kg’dır. %5-15 Şırnak asfaltiti aglomeratları oranlarının kullanılması durumunda elde edilen kül azalma değerleri diğer oranlardan daha yüksektir. Kül azalması açısından pH dikkate alınmaksızın düşük oranlarda Şırnak asfaltiti aglomeratlarının kullanımı daha iyi sonuçların elde edilmesini sağlamıştır. Ayrıca, Şırnak asfaltiti aglomeratlarının oranı arttıkça doğal koşullarda elde edilen konsantre miktarları da artmaktadır.



Şekil 8.46. Şırnak asfaltiti aglomeratları ile yapılan agloflotasyondaki kül azalması



Şekil 8.47. Şırnak asfaltiti aglomeratları ile yapılan agloflotasyondaki toplam kükürt azalması

8.6.2 Hazro kömürü aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon

Bu çalışmada kullanılan Hazro kömürü aglomeratları, Abakay Temel ve Ayhan (2006) tarafından belirlenen optimum aglomerasyon koşulları kullanılarak elde edilmiştir. Hazro kömürü için belirlenen optimum aglomerasyon koşulları şu şekildedir:

pH	: 7 (NaOH ve H ₂ SO ₄)
Bağlayıcı sıvı	: %50 Gazyağı + %50 Fuel oil
Bağlayıcı sıvı oranı	: %45
Katı oranı	: %10
Karıştırma hızı	: 1800 rpm
Başlangıç koşullandırma süresi	: 35 dakika
Bağlayıcı sıvı ilavesi sonrası koşullandırma	: 10 dakika
Eleme	: 0,106 mm

Hazro aglomeratlarının kül ve toplam kükürt içerikler sırasıyla %17,14 ve %3,09'dur (Abakay Temel ve Ayhan, 2006).

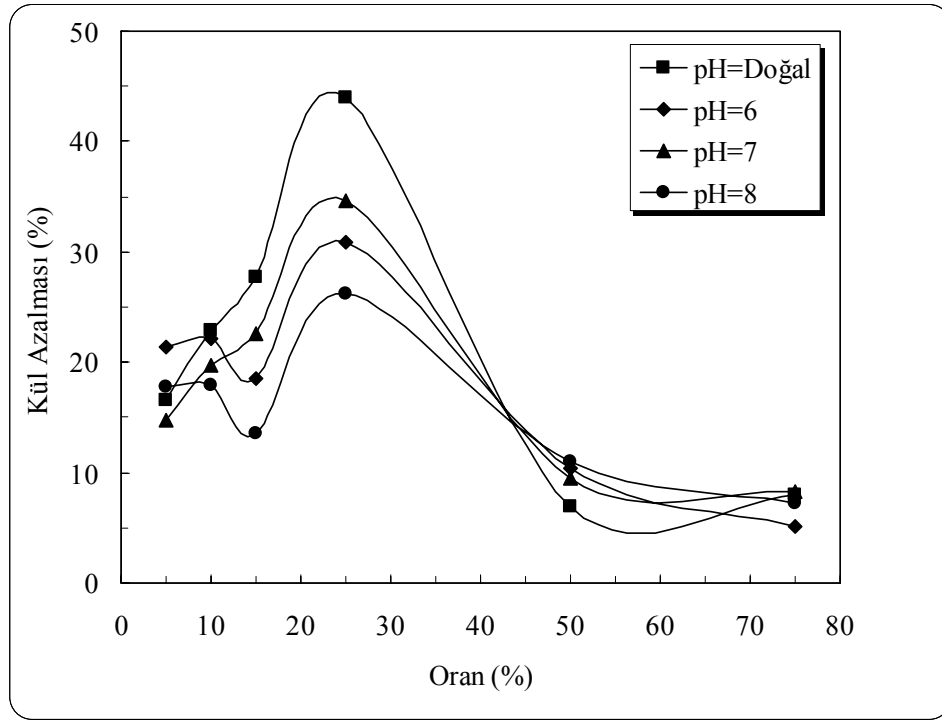
Hazro kömürünün aglomeratları, farklı oranlarda şlamdan uzaklaştırılmış Adıyaman-Gölbaşı linyiti ile karıştırılması durumunda elde edilen malzemelerin kül ve toplam kükürt içerikleri Çizelge 8.20'de verilmiştir. Agloflotasyon deney sonuçları Şekil 8.48 ve Şekil 8.49'da verilmiştir.

Çizelge 8.20. Farklı oranlarda Hazro kömürünün aglomeratları ile karıştırılan şlamdan uzaklaştırılmış Adıyaman-Gölbaşı linyiti ile oluşturulan malzemelerin kül ve toplam kükürt içerikleri

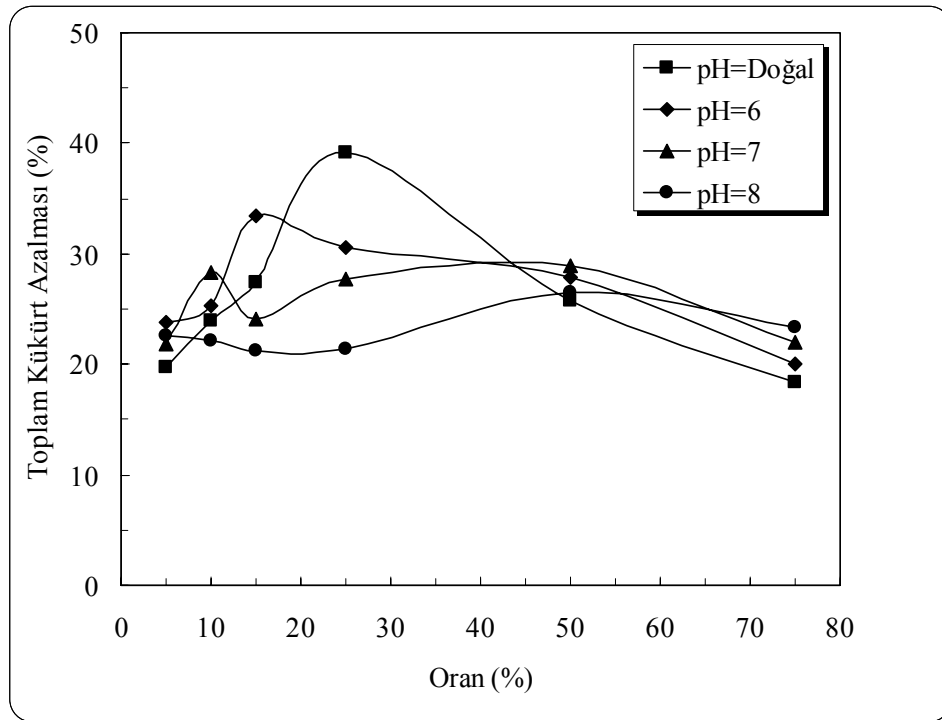
Hazro kömürü aglomerat oranı (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)
5	27,60	2,74
10	27,05	2,76
15	26,50	2,78
25	25,40	2,81
50	22,65	2,91
75	19,89	3,00

Çizelge 8.20’de görüldüğü gibi, Hazro kömürü aglomeratının oranı arttıkça oluşturulan malzemenin kül içeriği azalırken, toplam kükürt içeriği artmaktadır.

Şekil 8.48 ve Şekil 8.49’da görüldüğü gibi beslenen malzemenin kül ve toplam kükürt içeriğine göre en iyi sonuç doğal pH’da %25 Hazro kömürü aglomeratları oranında elde edilmiştir. Doğal pH’da %25 Hazro kömürü aglomeratları oranının yapılan deney sonucunda %75,31 ağırlık oranında konsantre, %14,23 kül, %1,71 toplam kükürt ve %86,59 yanabilir verimle kazanılmıştır. Toplam kükürt azalması %39,15 ve kül azalması %43,98 şeklinde olmuştur. Konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 5393 kcal/kg’dır. %15-25 Hazro kömürü aglomeratları oranlarının kullanılması durumunda elde edilen kül azalma değerleri diğer oranlardan daha yüksektir. Ayrıca, Hazro kömürü aglomeratlarının oranı arttıkça doğal koşullarda elde edilen konsantre miktarları da artmaktadır. Hem Şırnak asfaltiti hemde Hazro kömürü aglomeratlarının yüksek oranlarda kullanımı, kül azalması üzerinde olumlu bir etkisi olmamıştır.



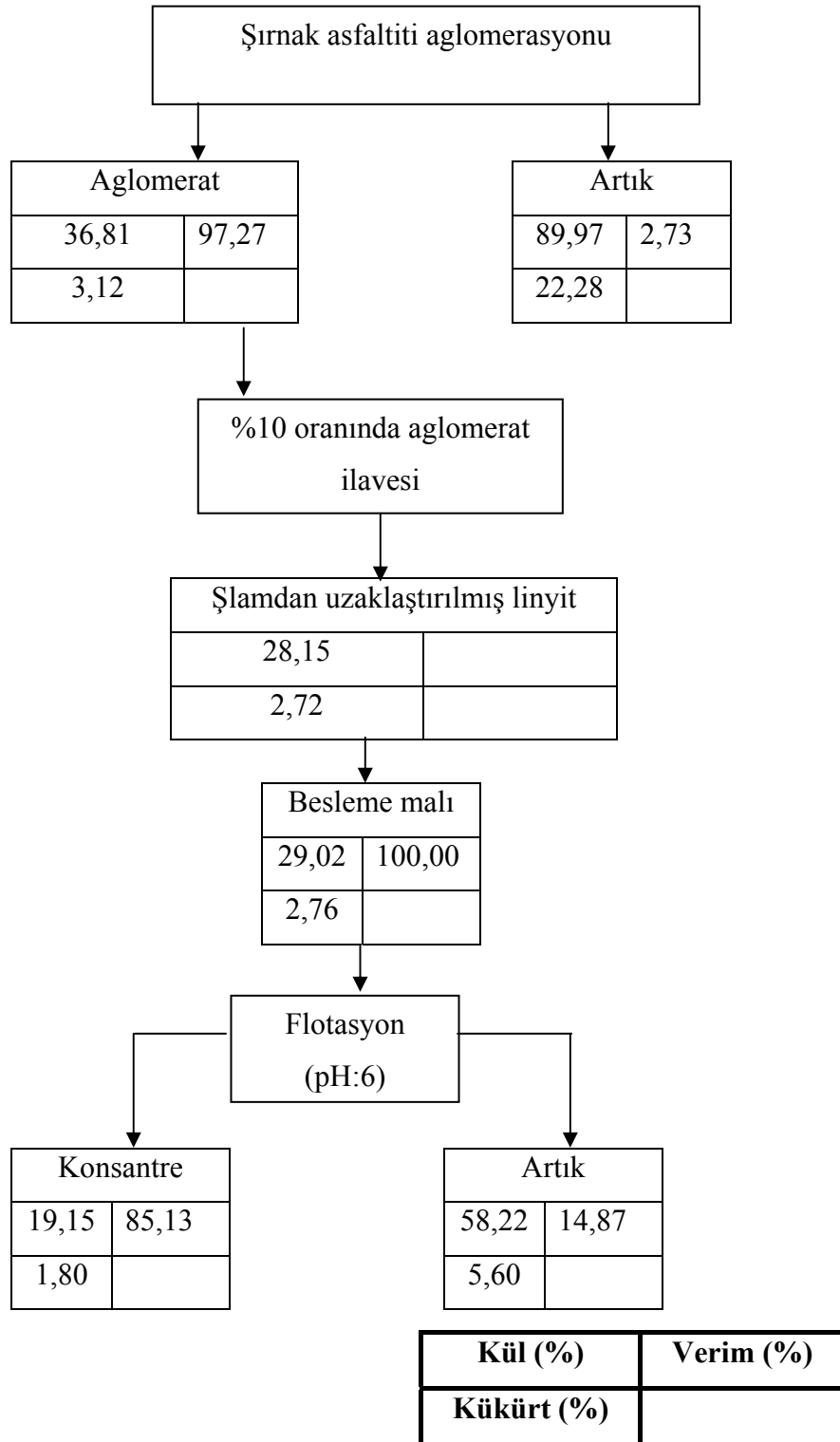
Şekil 8.48. Hazro kömürü aglomeratları ile yapılan agloflotasyondaki kül azalması



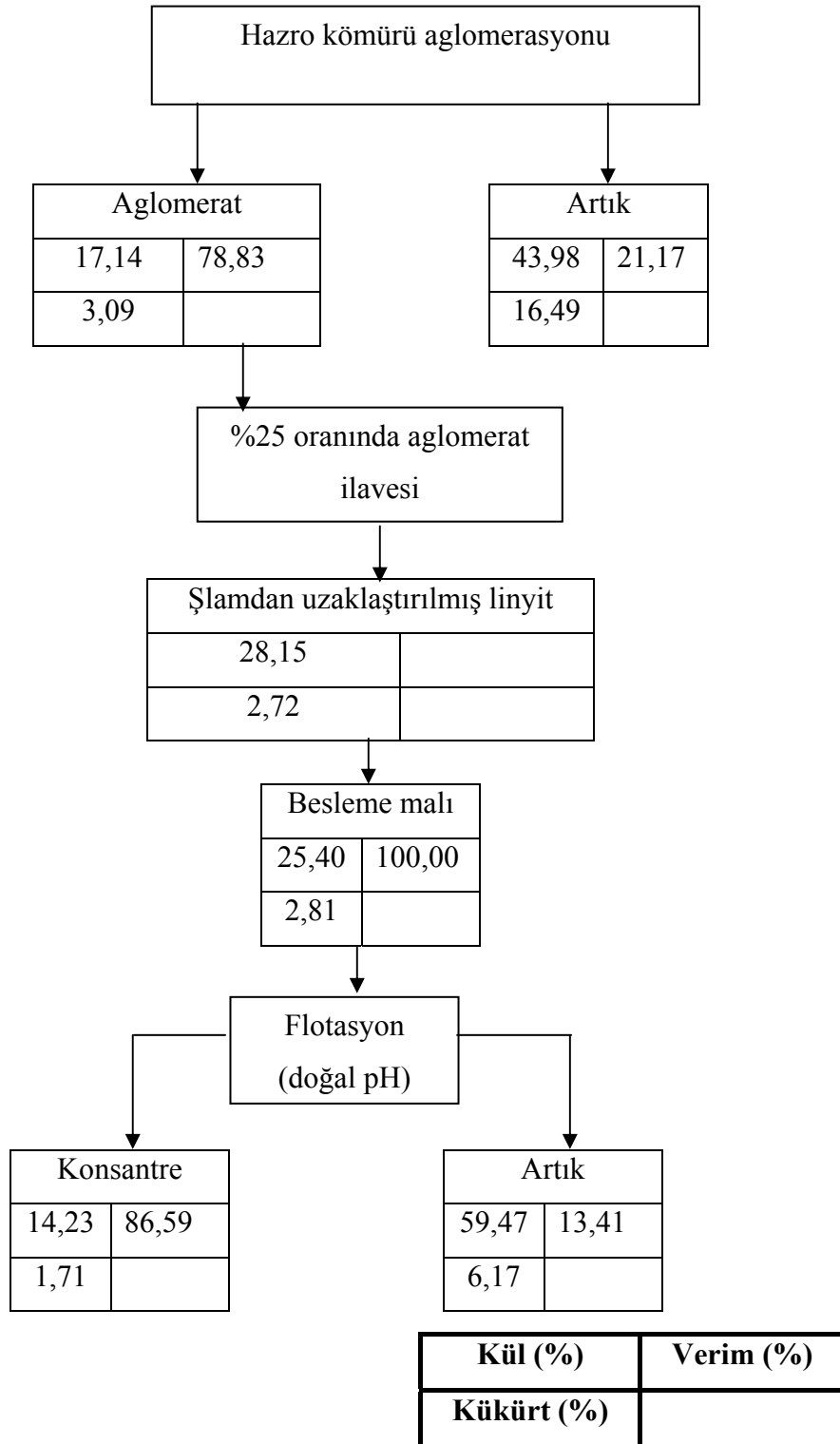
Şekil 8.49. Hazro kömürü aglomeratları ile yapılan agloflotasyondaki toplam kükürt azalması

%19,15 kül, %1,80 toplam kükürt ve kuru bazda 4904 kcal/kg alt ısı değerine sahip Şırnak asfaltiti aglomeratları kullanılarak elde edilen konsantre ve %14,23 kül, %1,71 toplam kükürt ve kuru bazda 5393 kcal/kg alt ısı değerine sahip Hazro kömürü aglomeratları kullanılarak elde edilen konsantre, termik santrallerde, tuğla sanayi, çimento sanayi, tuğla sanayinde kullanılabilir. Konsantrelerin kükürt oranları yüksek olduğundan ev yakıtı olarak tüketimi uygun değildir. Konsantreler briketlenerek değerlendirilebilir. Briketleme yöntemi ile kükürt oranları daha düşük olan briketler elde edilerek ev yakıtı olarak kullanılabilir. Bu durumda yüksek ısı değerine sahip olan konsantrelerin termik santrallerde ve sanayide yakılması ile ev yakıtı olarak tüketilmesi arasında ekonomik bir değerlendirmenin yapılması gerekmektedir.

Agloflotasyon deneylerinde, GAP Bölgesinde bulunan Şırnak asfaltiti ve Hazro kömüründen elde edilen aglomeratların kullanılması özellikle bölgedeki kaynakların değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Şırnak asfaltiti aglomeratlarının kül ve toplam kükürt içerikleri, Hazro kömürü aglomeratlarına göre daha yüksek değerlerdedir. Her iki aglomerat ürününden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, agloflotasyon yönteminden kazanılacak konsantrelerin ağırlık, kül ve toplam kükürt değerlerinin kullanılacak aglomeratın içeriği ile önemli şekilde değiştiği görülmüştür. Optimum karıştırma ve şlam atma koşullarında şlamdan uzaklaştırılmış Adıyaman-Gölbaşı linyitinin Şırnak asfaltiti ve Hazro kömürünün aglomeratlarının kullanılarak yapıldığı agloflotasyon akım şeması ve malzeme dengesi Şekil 8.50 ve Şekil 8.51’de verilmiştir.



Şekil 8.50. %10 oranında Şırnak asfaltiti aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon akım şeması ve malzeme dengesi



Şekil 8.51. %25 oranında Hazro kömürü aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon akım şeması ve malzeme dengesi

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Soykan kömür işletmesinden alınan Adıyaman-Gölbaşı linyitinin değerlendirilme olanakları araştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarına göre Adıyaman-Gölbaşı linyiti orjinal bazda; %48,66 nem, %15,13 kül, %23,69 uçucu madde, %12,52 sabit karbon ve %1,43 toplam kükürt içermekte olup üst ısı değeri 2193 kcal/kg ve alt ısı değeri 1650 kcal/kg'dır.

Petrografik analiz sonuçlarına göre Adıyaman-Gölbaşı linyiti; %57 hüminit, %6 liptinit, %6 inertinit, %6 pirit ve %25 oranında kil, silt vb. içermektedir. Major element analiz sonuçlarına göre Adıyaman-Gölbaşı linyiti; %11,50 Al_2O_3 , %32,55 SiO_2 , %5,80 Fe_2O_3 , %0,70 TiO_2 , %18,50 CaO , %0,50 Na_2O , %0,70 K_2O , %5,10 MgO , %0,70 P_2O_5 , %0,10 MnO , %0,20 Cr_2O_3 , %0,80 BaO ve %15,98 SO_3 içermektedir. X-Ray analiz sonuçlarına göre Adıyaman-Gölbaşı linyiti; anhidrit, kuvars, dolomit, feldspat, illit, kristobalit ve mika içermektedir.

Adıyaman-Gölbaşı linyiti üzerinde yapılan elek analizi fraksiyonlarının mikroskopta incelenmesi sonucu Adıyaman-Gölbaşı linyitinin, 0,1 mm'nin altında serbestleştiği belirlenmiştir. Bu amaçla, Adıyaman-Gölbaşı linyiti, farklı sürelerde öğütüldükten sonra elek analizine tabi tutulmuştur. Öğütme testlerinin sonucunda, linyit numunesi 30 dakikalık öğütme sonucunda linyitin %52'si, 45 dakikalık öğütme sonucunda linyitin %66'sı, 60 dakikalık öğütme sonucunda linyitin %77'si, 75 dakikalık öğütme sonucunda linyitin %88'i, 90 dakikalık öğütme sonucunda linyitin %92'si, 105 dakikalık öğütme sonucunda linyitin %97'si, 120 dakikalık öğütme sonucunda linyitin %100'ü 0,1 mm'nin altına indirilmiştir.

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin yıkanabilirliğini belirlemek amacı ile -50+20 mm, -20+4,75 mm ve -4,75+0,5 mm boyut gruplarında yüzdürme-batırma deneyleri yapılmıştır. Her üç boyut grubuna ait yıkanabilirlik eğrileri incelendiğinde, linyit numunesinin yıkanabilirliğinin iyi olmadığı belirlenmiştir. -50+20 mm tane boyutunda; $1,4 \text{ g/cm}^3$ 'de $\pm 0,1$ yoğunluk ayırma değeri %66,39'dur. -20+4,75 mm tane boyutunda; $1,4 \text{ g/cm}^3$ 'de $\pm 0,1$ yoğunluk ayırma değeri %87,23 ve $1,5 \text{ g/cm}^3$ 'de $\pm 0,1$ yoğunluk

ayırma değeri %71,04'dür. -4,75+0,5 mm tane boyutunda; 1,5 g/cm³'de $\pm 0,1$ yoğunluk ayırma değeri %86,77'dir. Ayırma yoğunluğuna yakın madde miktarının ayırım üzerindeki etkisi göz önüne alınarak Özbayoğlu ve Bilgen (1997) tarafından oluşturulan çizelgeye göre her üç tane boyutu için $\pm 0,1$ yoğunluk ayırma değerleri 25'den büyük olmakta ve bu da ayırımın mümkün olmadığını göstermektedir. Her üç boyut grubuna ait yıkanabilirlik eğrileri incelendiğinde, linyit numunesinin yıkanabilirliğinin iyi olmadığı görülmektedir.

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin yıkanabilirlik özelliklerinin iyi olmaması nedeniyle kül ve kükürt içeriklerinin azaltılması amacı ile karıştırma ve şlam atma, flotasyon, aglomerasyon ve agloflotasyon deneyleri yapılmıştır. Adıyaman-Gölbaşı linyiti üzerinde yapılan ön deneylerde şlam uzaklaştırmanın aglomerasyon, flotasyon ve agloflotasyon üzerinde olumlu bir etkisinin görülmesinden dolayı aglomerasyon ve flotasyon çalışmalarından önce karıştırma ve şlam atma aşamasının en uygun koşulları araştırılmıştır.

Karıştırma ve şlam atma

Adıyaman-Gölbaşı linyiti, su ortamında karıştırılarak 0,038 mm'lik elek ile elenmiş, katı oranının, NaOH ve HCl'in karıştırma ve şlam atma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar +0,038 mm'lik kısmın kül içeriği göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Optimum karıştırma ve şlam atma koşulları şu şekilde belirlenmiştir: katı oranı:%10, kondüsyonlama süresi:20 dakika, eleme:0,038 mm, karıştırma hızı:1800 devir/dakika.

NaOH ortamında besleme malına göre kül azalması %2,38, HCl ortamında %3,09 ve çeşme suyunda %4 'dür. Çeşme suyunda elde edilen kül azalması ve yanabilir verim değerleri, şlam atma aşamasında NaOH ve HCl kullanılması ile elde edilen kül azalmaları ve yanabilir verim değerlerinden daha yüksek olduğundan dolayı karıştırma ve şlam atma aşamasında NaOH ve HCl kullanılmamıştır. Optimum karıştırma ve şlam atma koşullarında Adıyaman-Gölbaşı linyitinin şlamdan uzaklaştırılması ile %28,29 kül içeren + 0,038 mm'lik kısım, %75,24 yanabilir verimle ile kazanılmıştır.

Flotasyon

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin kül ve kükürt içeriklerinin azaltılması amacı ile öncelikle optimum karıştırma ve şlam atma koşulları kullanılarak linyit numunesinden şlam uzaklaştırıldıktan sonra flotasyon yöntemi kullanılmıştır. Öğütme süresinin, pH'nın, katı oranının, toplayıcı türü ve miktarının, bastırıcı türü ve miktarının ve köpürtücü türü ve miktarının flotasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

En iyi öğütme süresi 90 dakika olarak seçilmiştir. Flotasyon deneylerinde kullanılan linyit numunesi %28,15 kül ve %2,72 toplam kükürt içermektedir. Bastırıcı türü olarak test edilen Na_2SiO_3 ve Calgon kullanımı flotasyon üzerinde herhangi bir olumlu etki yapmaması nedeni ile flotasyon deneylerinde bastırıcı kullanılmamıştır. Toplayıcı türü olarak %80 mazot +%20 fuel seçilmiştir. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin hidrofilik yapısından dolayı optimum toplayıcı miktarı, 3 kg/ton gibi yüksek miktar bulunmuştur. Belirlenen diğer optimum flotasyon koşulları şu şekildedir: katı oranı:%20, pH:6, köpürtücü (MIBC) miktarı:0,5 kg/ton. Optimum flotasyon koşullarında elde edilen kaba konsantre üç aşamalı temizleme flotasyonuna tabi tutulmuştur. Deney sonucunda, %15,04 küllü konsantre %1,19 toplam kükürt ve %27,59 yanabilir verim ile kazanılmıştır.

Deniz suyu ve göl suyunun flotasyon üzerindeki etkisini araştırmak amacı ile çeşme suyunda optimum karıştırma ve şlam atma koşullarında, şlam uzaklaştırıldıktan sonra optimum flotasyon koşullarında Ege denizi suyu ve sodalı göl suyunda üç aşamalı temizleme flotasyonu yapılmıştır. Deneyler sonucunda, Ege denizi suyunda; %17,23 küllü konsantre %1,05 toplam kükürt ve %16,46 yanabilir verimle kazanılırken, sodalı göl suyunda; %17,67 küllü konsantre %1,08 toplam kükürt ve %14,25 yanabilir verimle kazanılmıştır.

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin hidrofillik yapısı nedeni ile Ege denizi suyu ve sodalı göl suyunun kullanımı flotasyon ortamında linyit partikülleri üzerinde hidratlanmış katyonların adsorpsiyonundan dolayı elde edilen yanabilir verim değerleri (Ege denizi suyunda %16,46 ve sodalı göl suyunda %14,25), çeşme suyunda şlam

uzaklaştırıldıktan sonra yapılan flotasyonda elde edilen (%27,59) yanabilir verim değerinden düşük olarak elde edilmiştir.

Karıştırma ve şlam atma işlemi yapılmadan Adıyaman-Gölbaşı linyitinin belirlenen optimum flotasyon koşulları kullanılarak üç aşamalı temizleme flotasyonu yapılmıştır. Deney sonucunda, %22,11 küllü konsantre %2,25 toplam kükürt ve %13,44 yanabilir verimle kazanılmıştır. Çeşme suyunda, şlam uzaklaştırılarak ve şlam uzaklaştırılmadan yapılan flotasyon deney sonuçları karşılaştırıldığında flotasyondan önce şlamın uzaklaştırılması linyit yüzeyinde mikron mertebesinde bulunan kilin uzaklaştırılması ve suda çok az çözünen minerallerin linyit numunesinden uzaklaştırılarak flotasyon üzerindeki etkisinin ortadan kaldırılması açısından flotasyon sonuçları üzerinde olumlu bir etki yapmıştır. Şlamın uzaklaştırılması kül ve toplam kükürt içeriği daha düşük olan konsantrenin elde dilmesini sağlamıştır.

Çeşme suyunda şlam uzaklaştırılmadan yapılan flotasyon deney sonucunda elde edilen konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 4167 kcal/kg'dır. Çeşme suyunda şlam uzaklaştırılarak yapılan flotasyon deney sonucunda elde edilen konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 5040 kcal/kg'dır. Üç aşamalı flotasyon deneyi sonucunda konsantrenin yanabilir verim değeri (%27,59) çok düşüktür. Linyitin doğal hidrofilik yapısından dolayı linyitin yüzdürülmesi için yüksek miktarlarda toplayıcı (3 kg/ton %80 Mazot + %20 Fuel oil) ve köpürtücü (0,5 kg/ton MIBC) kullanılması gerekmektedir. Flotasyon yöntemi Adıyaman-Gölbaşı linyitinin değerlendirilmesi açısından ekonomik bir yöntem değildir.

Aglomerasyon

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin kül ve kükürt içeriklerinin azaltılması amacı ile öncelikle optimum karıştırma ve şlam atma koşulları kullanılarak linyit numunesinden şlam uzaklaştırıldıktan sonra aglomerasyon yöntemi kullanılmıştır. Aglomerasyon deneylerinde kullanılan linyit numunesi %28,15 kül ve %2,72 toplam kükürt içermektedir. pH'nın, katı oranının, bağlayıcı türü ve miktarının ve elek boyutunun aglomerasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Optimum aglomerasyon koşulları şu

şekilde belirlenmiştir: pH:6, katı oranı:%10, bağlayıcı sıvı türü:%50 mazot +%50 fuel oil, bağlayıcı sıvı miktarı:%20 ve elek boyutu:0,106 mm. Optimum aglomerasyon koşullarında, %16,60 küllü konsantre %1,33 toplam kükürt ve %79,36 yanabilir verimle kazanılmıştır.

Sodali göl suyu, Karadeniz suyu, Akdeniz suyu ve Ege deniz suyu kullanarak, optimum aglomerasyon koşullarında aglomerasyon deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, sodali göl suyunda, %18,25 küllü konsantre %1,20 toplam kükürt ve %76,23 yanabilir verimle, Karadeniz suyunda %17,81 küllü konsantre %1,22 toplam kükürt ve %75,62 yanabilir verimle, Ege denizi suyunda %17,96 küllü konsantre %1,17 toplam kükürt ve %75,99 yanabilir verimle, Akdeniz suyunda %17,23 küllü konsantre %1,13 toplam kükürt ve %76,11 yanabilir verimle kazanılmıştır.

Göl suyu ve deniz sularında elde edilen sonuçlar, çeşme suyunda şlam uzaklaştırıldıktan sonra yapılan aglomerasyon deney sonucu ile karşılaştırıldığında, çeşme suyunda şlam uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen konsantrenin kül içeriği daha düşük ve konsantrenin miktarı daha yüksektir. Toplam kükürt içeriği açısından göl suyu ve deniz suyunun kullanımı, toplam kükürt değeri daha düşük olan konsantreler elde edilmiştir. Deniz sularında elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında kül içeriği ve toplam kükürt içeriği açısından şu sıralama yapılabilir: Karadeniz > Ege denizi > Akdeniz.

Üç farklı tuzun (NaCl , MgCl_2 ve FeCl_3) aglomerasyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. NaCl , MgCl_2 ve FeCl_3 farklı miktarlarda kullanılarak optimum aglomerasyon koşullarında aglomerasyon deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, 300 mg/lt NaCl kullanımında %15,21 küllü konsantre %1,31 toplam kükürt ve %79,15 yanabilir verimle, 200 mg/lt MgCl_2 kullanımında %15,44 küllü konsantre %1,27 toplam kükürt ve %80,00 yanabilir verimle, 200 mg/lt FeCl_3 kullanımında %14,89 küllü konsantre %1,45 toplam kükürt ve %80,38 yanabilir verimle kazanılmıştır.

Üç farklı tuz ortamında elde edilen sonuçlar, çeşme suyunda şlam uzaklaştırıldıktan sonra yapılan aglomerasyon deney sonucu ile karşılaştırıldığında,

aglomerasyon ortamında tuzun kullanımı, çeşme suyuna göre daha düşük kül içerikli konsantrelerin kazanımı sağlamıştır.

Karıştırma ve şlam atma işlemi yapılmadan Adıyaman-Gölbaşı linyitinin optimum aglomerasyon koşulları kullanılarak aglomerasyonu yapılmıştır. Deney sonucunda, %27,48 küllü konsantre %2,62 toplam kükürt ve %49,06 yanabilir verimle kazanılmıştır. Çeşme suyunda, şlam uzaklaştırılarak ve şlam uzaklaştırılmadan yapılan aglomerasyon deney sonuçları karşılaştırıldığında aglomerasyondan önce şlamın uzaklaştırılması linyit yüzeyinde mikron mertebesinde bulunan kilin uzaklaştırılması ve suda çok az çözünen minerallerin linyit numunesinden uzaklaştırılarak aglomerasyon üzerindeki etkisinin ortadan kaldırılması açısından aglomerasyon sonuçları üzerinde olumlu bir etki yapmıştır. Şlamın uzaklaştırılması kül ve toplam kükürt içeriği daha düşük olan konsantrenin elde edilmesini sağlamıştır. Çeşme suyunda şlam uzaklaştırılmadan yapılan aglomerasyon deney sonucunda elde edilen konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 4073 kcal/kg'dır. Çeşme suyunda şlam uzaklaştırılarak yapılan aglomerasyon deney sonucunda elde edilen konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 5035 kcal/kg'dır.

Aglomerasyon çalışmalarında tuzların aglomerasyon üzerindeki etkileri, optimum aglomerasyon koşulları kullanılarak denenmiştir. Aglomerasyonda kullanılan yağ tüketimindeki bir azalma, aglomerasyon yönteminin ekonomik fizibilitesini artıracaktır. Sisteme tuz ilavesi ile yöntemin ana maliyetlerinden birini azaltacaktır. Aglomerasyon ortamında, tuzların kullanılması durumunda ilave olarak optimum yağ miktarının yeniden tespit edilmesi faydalı olacaktır.

Agloflotasyon

Adıyaman-Gölbaşı linyitinin agloflotasyonu, Şırnak asfaltitinin aglomerasyonunda elde edilen aglomeratlar (konsantre) ve Diyarbakır-Hazro kömürünün aglomerasyonunda elde edilen aglomeratlar (konsantre) kullanılarak yapılmıştır. Şırnak asfaltitinin aglomeratları %36,81 kül ve %3,12 toplam kükürt

içermektedir. Hazro kömürünün aglomeratları %17,14 kül ve %3,09 toplam kükürt içermektedir.

Şırnak asfaltiti aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon deneyleri sonucunda, beslenen malzemenin kül ve toplam kükürt içeriğine göre en iyi sonuç pH 6'da %10 Şırnak asfaltiti aglomeratları oranında elde edilmiştir. pH 6'da %10 Şırnak asfaltiti aglomeratları oranında yapılan deney sonucunda %74,74 ağırlık oranında konsantre, %19,15 kül, %1,80 toplam kükürt ve %85,13 yanabilir verimle kazanılmıştır. Toplam kükürt azalması %34,78 ve kül azalması %34,01 şeklinde olmuştur.

Hazro kömürü aglomeratları kullanılarak yapılan agloflotasyon deneyleri sonucunda, beslenen malzemenin kül ve toplam kükürt içeriğine göre en iyi sonuç doğal pH'da %25 Hazro kömürü aglomeratları oranında elde edilmiştir. Doğal pH'da %25 Hazro kömürü aglomeratları oranının yapılan deney sonucunda %75,31 ağırlık oranında konsantre, %14,23 kül, %1,71 toplam kükürt ve %86,59 yanabilir verimle kazanılmıştır. Toplam kükürt azalması %39,15 ve kül azalması %43,98 şeklinde olmuştur.

Şırnak asfaltiti aglomeratları kullanılarak elde edilen konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 4904 kcal/kg'dır. Hazro kömürü aglomeratları kullanılarak elde edilen konsantrenin kuru bazda alt ısı değeri 5393 kcal/kg'dır. Agloflotasyon deneylerinde, GAP Bölgesinde bulunan Şırnak asfaltiti ve Hazro kömüründen elde edilen aglomeratların kullanılması özellikle bölgedeki kaynakların değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Linyitin, farklı türde malzemelerden elde edilen aglomeratların (konsantre) kullanılarak (asfaltit ve yarı taşkömürü niteliğindeki Hazro kömürü) yapılan çalışma, bu alanda yapılan ilk çalışma niteliğindedir. Agloflotasyon yönteminden kazanılacak konsantrelerin ağırlık, kül ve toplam kükürt değerlerinin kullanılacak aglomeratın içeriği ile önemli şekilde değişmiştir. Bu nedenle Adıyaman-Gölbaşı linyitinin değerlendirilmesine yönelik olarak yapılacak olan agloflotasyon çalışmalarında, kül ve kükürt içeriği daha düşük olan ve flotasyon ortamında yüzebilirliği yüksek olan ürünlerin kullanılması daha yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abakay, H., Ayhan, F.D., Kahraman, F., 2004, Selective oil agglomeration in Sırnak asphaltite beneficiation, *Fuel*, 83, 2081-2086.
- Abakay Temel, H.ve Ayhan, F.D., 2006, Desulfurization and deashing of Hazro coal by selective oil agglomeration in various water mediums, *Energy&Fuels*, 20, 2052-2055.
- Abd Elrahim, F.H., 2003, Carrier flotation for desulfurization and deashing of difficult-to-float El-Maghara coal, *Ore Dressing*, 10, 10-17.
- Abdel Khalek, M.A. and Parekh, B.K., 2001, Selective oil agglomeration of Maghara coal (Sinai-Egypt), *Ore Dressing*, 5, 39-46.
- Abdollahy, M., Moghaddam, A.Z., Rami, K., 2006, Desulfurization of mezino coal using combination of 'flotation' and 'leaching with potassium hydroxide/methanol', *Fuel*, 85, 1117-1124.
- Aktaş, Z., 2002, Some factors affecting spherical oil agglomeration performance of coal fines, *International Journal of Mineral Processing*, 65, 177-190.
- Allen, R.W. and Wheelock, T.D., 1993, Effects of pH and ionic strength on kinetics of oil agglomeration of fine coal, *Minerals Engineering*, 6(1), 87-97.
- Alonso, M.I., Valdes, A.F., Martinez-Tarazona, 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.
- Alonso, M.I., Valdes, A.F., Martinez-Tarazona, R.M., Garcia, A.B., 2002, Coal recovery from fines cleaning wastes by agglomeration with colza oil: a contribution to the environment and energy preservation, *Fuel Processing Technology*, 75, 85-95.
- Altun, N.E., Hiçyılmaz, C., Hwang, J-Y, Bağcı, A.S., 2006, Beneficiation of Himmetoğlu oil shale by flotation as a solid fuel substitute. Part 1. Materials characteristics and flotation behavior, *Energy&Fuels*, 20, 214-221.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Aplan, F.F., 1976, Coal flotation, In: Fuerstenau, M.C. (Edss.), Flotation, A.M. Gaudin Memorial Volume, vol.2, AIME, New York, 1235-1264.
- Aplan, F.F., 1983, Estimating the floatability of Western coal, gold, silver, uranium and coal:Geology, mining, extraction and the environment, In:Fuerstenau, M.C., Palmer, B.K. (eds.), AIME, 380.
- Aplan, F.F., 1988, How the nature of raw coal influences its cleaning industrial practice of fine coal processing, Colorado, AIME, 99-111.
- Aplan, F.F. and Arnold, B.J., 1991, Coal preparation, section 3, flotation, Coloraco, AIME
- Aplan, F.F., 1993, Coal properties dictate coal flotation strategies, Min. Engineering, 83-96.
- Arnold, B.J. and Aplan, F.F., 1986, The effect of clay slimes on coal flotation Part I: The nature of the clay, International Journal of Mineral Processing, 17, 225-242.
- Atak, S., Ateşok, G., Yıldırım, İ., 1991, Kömür hazırlamada yenilikler, Kömür Teknolojisi ve Kullanım Semineri, 79-91.
- Atamer, H., Derman, D., Özdil, G., 1981, Güneydoğu Anadolu Bölgesi asfaltit küllerinden molibden, nikel, vanadyum ve uranyum kazanılması, Maden tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Derleme no: 6989.
- Ateşok, G., 1986, Kömür hazırlama, İstanbul teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ateşok, G. and Çelik, M.S., 2000, A new flotation scheme for a difficult-to-float coal using pitch additive in dry grinding, Fuel, 79, 1509-1513.
- Ateşok, G., Boylu, F., Çelik, M.S., 2001, Carrier flotation for desulfurization and deashing of difficult-to-float coals, Minerals Engineering, 14(6), 661-670.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ayhan, F.D., Abakay, H., Kahraman, F., 2003, Şırnak asfaltitlerinden külün flotasyon yöntemi ile uzaklaştırılması, *Madencilik*, 42(1), 27-34.
- Ayhan, F.D., Abakay, H., Kahraman, F., 2004, Comparison of non-ionic and ionic collectors in the flotation of Şırnak asphaltite, *Proceedings of Xth International Mineral Processing Symposium*, Çeşme-Turkey, 293-299.
- Ayhan, F.D., Abakay, H., Saydut, S., 2005, Desulfurization and deashing of Hazro coal via a flotation method, *Energy&Fuels*, 19, 1003-1007.
- Barraza, J. and Pineres, J., 2005, A pilot-scale flotation column to produce beneficiated coal fractions having high concentration of vitrinite maceral, *Fuel*, 84, 1879-1883.
- Beker, Ü.G., 1998, Kömürün kullanım alanları (editör. Orhan Kural), İstanbul, 325-337.
- Bolat, E., Sağlam, S., Pişkin, S., 1998, The effect of oxidation on the flotation properties of a Turkish bituminous coal, *Fuel Processing Technology*, 55, 101-105.
- Brown, D.J., 1962, Coal flotation, *Froth Flotation*, 50 th Anniversary Volume, D.W. Fuerstenau (Ed.), AIME, New York, 518-538.
- Capes, C.E., 1991, Oil agglomeration process principles and commercial application for fine coal cleaning, *Coal Preparation*, Colorado, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, part 4.
- Coleman, R.D., Sparks, B.D., Majid, A., Toll, F.N., 1995, Agglomeration-flotation: recovery of hydrophobic components from oil sands fine tailings, *Fuel*, 74(8), 1156-1161.
- Crawford, R.J. and Mainwaring, D.E., 2001, The influence of surfactant adsorption on the surface characterization of Australian coals, *Fuel*, 80, 313-320.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cyanamid, 1986, Mining chemicals handbook, Mineral Dressing Notes No:26, Copyright by American Cyanamid Company, USA, 178.
- Çelik, M.S., Stallard, M.L., Yoon, R.H., 1990, Coal desulfurization by a novel pyrite depressant in froth flotation, Proceedings of the III. International Mineral Processing Symposium, İstanbul, Turkey, 256-266.
- Demirel, H., 1988, Linyitlerde piritik kükürdün iki aşamalı flotasyon ile temizlenmesi, 6. Kömür Kongresi, 191-203.
- Denby, B., Elverson, C., Hal, S., 2002, The use of short chain volatile fatty acids in fine coal preparation, Fuel, 81, 595-603.
- Deniz, V., Kibici, Y., Yamık, A., Çilek, E.A., 1996, Çivril (Denizli) linyitlerinden flotasyon ile kükürdün uzaklaştırılması, 10. Kömür Kongresi, 93-102.
- Deniz, V., Dinler, E., Güneş, A.N., 2000, Mihalıççık (Eskişehir) kömürlerinin zenginleştirme olanaklarının araştırılması, 12. Kömür Kongresi, 193-201.
- Devlet Planlama Teşkilatı, 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Enerji Hammaddeler Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.
- Ding, K. and Laskowski, J.S., 2006a, Coal reverse flotation. Part I: Separation of a mixture of subbituminous coal and gangue minerals, Minerals Engineering, 19, 72-78.
- Ding, K. and Laskowski, J.S., 2006b, Coal reverse flotation. Part II: Cleaning of a subbituminous coal, Minerals Engineering, 19, 79-86.
- Drzymala, J. and Wheelock, T.D., 1992, Potential pyrite depressants for use in oil agglomeration of fine-size coal, Coal preparation, 10, 189-201.
- Drzymala, J. and Wheelock, T.D., 1993, Organic thiols as pyrite depressants in oil agglomeration of coal, Coal Preparation, 13, 53-62.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Erol, M., Çolduroğlu, Ç., Aktaş, Z., 2003, The effect of reagents and reagent mixtures on froth flotation of coal fines, *International Journal of Mineral Processing*, 71, 131-145.
- Fan, C.W., Markuszewski, R., Wheelock, T.D., 1987, Coal and pyrite separation by oil agglomeration in salt solutions, *Fizykochemiczne problemy mineralurgii*, 19, 17-26.
- Fan, C.W., Markuszewski, R., Wheelock, T.D., 1988, Oil agglomeration of coal in salt solutions: Effects of hydrophobicity and other parameters on coal recovery, *American Chemical Society National Meeting in Los Angeles, CA*, Sep. 25-30.
- Fan, C.W., Markuszewski, R., Wheelock, T.D., 1992, Effect of multivalent cations on oil agglomeration of coal and pyrite, *Coal preparation*, 11, 167-175.
- Fecko, P., Pectova, I., Ovcari, P., Cablik, V., Tora, B., 2005, Influence of petrographical composition on coal floatability, *Fuel*, 84, 1901-1904.
- Firth, B.A., Swanson, A.R., Nicol, S.K., 1981, Flotation circuits for poorly floating coals, *International Journal of Mineral Processing*, 8, 239.
- Fuerstenau, D.W., Rosenbaum, J.M., Laskowski, J., 1983, Effect of surface functional groups on the flotation of coal, *Colloids and Surfaces*, 8, 153-173.
- Fuerstenau, D.W., Yang, C.C., Laskowski, J.S., 1987, *Coal preparation*, 4, 161.
- Garcia, A.B., Vega, J.M.G., Martinez-Tarazona, M.R., 1995, Effects of oil concentration and particle size on the cleaning of Spanish high rank coals by agglomeration with n-heptane, *Fuel*, 74(11), 1692-1697.
- Garcia, A.B., Martinez-Tarazona, M.R., Vega, J.M.G., 1996, Cleaning of Spanish high-rank coals by agglomeration with vegetable oils, *Fuel*, 75(7), 885-890.
- Gence, N., 2006, Coal recovery from bituminous coal by agglototation with petroleum oils, *Fuel*, 85, 1138-1142.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Gutierrez-Rodriguez, J.A., Aplan, F.F., 1984, The effect of oxygen on the hydrophobicity and floatability of coal, *Colloids and Surfaces*, 12, 27-51.

Güney, A., Önal, G., Ergut, Ö., 2002, Beneficiation of fine coal by using the free jet flotation system, *Fuel Processing Technology*, 75, 141-150.

Gürses, A., Doymuş, K., Bayrakçeken, S., 1996, Selective oil agglomeration of Brown coal: a systematic investigation of the design and process variables in the conditioning step, *Fuel*, 75(10), 1175-1180.

Gürses, A., Doymuş, K., Bayrakçeken, S., 1997, Evaluation of response of brown coal to selective oil agglomeration by zeta potential measurements of the agglomerates, *Fuel*, 76(14/15), 1439-1444.

Gürses, A., Doymuş, K., Doğar, Ç., Yalçın, M., 2003, Investigation of agglomeration rates of two Turkish lignites, *Energy Conversion and Management*, 44, 1247-1257.

<http://tr.wikipedia.org>

Hussain, S.A., 1990, Kerosine flotation of Lakhra lignite, *Proceedings of the III. International Mineral Processing Symposium, İstanbul, Turkey*, 284-293.

Işıganer, T., 1985, Mardin-Silopi-Harbol (Aksu) ve Üçkardeşler asfaltit filonlarına ait jeoloji raporu, *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara*, 92.

Jia, R., Harris, G.H., Fuerstenau, D.W., 2000, An improved class of universal collectors for the flotation of oxidized and/or low-rank coal, *International Journal of Mineral Processing*, 58, 99-118.

Kahraman, F., Abakay, H., Ayhan, F.D., 2002, Hazro (Diyarbakır) kömürünün yıkanabilirliği, 40/41, 229-236.

Kemal, M., 1987, Kömür teknolojisi, Dokuz eylül Üniversitesi, İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Laskowski, J.S. and Yu, Z., 2000, Oil agglomeration and its effect on beneficiation and filtration of low-rank/oxidized coals, *International Journal of Mineral Processing*, 58, 237-252.

Lebküchner, R.F., 1969, Occurences of the asphaltic substances in SE Turkey, *Maden Tetkik Arama Enst. Bull.*, 72, 74-96.

Lebküchner, R.F., Orhun, F., Wolf, M., 1972, Asphaltic substances in Southeastern Turkey, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 56, 1939-1964.

Leonard, W.G., Greer, R.T., Markuszewski, R., Wheelock, T.D., 1981, Coal desulfurization and deashing by oil agglomeration, *Separation science and technology*, 16(10), 1589-1609.

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Raporu, 1982, Asfaltit rezervlerimiz ve değerlendirme imkanları, Ankara.

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Raporu, 1990, Asfaltitler ve Türkiye'deki asfaltit yatakları, Ankara.

Martinez, O., Diez, C., Miles, N., Shah, C., Moran, A., 2003, Biodesulphurization as a complement to the physical cleaning of coal, *Fuel*, 82, 1085-1090.

Mishra, B.K., Yu, Q., Hu, W., 1990, Autogenous carrier flotation for low-ash and low-sulfur coal production, 7 th Annual International Pittsburgh Coal Conference, 671-679.

Mishra, M., Kumar, S., Chatterje, F., 1991, Floatability and dielectric characterization of the Intrinsic moisture of coal of different ranks, *Coal Preparation*, 9, 131-140.

Naik, P.K., Reddy, P.S.R., Misra, V.N., 2004, Optimization of coal flotation using statistical technique, *Fuel Processing Technology*, 85, 1473-1485.

Onlina, T. and Aplan, F.F., 1989, Surface properties of coal as influenced by collectors, In: Chiang, S.H., editor, *Proceedings Annual Technical Conference on Filtration and Separation*, Kingwood, TX:American Filtration Society, 37-44.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Osasere, O.F., 2000, Relation of contact angle data to Hallimond tube flotation of coal with coagulants and flocculants, *Fuel*, 79, 193-199.
- Önal, G. ve Güney, A., 1998, Kömür hazırlama yöntemleri ve tesisleri (editör:Orhan Kural), İstanbul, 269-297.
- Önal, G. ve Atak, S., 1988, Kömür hazırlama ve tesisleri, Kömür Kimyası & Teknolojisi (editör: Orhan Kural), 143-168.
- Öney, Ö., 1993, The enrichment of Zonguldak fine coal by flotation, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniv., İzmir.
- Özbayoğlu, G., 1994, Kömür zenginleştirme yöntemleri, Cevher Hazırlama El Kitabı (editörler:Güven Önal ve Gündüz Ateşok), 349-365.
- Özbayoğlu, G. ve Bilgen, S., 1997, Türkiye’de kömür yıkama tesisleri, Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri IV, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, 107-123.
- Özbayoğlu, G., 1998, Advanced coal cleaning techniques for fines, *Ore Dressing*, 1,1-11.
- Özkan, A., Aydoğan, S., Yekeler, M., 2005, Critical solution surface tension for oil agglomeration, *International Journal of Mineral Processing*, 76, 83-91.
- Özpeker, I., 1988, Kömürün oluşumu, petrografisi ve sınıflandırılması, Kömür (ed.Orhan Kural)
- Parnell, J., 1994a, The occurrence of authigenic minerals in solid bitumens, *Journal of Sedimentary Research*, A64, 95-100.
- Parnell, J., 1994b, Hydrocarbons and other fluids:Paragenesis, interactions and exploration potential inferred from petrographic studies, *Geofluids:Origin, Migration and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins Geological Society Special Publication*, 78, 275-291.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Pawlak, W., Goddard, R., Janiak, J., Turak, A., Ignasiak, B., 1985, Oil agglomeration of low-rank coals, Tenth Annual EPRI Contrator's Conference on Clean Liquid and Solid Fuels, California, 1-20.
- Pawlak, W., Turak, A., Janiak, J., Briker, Y., Ignasiak, B., 1986, Oil agglomeration of low-rank coals and development of methods for recovery of oil from agglomerates, 11 th Annual EPRI Contractor's Conference on Clean Liquid and Solid Fuels, California, 20, 1-20.
- Penha, F.G., Oliveire, M.P.de., Araujo, J.G.de., Farias, J.B.de., Debacher, N.A., 2004, Coal nad clay flotation using dodeciltrimethylammonium bromide (C₁₂TAB) and sodium dodecylsulfate (SDS), Applied Mineralogy, 1025-1028.
- Pişkin, S. ve Akgün, M., 1997, The effect of premixing on the flotation of oxidized Amasra coal, Fuel Processing Technology, 51, 1-6.
- Polat, M., Polat, H., Chander, S., 2003, Physical and chemical interactions in coal flotation, International Journal of Mineral Processing, 72, 199-213.
- Sadowski, Z., Venkatadri, R., Druding, J.M., Markuszewski, R., Wheelock, T.D., 1988, Behavior of oxidized coal during oil agglomeration, Coal preparation, 6, 17-34.
- Saltoğlu, T., Akyüz, T., Alparslan, E., 1978, Quantitative determination of molybdenum, nickel, vanadium and titanium in the asphaltites and asphaltite ashes by XRF-Spectroscopy, Turkish Mineral Resources Exploration Bulletin, 91, 89-93.
- Sarıkaya, M. ve Özbayoğlu, G., 1995, Flotation characteristics of oxidized coal, Fuel, 74(2), 291-294.
- Shrauti, S.M., Arnold, D.W., 1995, Recovery of waste fine coal by oil agglomeration, Fuel, 74(3), 459-465.
- Shu, X., Wang, Z., Xu, J., 2002, Separation and preparation of macerals in Shenfu coals by flotation, Fuel, 81, 495-501.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sis, H., Özbayoğlu, G., Sarıkaya, M., 2002, Comparison of non-ionic and ionic collectors in the flotation of Zonguldak coal fines, IXth International Mineral Processing Symposium, Kapadokya, Turkey, 197.
- Sis, H., Özbayoğlu, G., Sarıkaya, M., 2003, Comparison of non-ionic and ionic collectors in the flotation of coal fines, Minerals Engineering, 16, 399-401.
- Soykan Kömür İşletmesi, 1997, Adıyaman-Gölbaşı Soykan kömür İşletmesi, Tanıtım ve Gelişimi (editörler: Ş. Ozanözgü, S. Toker, O. Atan, M. Alpmen, A. Özgüngör, İ. Selvi), Ankara.
- Stachurski, J., Abdel-Khalek, N.A., 1990, Effect of surface oxidation on the flotation of coals of different rank, Soc. Min. Eng., AIME, 11,2.
- Sun, A. and Sun, H.E., 1984, Şırnak-Avgamasya (Siirt ili) asfaltit filonunda 1981-1983 yıllarında yapılan sondajlı çalışmaların raporu, Maden Tetkik arma Genel Müdürlüğü, Derleme no:1519.
- Sun, S.C., 1954, Hypothesis for different floatabilities of coals, carbons and hydrocarbon minerals, Trans. AIME, 199, 67.
- Tuncalı, E., Çiftçi, B., Yavuz, N., Toprak, S., Köker, A., Gencer, Z., Ayçık, H., Şahin, N., 2002, Türkiye tersiyer kömürlerinin kimyasal ve teknolojik özellikleri, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Türkiye Kömür İşletmesi Genel Müdürlüğü, 2006, <http://www.tki.gov.tr>.
- Uçbaş, Y., 1988, Zonguldak ince kömürlerinin yağ aglomerasyonu ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü, Ankara.
- Uçbaş, Y., 1991, Süspansiyonlarda gerçekleştirilen koagülasyon, flokülasyon ve aglomerasyon işlemlerinin oluşum mekanizmaları, Mesleki Geliştirme Seminerleri, Cevher Hazırlama Sistemleri, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ünal, İ., Aktaş, Z., Olcay, A., 2000, Bitümlü kömür ve linyitin yağ aglomerasyonu, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak-Kdz. Ereğli, Türkiye, 251-260.
- Ünal, İ.ve Aktaş, Z., 2001, Effect of various bridging liquids on coal fines agglomeration performance, Fuel Processing Technology, 69, 141-155.
- Ünal, İ., Erşan, M.G., 2005, Oil agglomeration of a lignite treated with microwave energy; Effect of particle size and bridging oil, Fuel processing Technology, 87, 71-76.
- Ünlü, M., 1990, Linyitlerimizin yıkanabilme özellikleri ve yıkanma olanakları, 3. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İstanbul, 274-286.
- Ünlü, M., 1992, Kömür yıkama sonuçlarının değerlendirilmesi-Yeni bir yöntem
- Valdes, A.F. and Garcia, A.B., 2006, On the utilization of waste vegetable oils (WVO) as agglomerants to recover coal from coal fines cleaning wastes (CFCW), Fuel, 85, 607-614.
- Vamvuka, D.and Agridiotis, V., 2001, The effect of chemical reagents on lignite flotation, International Journal of Mineral Processing, 61, 209-224.
- Venkatadri, R., Markuszewski, R., Wheelock, T.D., 1988, Oil agglomeration of weakly hydrophobic coals and coal/pyrite mixtures, Energy&Fuels, 2, 145.
- Wen, W.W. and Sun, S.C., 1977, An electrokinetic study on the amine flotation of oxidized coal, Trans. AIME, 262, 174-180.
- Wen, W.W. and Sun, S.C., 1981, An electrokinetic study on the oil flotation of oxidized coal, Separation Science Technology, 16, 1491-1521.
- Wu, X.Q., Monhemius, A.J., Gochin, R.J., 2005, Quantitative assessment of hydrophobic agglomeration performance, Minerals Engineering, 18, 567-573.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

www.bitlis.gov.tr

www.seafriends.org.nz

Xu, Z., Liu, J., Choung, J.W., Zhou, Z., 2003, Electrokinetic study of clay interactions with coal in flotation, *International Journal of Mineral Processing*, 68, 183-196.

Yaman, S. ve Küçükbayrak, S., 1998, Kömürün içerdiği mineral maddenin kullanımına etkileri /Orhan Kural, editör), 139-149, İstanbul.

Yancey, H.F., Geer, M.R., 1979, Properties of coal and impurities in relation to preparation, (editors: J.W. Leonard and d.R. Mitchell), 3-55.

Yang, G.C.C., Markuszewski, R., Wheelock, T.D., 1988, Oil agglomeration of coal in inorganic salt solutions, *Coal Preparation*, 5, 133-146.

Yoon, R.H., Sabey, J.B., 1988, Coal flotation in inorganic salt solutions, *Coal Preparation Technology volume 1*, (Ed:D.G. Osborne), London.

Zimmerman, R.E., 1948, Flotation of bituminous coal, *Trans. AIME*, vol.177, 338-356.

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklamalar-A

1. Nem tayini

Kömürde iki türlü nem vardır.

1-Kaba nem tayini

Kömür numunesi, kırıcılarla kırıldıktan sonra 5 mm'lik elekten geçirilir. 5-10 kg nem örneği hassas tartılıp, güneşsiz ve hava akımı olmayan bir yere serilir. 24 saat sonra tekrar tartılır. Son ağırlık ile ilk ağırlık arasındaki farkın yüzdesi ile kaba nem tespit edilir (Sevinç, 1997).

$$\% \text{ Kaba nem} = \frac{(\text{I. Tartım}) - (\text{II. Tartım})}{\text{Numune tartımı}} \times 100$$

2- Bünye nem tayini

Kaba nemi alınmış kömür numunesi 0,2 mm'lik elekten geçecek şekilde öğütülüp, elekten geçirilir. Sabit tartımlı bir vezin kabına 5 gr civarında kömür hassas tartılır. 105-110 °C ayarlı etüvde 3 saat kurutulur. Desikatörde soğutulup tartılır. Son ağırlık ile ilk ağırlık arasındaki farkın yüzdesi, numune ağırlığına bölünerek bünye nemi tespit edilir (Sevinç, 1997).

$$\% \text{ Bünye nem} = \frac{(\text{I. Tartım}) - (\text{II. Tartım})}{\text{Numune tartımı}} \times 100$$

Kaba nem değerine, bünye nemi değeri eklenerek kömür numunesinin toplam nemi hesaplanır.

2. Kül tayini

TSE 1042 standardına göre, öğütülmüş 0,2 mm'lik elekten geçirilmiş ve 105 °C'de etüvde kurutularak nemi alınmış numune, desikatörde soğutulur. 1,5 cm derinlikli kapaklı porselen krozenin içine 0,15 gr/cm²'den fazla olmayan bir tabaka meydana getirecek şekilde 1 gr kadar numune hassas olarak tartılır. İçerisine konan numune miktarını tayin etmek için kap, kapağı kapalı olarak tartılır. Kap ve kapağı birbirinden ayrı olarak oda sıcaklığındaki Muffel fırınına konulur. Linyit sırası ile 250 °C'ye kadar 30 dakika, 250 °C'den 500 °C'ye kadar 30 dakika ve 500 °C'den 815 °C'ye kadar 60 dakika ısıtılır. Krozeler, kapakları ile kapatılarak fırından çıkarılır. Önce 5 dakika soğuk ve kalın bir metal levha üzerinde daha sonra bir desikatöre bırakılarak soğutulur. Desikatörde yaklaşık 15 dakika bekletilen krozeler, kapakları ile birlikte tartılır. Kızdırma işlemi, numune sabit tartıma gelinceye kadar tekrarlanır (Sevinç, 1997).

$$\% \text{ Kül} = (M_3 - M_1) / (M_2 - M_1) \times 100$$

M₁= Boş krozenin kapağı ile birlikte tartımı (gr)

M₂= Krozenin numune ile birlikte kapaklı tartımı (gr)

M₃= Krozenin kül ve kapaklı tartımı (gr)

3. Uçucu madde tayini

TSE 711 standardına göre, sabit tartımlı kuvars krozeeye 105 °C'de kurutulmuş kömür numunesinden hassas terazide 1 gr tartılır (I. Tartım). 900 °C'de ısıtılmış fırında kapaklı krozeler 7 dakika bekletilip, çıkarılır. Dışarıda biraz bekletildikten sonra desikatörde soğutulur ve hassas terazide tartılır (II: Tartım) (Sevinç, 1997).

$$\% \text{ Uçucu madde} = \frac{(\text{I. Tartım}) - (\text{II. Tartım})}{\text{Numune tartımı}} \times 100$$

% Sabit karbon = $100 - (\text{Kül} + \text{uçucu maddeler})$

% Kok miktarı = Sabit karbon + kül

% Gaz miktarı = $100 - \text{kok miktarı}$ (Sevinç, 1997)

4. Kükürt tayini

1- Toplam kükürt tayini

Toplam kükürt tayini gravimetrik yöntem ile tespit edilmiştir. Bunun için öncelikle Eschka karışımı hazırlanır. Eschka karışımı, ağırlıkça iki kısım kurutulmuş MgO ve bir kısım Na_2CO_3 ile karıştırılarak hazırlanır. Daha sonra öğütülerek 0,2 mm'lik bir elekten geçirilir. Kömür numunesi (0,2 mm'lik elekten geçirilmiş kuru numune) 0,5 – 1 gr hassas tartılıp temiz bir zeminde 2,5 gr'lık Eschka karışımı üzerine dökülerek iyice karıştırılır. Krozenin dibine bir spatül Eschka karışımı, ortaya Eschka'lı numune alınıp üstü tekrar Eschka karışımı ile örtülür. Kroze, soğuk fırına konur. Fırın 1 saat içerisinde 800 ± 25 °C'ye erişecek şekilde ısıtılır, bu sıcaklıkta iken kroze 1,5 saat daha fırında bekletilir. Sonra çıkarılıp soğutulur.

Krozenin içindekiler, içerisinde 30 ml. su bulunan 400 ml. beher içine alınır. Krozenin içi 50 ml. kadar sıcak su ile tamamen yıkanır ve yıkama suları beherde toplanır. Beher içindeki katı maddeleri çözmek için normal 17 ml. HCl ihtiyaç vardır. Beher ısıtıcı üzerinde ısıtılıp bagetle karıştırılır. CO_2 gidermek için 5 dakika kaynatılır. Beyaz bantlı süzgeç kağıdından süzülür. Süzgeç kağıdı 5 defa sıcak su ile yıkanır. Süzüntüye 2-3 damla metil kırmızısı katılır. İndikatör rengi değişip eser miktarda çözelti meydana gelinceye kadar NH_3 çözeltisi ilave edilir. Çözelti tekrar çözününceye kadar HCl ilave edilir. %10'luk BaCl_2 çözeltisinden, 10 ml. çözeltiye ilave edilir. Çözelti kaynama noktasına yakın bir sıcaklıkta 30 dakika bekletilir. Uzun boyunlu bir huniye yerleştirilen iki kez asitle yıkanmış külsüz mavi bantlı süzgeç kağıdından süzülür. Süzgeç kağıdı sıcak su ile yıkanır. Süzgeç kağıdı, sabit tartıma gelmiş ve tartılmış porselen kroze veya platin kroze içine bırakılır. Muffel fırını içinde 800 ± 25 °C sıcaklıkta 15 dakika süre ile yakılır. Daha sonra soğutulularak tartılır. Son tartımdan boş krozenin ağırlığının çıkarılması ile bulunan BaSO_4 ağırlığı yardımı ile kömürdeki toplam kükürt miktarı hesaplanır (Sevinç, 1997).

$$\% \text{ Toplam kükürt} = S / \text{BaSO}_4 \times \frac{\text{tartım (gr)}}{\text{Kömür numunesi (gr)}} \times 100$$

2- Sülfat kükürt tayini

ASTM D 2492-77 standardına göre kömür numunesinden (0,2 mm'lik elekten geçirilmiş kuru numune) 20 gr numune alınır. 1000 ml'lik behere konularak üzerine 200 ml.HCl (2+3) ilave edilir. Kömürün tamamı ıslanıncaya kadar karıştırılıp 30 dakika magnetik karıştırıcıda ısıtılır. Soğutulduktan sonra üzerine 50 ml. saf su ilave edildikten sonra 10 dakika bekletilip süzme işlemi yapılır. 6 defa saf su ile yıkandıktan sonra yıkanan kömürler süzgeç kağıdı ile beraber başka bir behere aktarılır. Oluşmuş olan çözeltiye 5 ml. derişik NH₃ ilave edilerek ortama geçen demirler çöktürülür. Çökelek çözeltiden ayrılarak çözeltinin pH'sı 1-2 oluncaya kadar ortama HCl ilave edilir. Çözelti ısıtılarak 20 ml. 1 M BaCl₂ çözeltisi ilave edilir. BaSO₄ sıcak su banyosunda veya 1-2 saat bekletilerek BaSO₄ tamamen çöktürülür. Süzme işlemleri yapıldıktan sonra çökelti 5-6 defa saf su ile yıkanır. Daha önce 750 °C'de 2 saat fırında bekletilen porselen krozelerin boş tartımları alınarak BaSO₄ süzgeç kağıdı ile beraber krozelerin içine konularak 750 °C'ye ısıtılmış fırının içinde 2 saat bekletilir. Aşağıdaki formülden yararlanılarak sülfat kükürdü hesaplanır (Pişkin, 1988).

$$\% \text{ Sülfat kükürt} = (A - B) / W \times 13,735$$

A = Çöktürülen BaSO₄ 'ın porselen kroze ile birlikte ağırlığı (gr)

B = Porselen krozenin boş ağırlığı (gr)

W = Kömür numunesinin ağırlığı (gr)

3- Piritik kükürt tayini

Sülfat kükürdünün ekstraksiyonu sonucunda arta kalan kömür numunelerinin üzerine 200 ml. HNO₃ (1+7) ilave edilir. Üzeri saat camı ile kapatılarak 30 dakika ısıtılır. Soğutulduktan sonra süzme işlemleri yapılarak 5-6 defa saf su ile yıkanır. Çözeltinin üzerine 10 ml. %35'lik H₂O₂ ilave edilir. Ortama geçebilecek sülfürleri sülfatlara yükseltgemek için 5 dakika kaynatılır. Sülfat kükürdünün belirlenmesi işlemlerinde belirtilen yöntem ile piritik kükürt hesaplanmaktadır (Pişkin, 1988).

4- Organik Kükürt tayini

Organik kükürt, kömürün toplam kükürt değerinden, piritik kükürt ve sülfat kükürdünün çıkarılması ile hesaplanmaktadır (Pişkin, 1988).

$$\% \text{ Organik kükürt} = \text{Toplam kükürt} - (\text{Piritik kükürt} + \text{sülfat kükürt})$$

5. Isıl değer tayini

Isıl değer tayini, LECO AC 350 izotermal cihazı kullanılarak MTA Genel Müdürlüğünde yapılmıştır.

6. X-Ray analizi

Kömür numunesinin X-Ray analizi, Philips marka X-Ray analiz cihazı kullanılarak MTA Genel Müdürlüğünde yapılmıştır.

7. Major element analizi

Major element tayini, XRF Spektrofotometre cihazı kullanılarak MTA Genel Müdürlüğünde yapılmıştır.

8. Petrografik analiz

Kömür numunesinin petrografik analizi, MPVSP Leitz cihazı kullanılarak MTA Genel Müdürlüğünde yapılmıştır.

Ek Açıklamalar-B

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan yanabilir verim, toplam kül azalması, toplam kükürt azalması değerlerinin hesaplanması şu şekilde yapılmıştır.

$$\text{Yanabilir verim (\%)} = \frac{(100 - \text{konsantre kül oranı}) \times \text{konsantre miktarı}}{(100 - \text{besleme malı kül oranı}) \times \text{besleme malı miktarı}} \times 100$$

$$\text{Kül azalması (\%)} = \frac{\text{Besleme malı kül oranı} - \text{konsantre kül oranı}}{\text{Besleme malı kül oranı}} \times 100$$

$$\text{T.kükürt azalması (\%)} = \frac{\text{Besleme malı t. kükürt oranı} - \text{konsantre t. kükürt oranı}}{\text{Besleme malı toplam kükürt oranı}} \times 100$$

Ek Açıklamalar-C

Çizelge C.1. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin nem oranının güne göre değişimi (Şekil 8.1)

Gün	Nem (%)
0	48,66
5	40,07
10	35,72
15	27,68
20	18,35
25	16,83
30	15,79
35	15,46
40	14,87
45	14,5
50	14,33
55	14,27
60	14,15

Çizelge C.2. Adıyaman-Gölbaşı linyitinin öğütme testlerinin toplu sonuçları (Şekil 8.2)

Tane boyutu (mm)	Birikimli elek altı (%)						
	30 dk.	45 dk.	60 dk.	75 dk.	90 dk.	105 dk.	120 dk.
+0,850	-	-	-	-	-	-	-
-0,850+0,5	-	-	-	-	-	-	-
-0,5+0,212	100	100	100	-	-	-	-
-0,212+0,1	83	96	99	100	100	100	-
-0,1+0,075	52	66	77	88	92	97	100
-0,075+0,045	39	48	58	68	72	76	91
-0,045+0,038	27	32	41	47	51	54	70
-0,038	17	19	22	26	29,50	32	46

Ek Açıklamalar-D

Çizelge D.1. -50+20 mm tane boyutu yüzdürme-batırma deney sonuçları (Şekil 8.3)

Yoğunluk (g/cm ³)	Yüzen			Toplamalı Yüzen			Toplamalı Batan			Y	± 0.1 Yoğunluk Ayırma Değeri
	Ağ. (%) M	Kül (%) K	İçerik MxK	Ağ. (%) ΣM	İçerik ΣMxK	Kül (%) $\frac{\Sigma MxK}{\Sigma M}$	Ağ. (%) ΣM	İçerik ΣMxK	Kül (%) $\frac{\Sigma MxK}{\Sigma M}$		
1,3 Yüzen	13,83	19,36	267,75	13,83	267,75	19,36	100	2961,06	29,61	6,92	-
1,3-1,4	35,76	25,12	898,29	49,59	1166,04	23,51	86,17	2693,31	31,26	31,71	66,39
1,4-1,5	30,63	31,30	958,72	80,22	2124,76	26,49	50,41	1795,02	35,61	64,91	-
1,5 Batan	19,78	42,28	836,30	100	2961,06	29,61	19,78	836,30	42,28	90,11	-
Toplam	100	29,61	2961,06								

Çizelge D.3. -4,75+0,5 mm tane boyutu yüzdürme-batırma deney sonuçları (Şekil 8.5)

[illegible]

Ek Açıklamalar-E

Çizelge E.1. Katı oranının karıştırma ve şlam atma üzerindeki etkisi (Şekil 8.6)

Katı oranı (%)	+ 0,038 mm'lik kısım		
	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
2,5	54,40	29,01	54,75
5,0	62,71	28,57	63,51
7,5	65,38	28,38	66,39
10,0	74,00	28,29	75,24
12,5	68,91	28,73	69,63
15,0	64,27	29,14	64,57
20,0	60,31	29,61	60,19
Besleme	100,00	29,47	100,00

Çizelge E.2. NaOH'in karıştırma ve şlam atma üzerindeki etkisi (Şekil 8.7)

NaOH (gr/lt)	+ 0,038 mm'lik kısım		
	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir Verim (%)
0,125	60,84	29,11	61,15
0,250	61,88	28,77	62,49
0,500	61,88	28,87	62,41
1,000	61,87	28,97	62,31
1,500	60,75	29,03	61,13
2,000	60,63	29,36	60,72
Besleme	100,00	29,47	100,00

Çizelge E.3. HCl'in karıştırma ve şlam atma üzerindeki etkisi (Şekil 8.8)

HCl (Molarite)	+ 0,038 mm'lik kısım		
	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir verim (%)
0,0125	62,38	29,38	62,46
0,0250	63,13	29,27	63,31
0,0500	65,25	28,74	65,93
0,0750	66,88	28,56	67,74
0,1000	64,19	29,14	64,49
0,2000	61,88	29,57	61,79
Besleme	100,00	29,47	100,00

Ek Açıklamalar-F

Çizelge F.1. Öğütme süresinin flotasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.9 ve Şekil 8.10)

Öğütme süresi (dakika)	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
30	44,83	28,10	2,62	3,68	45,58
45	46,36	27,85	2,60	4,41	47,20
60	48,57	27,01	2,57	5,51	49,89
75	56,88	26,63	2,54	6,62	58,20
90	58,00	26,40	2,50	8,09	59,41
105	57,33	27,12	2,55	6,25	58,15
120	56,41	28,03	2,58	5,15	57,20
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge F.2. Katı oranının flotasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.11 ve Şekil 8.12)

Katı oranı (%)	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
5	49,86	27,15	2,48	8,82	50,55
10	58,00	26,40	2,50	8,09	59,41
15	60,00	25,88	2,46	9,56	61,90
20	63,20	25,12	2,45	9,93	65,87
25	51,65	25,67	2,47	9,19	53,43
30	49,38	26,43	2,49	8,46	50,56
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge F.3. pH'nın flotasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.13 ve Şekil 8.14)

pH	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
4	62,05	25,33	2,41	11,40	64,95
5	63,02	24,55	2,40	11,76	66,18
6	64,20	24,04	2,37	12,87	67,87
7	63,20	25,12	2,45	9,93	65,87
8	59,80	25,88	2,39	12,13	61,69
9	58,33	26,17	2,40	11,76	59,94
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge F.4. Na₂SiO₃'ın flotasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.15)

Na ₂ SiO ₃ (gr/ton)	Konsantre		
	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir verim (%)
50	66,83	27,18	67,73
100	64,32	26,54	65,76
125	63,68	25,87	65,70
250	62,86	25,73	64,98
500	61,32	26,15	63,03
750	62,89	26,43	64,40
1000	64,59	26,87	65,74
1500	63,10	27,85	63,36
Besleme	100,00	28,15	100,00

Çizelge F.5. Calgon'un flotasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.16)

Calgon (gr/ton)	Konsantre		
	Ağ. (%)	Kül (%)	Yanabilir verim (%)
50	68,43	27,63	68,93
100	66,21	27,57	66,74
125	64,58	27,45	65,21
250	62,96	27,31	63,70
500	61,78	26,79	62,95
750	63,73	26,02	65,62
1000	65,16	26,25	66,88
1500	66,14	27,14	67,07
Besleme	100,00	28,15	100,00

Çizelge F.6. Toplayıcı miktarının flotasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.17 ve Şekil 8.18)

Toplayıcı Miktarı (kg/ton)	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
0,25	62,29	25,31	2,23	18,01	64,75
0,50	63,80	24,18	2,19	19,49	67,33
1,00	64,97	23,41	2,15	20,96	69,26
2,00	65,22	22,27	2,14	21,32	70,56
2,50	66,84	21,62	2,12	22,06	72,91
3,00	67,90	21,02	2,10	22,79	74,64
3,50	66,46	21,53	2,11	22,43	72,58
4,00	65,43	22,17	2,13	21,69	70,88
4,50	64,71	22,48	2,16	20,59	69,82
5,00	63,26	22,67	2,15	20,96	68,08
5,50	62,12	22,80	2,13	21,69	66,75
6,00	62,53	22,51	2,14	21,32	67,44
6,50	63,47	22,34	2,17	20,22	68,60
7,00	64,65	22,25	2,19	19,49	69,96
7,50	65,14	23,19	2,21	18,75	69,64
8,00	64,70	23,48	2,25	17,28	68,91
10,00	63,28	24,76	2,28	16,18	66,27
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge F.7. Köpürtücü miktarının flotasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.19 ve Şekil 8.20)

Köpürtücü miktarı (kg/ton)	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
0,025	50,83	23,45	1,55	43,01	54,15
0,050	55,74	22,09	1,51	44,49	60,44
0,075	63,93	21,56	1,48	45,59	69,79
0,100	67,04	20,10	1,42	47,79	74,55
0,250	68,51	19,47	1,39	48,90	76,79
0,500	69,30	18,24	1,37	49,63	78,86
0,750	68,28	19,38	1,41	48,16	76,61
1,000	67,62	20,46	1,47	45,96	74,86
1,250	67,49	21,58	1,54	43,38	73,66
1,500	66,65	20,64	1,53	43,75	73,62
1,750	68,91	19,85	1,52	44,12	76,87
2,000	67,61	20,81	1,56	42,65	74,52
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Ek Açıklamalar-G

Çizelge G.1. pH'nın aglomerasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.25 ve Şekil 8.26)

pH	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
4	60,61	24,63	2,25	17,28	63,58
5	62,04	23,52	2,23	18,01	66,04
6	64,29	22,48	2,21	18,75	69,36
7	63,15	23,02	2,22	18,38	67,66
8	61,79	24,11	2,24	17,65	65,26
9	59,05	25,78	2,26	16,91	61,00
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge G.2. Katı oranının aglomerasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.27 ve Şekil 8.28)

Katı oranı (%)	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
2,0	61,92	23,39	2,23	18,01	66,02
5,0	64,29	22,48	2,21	18,75	69,36
10,0	65,05	20,13	2,10	22,79	72,31
12,5	63,96	21,36	2,15	20,96	70,00
15,0	60,20	22,18	2,13	21,69	65,20
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge G.3. Bağlayıcı oranının aglomerasyona etkisi (Şekil 8.29 ve Şekil 8.30)

Oran (%)	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Yanabilir verim (%)
5	65,24	20,02	1,46	46,32	72,62
10	66,20	17,80	1,47	45,96	75,74
15	67,63	17,28	1,38	49,26	77,86
20	68,95	16,60	1,33	51,10	80,03
25	69,18	18,28	1,41	48,16	78,68
30	67,58	18,50	1,43	47,43	76,66
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge G.4. NaCl'ün aglomerasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.31 ve Şekil 8.32)

NaCl (mg/lt)	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam күкүрт azalması (%)	Yanabilir verim (%)
100	61,82	16,67	1,32	51,47	71,70
200	64,42	16,56	1,34	50,74	74,81
300	67,07	15,21	1,31	51,84	79,15
400	65,48	16,29	1,35	50,37	76,29
500	63,55	17,33	1,38	49,26	73,12
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge G.5. MgCl₂'ün aglomerasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.33 ve Şekil 8.34)

MgCl ₂ (mg/lt)	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam күкүрт azalması (%)	Yanabilir verim (%)
100	60,76	16,25	1,30	52,21	70,82
200	67,98	15,44	1,27	53,31	80,00
300	68,26	16,04	1,32	51,47	79,76
400	65,44	17,35	1,34	50,74	75,28
500	63,98	16,83	1,31	51,84	74,06
Besleme	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Çizelge G.6. FeCl₃'ün aglomerasyon üzerindeki etkisi (Şekil 8.43 ve Şekil 8.44)

FeCl ₃ (mg/lt)	Konsantre				
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam күкүрт azalması (%)	Yanabilir verim (%)
100	66,90	15,14	1,47	45,96	79,01
200	67,86	14,89	1,45	46,69	80,38
300	65,15	16,11	1,48	45,59	76,07
400	66,65	17,22	1,46	46,32	76,79
500	63,19	18,05	1,50	44,85	72,07
Besleme malı	100,00	28,15	2,72	100,00	100,00

Ek Açıklamalar-H

Çizelge H.1. %5 Şırnak asfaltiti ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.46 ve Şekil 8.47)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (6,80)	31,82	24,14	2,45	10,58	15,54	33,80
6	56,06	23,08	2,32	15,33	19,24	60,38
7	53,79	22,75	2,21	19,34	20,40	58,18
8	58,67	23,28	2,40	12,41	18,54	63,02

Çizelge H.2. %10 Şırnak asfaltiti ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.46 ve Şekil 8.47)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (6,88)	45,03	21,49	2,18	21,01	25,95	49,81
6	74,74	19,15	1,80	34,78	34,01	85,13
7	69,58	19,62	2,35	14,86	32,39	78,79
8	70,80	20,21	2,41	12,68	30,36	79,59

Çizelge H.3. %15 Şırnak asfaltiti ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.46 ve Şekil 8.47)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (6,91)	50,17	24,61	2,20	20,86	16,44	53,61
6	74,50	23,11	1,86	33,09	21,53	81,19
7	72,19	23,58	2,39	14,03	19,93	78,20
8	73,68	24,13	2,44	12,23	18,06	79,24

Çizelge H.4. %25 Şırnak asfaltiti ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.46 ve Şekil 8.47)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (7,03)	58,98	26,65	1,99	29,43	12,08	62,08
6	74,29	27,53	2,37	15,96	9,17	77,25
7	73,95	27,27	2,10	25,53	9,04	77,18
8	74,87	29,65	2,40	14,89	2,18	75,58

Çizelge H.5. %50 Şırnak asfaltiti ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.46 ve Şekil 8.47)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (7,13)	73,79	29,11	2,15	26,37	10,38	77,47
6	75,28	30,19	2,62	10,17	7,05	77,83
7	74,04	30,72	2,51	14,04	5,42	75,97
8	73,22	31,53	1,95	33,22	2,92	74,25

Çizelge H.6. %75 Şırnak asfaltiti ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.46 ve Şekil 8.47)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (7,20)	76,68	31,11	2,57	14,90	10,19	80,82
6	78,70	33,08	2,69	10,93	4,50	80,58
7	77,92	32,70	2,65	12,25	5,60	80,23
8	77,76	32,61	2,63	12,91	5,86	80,18

Çizelge H.7. %5 Hazro kömürü ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.48 ve Şekil 8.49)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (7,01)	25,96	23,01	2,20	19,71	16,63	3,14
6	56,30	21,68	2,09	23,72	21,45	60,90
7	57,43	23,54	2,14	21,90	14,71	60,65
8	53,10	22,70	2,12	22,63	17,75	56,69

Çizelge H.8. %10 Hazro kömürü ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.48 ve Şekil 8.49)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (7,06)	38,18	20,87	2,10	23,91	22,85	41,41
6	62,05	21,07	2,06	25,36	22,11	67,14
7	62,50	21,71	1,98	28,26	19,74	67,08
8	60,00	22,19	2,15	22,10	17,97	64,00

Çizelge H.9. %15 Hazro kömürü ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.48 ve Şekil 8.49)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (7,09)	50,71	19,16	2,02	27,34	27,70	55,77
6	71,62	21,60	1,85	33,45	18,49	76,39
7	71,85	20,50	2,11	24,10	22,64	77,72
8	70,18	22,89	2,19	21,22	13,62	73,63

Çizelge H.10. %25 Hazro kömürü ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.48 ve Şekil 8.49)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (7,11)	75,31	14,23	1,71	39,15	43,98	86,59
6	77,23	17,54	1,95	30,60	30,94	85,37
7	76,50	16,61	2,03	27,76	34,61	85,51
8	78,73	18,76	2,21	21,35	26,14	85,74

Çizelge H.11. %50 Hazro kömürü ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.48 ve Şekil 8.49)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (7,15)	79,84	22,09	2,16	25,77	6,89	80,42
6	80,50	21,30	2,10	27,84	10,38	81,90
7	79,63	21,50	2,07	28,87	9,49	80,81
8	80,07	21,16	2,14	26,46	10,99	81,61

Çizelge H.12. %75 Hazro kömürü ile agloflotasyon sonuçları (Şekil 8.48 ve Şekil 8.49)

pH	Konsantre					
	Ağ. (%)	Kül (%)	Toplam kükürt (%)	Toplam kükürt azalması (%)	Kül azalması (%)	Yanabilir verim (%)
Doğal (7,19)	80,53	18,31	2,45	18,33	7,94	82,12
6	79,96	18,88	2,40	20,00	5,08	80,97
7	80,51	18,25	2,34	22,00	8,25	82,16
8	79,17	18,45	2,30	23,33	7,24	80,59

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Diyarbakır'ın Çınar ilçesinde doğdu. İlk, orta öğrenimini burada tamamladı. 1993 yılında Çınar Lisesi'nden mezun oldu. 1993-1997 yılları arasında Dicle Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümünden birincilik derecesi alarak mezun oldu. 1999-2001 yılları arasında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisansı tamamladı. Evli olup, bir çocuk annesidir.