

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FALCON AYIRICISI İLE KÖMÜRDEN KÜKÜRDÜN
UZAKLAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hüseyin BAŞTÜRKÇÜ**

**Ana Bilim Dalı: Cevher Hazırlama Mühendisliği
Programı : Cevher Hazırlama Mühendisliği**

OCAK 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FALCON AYIRICISI İLE KÖMÜRDEN KÜKÜRDÜN
UZAKLAŞTIRILMASI AYIRICILARINDAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hüseyin BAŞTÜRKÇÜ
505091107**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01 Mart 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ocak 2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Neşet ACARKAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ayhan A. SİRKECİ (İTÜ)
Prof. Dr. Şafak ÖZKAN (İÜ)**

Ocak 2011

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez, İstanbul Teknik Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü'nde, “Falcon Ayırıcısı ile Kömürden Kükürdün Uzaklaştırılması” adıyla hazırlanmıştır. Çalışmanın deney ve yazım dâhil her aşamasında desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Neşet ACARKAN'a, tecrübelerini benimle paylaşan Arş. Gör. Ozan KÖKKILIÇ'a ve Arş. Gör. Ünzile YENİAL ile Arş. Gör. Beste EVEN'e, analiz konusunda yardımcı dokunan Kimya Mühendisi Sezin BAKAN ve Maden Mühendisi Cihan ÖZDİLEK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Parlak kesit numunelerinin incelenmesinde katkısı olan Sayın Prof. Dr. Ali Haydar GÜLTEKİN'e ve kıymetli zamanını bize ayıran Sayın Prof. Dr. Yalçın KAYTAZ'a da teşekkür ederim.

Aralık 2010

Hüseyin BAŞTÜRKÇÜ

Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Kömürün Tanımı ve Sınıflandırılması.....	3
2.2 Kömürün Oluşumu	5
2.2.1 Turbaların Oluşumu.....	6
2.2.2 Turbaların Kömüre Dönüşmesi	6
2.3 Kömürün Özellikleri.....	7
2.3.1 Kimyasal Özellikler	8
2.3.2 Fiziksel Özellikler	8
2.4 Kömürün İçerdiği Safsızlıklar	10
2.4.1 Nem	10
2.4.2 Kül	11
2.4.3 Kükürt	11
2.5 Kömürün Petrografik İçeriği	13
2.6 Kömürün Zenginleştirilmesi	14
2.6.1 Yaş Zenginleştirme Yöntemleri	14
2.6.2 Kuru Zenginleştirme Yöntemleri	28
2.7 Kullanım alanları.....	31
2.8 Kömür Üretim ve Tüketimi	32
2.9 Türkiye’de Kömür Potansiyeli	33
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
3.1 Deneylere Esas Olan Numuneler	37
3.2 Numune Özellikleri	37
3.2.1 Mineralojik Özellikler	38
3.2.2 Boyut Dağılımı.....	39
3.3 Yöntem	40
3.4 Falcon Ayırıcı ile Yapılan Zenginleştirme Deneyleri	41
3.4.1 Besleme Miktarının Ayırmaya Etkisi	42
3.4.2 Tane Boyutunun Ayırmaya Etkisi	43
3.4.3 Beslemedeki Pülpte Katı Oranının ve G Kuvvetinin Ayırmaya Etkisi	44
3.4.4 Zenginleştirme Devre Tertibinin Ayırmaya Etkisi.....	47
4. SONUÇLAR.....	49
KAYNAKLAR.....	51

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Uluslararası genel kömür sınıflaması.....	3
Çizelge 2.2 : Çeşitli ranklarda (kömürleşme derecelerinde) kömür özellikleri	4
Çizelge 2.3 : Amerikan standardı kömür sınıflaması (ASTM, 1981)	5
Çizelge 2.4 : Odun, turba, ve çeşitli kömür türlerinin kimyasal bileşimleri.....	7
Çizelge 2.5 : Kömürün petrografik içeriği.....	13
Çizelge 3.1 : Tüvenan numunenin tam kömür analizi sonuçları.....	36
Çizelge 3.2 : Tüvenan numunenin elek analizi sonucu	38
Çizelge 3.3 : -3,36 mm boyutundaki numunenin elek analizi sonucu	39
Çizelge 3.4 : Besleme miktarının ayırmaya etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları.....	42
Çizelge 3.5 : Tane boyutunun ayırmaya etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları..	43
Çizelge 3.6 : % 10 pülpte katı oranında ve değişik G kuvvetlerinde yapılan deneylerin sonuçları	44
Çizelge 3.7 : % 20 pülpte katı oranında ve değişik G kuvvetlerinde yapılan deneylerin sonuçları.....	45
Çizelge 3.8 : % 30 pülpte katı oranında ve değişik G kuvvetlerinde yapılan deneyler.....	46
Çizelge 3.9 : Devre tertibinin uygulandığı deneyin sonuçları.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Feldspat yataklı jig.....	17
Şekil 2.2 : Ağır ortam siklonunun şematik (a) ve tesis içindeki (b) görünümü.....	17
Şekil 2.3 : Dyna Whirlpool ayırıcısının şematik görünümü	18
Şekil 2.4 : Dyna Whirlpool ayırıcısının tesis ölçekli görünümü.....	19
Şekil 2.5 : Flotasyon hücresi.....	21
Şekil 2.6 : Laboratuvar ölçekli SB40 model Falcon Konsantratörü	23
Şekil 2.7 : Endüstriyel ölçekli Falcon Konsantratörleri (a) Antapite Gold-Peru, (b) Akka Gold Mine, (c) Kazzink SB2500 ve (d) Anglo Gold SB750	25
Şekil 2.8 : Falcon ayırıcısında tabakalaşmanın şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.9 : Knelson ayırıcısının fotoğrafı ve şematik görünüsü.....	26
Şekil 2.10 : Hava-manyetiteli ağır ortam ayırıcısı	30
Şekil 2.11 : Havalı masanın şematik görünümü	30
Şekil 2.12 : Stump AirFlow jigi	31
Şekil 2.13 : AllAir Jig	31
Şekil 2.14 : Kömürün elektrik üretimindeki payı.....	32
Şekil 2.15 : Dünyada kömür üretim-tüketimi... ..	33
Şekil 2.16 : Türkiye’de kömür üretim-tüketimi (milyon TEP).....	34
Şekil 3.1 : Tunçbilek numunesi parlak kesitinde pirit tanelerinin görünümü.....	40
Şekil 3.2 : Tüvenan kömür numunesinin toplam elektaltı eğrisi	41
Şekil 3.3 : -3,36 mm boyutundaki kömür numunesinin toplam elektaltı eğrisi.....	42
Şekil 3.4 : Falcon deney seti	43
Şekil 3.5 : Tane boyutuna bağlı olarak değişen kükürt içeriği	46
Şekil 3.6 : Değişik pülpte katı oranlarında değişen kükürt içeriği.....	48
Şekil 3.7 : Değişik pülpte katı oranlarında değişen kül içeriği.....	49
Şekil 3.8 : Zenginleştirme devre tertibi akım şeması.....	51

FALCON AYIRICISI İLE KÖMÜRDEN KÜKÜRDÜN UZAKLAŞTIRILMASI

ÖZET

Son yıllarda, dünya genelinde çevre kirliliğinin önüne geçilmesi amacıyla uygulanan protokoller ve çıkartılan yasalar, temiz kömür teknolojilerinin önemini arttırmıştır. Kömürden kükürt ve külün uzaklaştırılarak daha temiz bir malzeme elde edilmesi doğrultusunda yeni cihazlar geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi olan Falcon ayırıcısı ile ülkemiz kömür sahalarından Tunçbilek yöresine ait yüksek kükürt içerikli kömür numunesi ile zenginleştirme deneyleri yapılmıştır. Deneyler kapsamında -212, -106, -74 ve -38 µm tane boyutlarında deneyler yapılmış ve en uygun tane boyutu -74 µm olarak belirlenmiştir. Sonrasında, numune % 10, 20 ve 30 pülpte katı oranlarının her birinde 50, 100, 200 ve 300 G kuvvetlerinde Falcon ayırıcısına beslenmiştir. Alınan en iyi sonuç, % 30 pülpte katı oranında 300 G olarak tespit edilmiş, sonrasında bu koşullarda daha temiz bir konsantre elde etmek amacıyla kömür numunesi arka arkaya iki defa daha zenginleştirilmiştir. Yapılan deneylerden, Tunçbilek kömür numunesinden Falcon ayırıcısı ile piritik kükürdün % 50 - 60'ının uzaklaştırılabileceği belirlenmiştir.

REMOVAL OF SULPHUR FROM COAL WITH FALCON CONCENTRATOR

SUMMARY

In recent years, the significance of clean coal technology has increased through global protocols and legislations in order to prevent environmental pollution. Therefore, new devices are developed. One of these devices – Falcon Concentrator – was used for the experiments on high sulphur contented coal samples of Tunçbilek zone. Within the scope of experiments four different particle sizes of -212, -106, -74 and -38 μm were experimented. It was seen that the highest recovery was obtained with -74 μm . Afterwards, G forces of 50, 100, 200 and 300 were tested with each solid ratios of 10, 20, and 30 %. Since the optimum conditions were observed as the solid ratio of 30 % and 300 G, under these conditions, coal sample was fed to Falcon for three times in series so as to get a cleaner concentrate. Ultimately, it was determined that 50 – 60% of pyritic sulphur could be removed from Tunçbilek coal sample with Falcon concentrator.

1. GİRİŞ

Enerji, tarih boyunca ekonomik ve toplumsal kalkınmanın önde gelen etkenlerinden biri olmuş ve özellikle sanayi devrimi ile başlayıp günümüze kadar geçen zaman diliminde, kazandığı önem sayesinde, enerji arz kaynağı ülkeler ile talep merkezi ülkeleri birçok kez soğuk ya da sıcak çatışmalarla karşı karşıya getirmiştir.

Dünya enerji ihtiyacının % 87'si kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlarca, geri kalanı ise, başta hidrolik ve nükleer olmak üzere, diğer kaynaklardan karşılanmaktadır. Kömür, fosil yakıtlar içinde petrol eşdeğeri olarak en büyük rezerve sahip olup, bilinen kömür rezervlerinin 240 yıllık ömrü olduğu hesaplanmaktadır. Kömürün 2009 yılında dünya elektrik üretimindeki payı % 41 olmuştur ve Avrupa Birliği'nin 2020 yılı enerji talep projeksiyonunda, enerji kaynakları paylarındaki en büyük artış kömürde görülmektedir [28,41].

Her ne kadar son yıllarda elektrik üretiminde doğal gazın payı artsa da, kömürün kullanımı, diğer birincil kaynaklara göre her zaman daha yüksek oranlarda olmuştur. Bununla beraber, diğer kaynaklara kıyasla dünya üzerinde daha yaygın ve bol miktarlarda bulunması, daha kolay erişilebilme, taşınabilme ve daha emniyetli depolanabilme özellikleri ve temiz kömür teknolojilerinin hızlı gelişimi ile birlikte kömür, gelecekte de önemini koruyacak bir kaynaktır [28,41].

Enerji kaynaklarından petrol ve doğal gazda dışa bağımlılık nedeniyle, ülkemiz için kömür bir kat daha önemlidir. Türkiye Kömür İşletmeleri'nin hesaplarına göre ülkemiz 9,3 milyar ton linyit rezervine sahiptir. Bu rezervin büyük bir kısmı ise yüksek kül, kükürt ve nem içeriklidir [28,41].

Linyit rezervlerimizin bu özellikleri dikkate alındığında, bunların termik santrallerde, endüstride ve ısınmada kullanılmaları sırasında hem en ekonomik yanmayı hem de çevreyi en düşük düzeyde kirletmelerini sağlamak amacıyla kalitelerinin iyileştirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu amaçla, kömürde safsızlık olarak bulunan kül, kükürt, nem, fosfor ve alkalilerin az olması istenmektedir. Ülkemiz kömürleri açısından ise, kül ve piritik kükürt içeriğinin azaltılmasına yönelik

Çalışmalarda ortaya çıkan en önemli sorun, kömür içindeki kül ve piritik kükürdün genellikle ince tane boyutlarında serbestleşmesidir. Bu aşamada kömür hazırlama, kömürün yerden çıkarılmasıyla kullanılması arasında vazgeçilmez bir işlem olarak görülmekte ve uygulanmaktadır [28,41].

Bu çalışmanın amacını, yüksek kükürtlü kömürlerden kl ve kükürdün Falcon ayırıcısı ile uzaklaştırılma olanaklarının araştırılması oluşturmaktadır. Falcon ayırıcısının özellikle çok küçük boyutlu cevherlerin zenginleştirilmesine olanak tanınması, kömürdeki ince dağılımlı piritik kükürdün uzaklaştırılmasında da Falcon ayırıcısını gündeme getirmiştir.

Bu tez çalışması, kömür hakkında genel bilgileri, Falcon ayırıcısıyla yapılan zenginleştirme deneylerini ve sonuçlarını kapsamaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Kömürün Tanımı ve Sınıflandırılması

Yeterli miktarda yanıcı organik bileşen içeren ve gerektiğinde bir takım işlemler sonrasında yakacak olarak kullanılabilen kayalara mineral yakıt adı verilmektedir. Bitümlü şist ve petrolün yanı sıra kömür de bir mineral yakıt olup, genellikle % 50 oranında yanabilen madde içeren kayaları tanımlamaktadır [40].

Kömür; çoğunlukla karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan, az miktarda kükürt ve nitrojen içeren, kimyasal ve fiziksel olarak farklı yapıya sahip madendir. Diğer bileşenleri ise külü teşkil eden inorganik bileşikler ve mineral maddelerdir. Bazı kömürler ısıtılınca ergir ve plastik hale gelirler. İşlemler sonucunda katran, likör ve çeşitli gazlar elde edilebilmektedir [34].

Kömürleşme süreci ve yataklanma, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden kömürler çok çeşitlilik gösterirler. Bu durum birçok ülkede kömürlerin birbirine benzer özellikler ve yakın değerler temelinde sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır. Kömür üretimi, kullanımı ve teknolojisinde ileri ülkeler öncelikle kendi kömürlerinin özelliklerine göre bir sınıflama yaptıkları gibi uluslararası genel bir sınıflama için ortak standartlar da geliştirmişlerdir [34].

Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenen sınıflamada; ısı değeri, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak kömürler sert ve kahverengi kömürler olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır. Uluslararası genel kömür sınıflaması Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

a) Sert kömürler; ıslak ve külsüz bazda 5,700 kcal/kg’ın üzerinde kalorifik değerdedir. Uçucu madde içeriği, kalorifik değeri 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 değere göre alt sınıflara ayrılırlar.

Çizelge 2.1 : Uluslararası genel kömür sınıflaması.

Sert Kömürler	Kahverengi Kömürler
1- Koklaşabilir Kömürler (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine uygun kalitede)	1- Alt Bitümlü (4.165 - 5.700 kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği yoktur)
2- Koklaşmayan Kömürler	2- Linyit (4.165 kcal/kg'nin altında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
a) Bitümlü Kömürler	
b) Antrasit	

Uluslararası kömür sınıflamasında kabul edilen diğer bir sınıflama işlemi ise Kömür Rank Sınıflamasıdır (Kömürleşme Derecesi Sınıflaması). Bu sınıflandırmada karbon içeriği temel değişkendir. Yüksek ranklı (kömürleşme derecesi yüksek) kömürlerde uçucu madde içeriği, düşük ranklı (kömürleşme derecesi düşük) kömürlerde ise kalorifik değer baz alınarak sınıflandırılmıştır. Çizelge 2.2'de kömür rank sınıflaması ve özellikleri, Çizelge 2.3'te de Amerikan kömür sınıflamaları gösterilmiştir [34].

Çizelge 2.2 : Çeşitli ranklarda (kömürleşme derecelerinde) kömür özellikleri.

Rank (Kömürleşme Derecesi)	Uçucu Madde İçeriği % Ağırlık, Islak - Külsüz	Karbon İçeriği % Ağırlık, Islak - Külsüz	Kalorifik Değer Btu/Lb, Mineral Maddesiz	Nem İçeriği % Ağırlık
1. Linyit	69 - 44	76 - 62	8.300 - 6.300	52 - 30
2. Alt Bitümlü	52 - 40	80 - 71	11.500 - 8.300	30 - 12
3. Bitümlü				
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. Antrasit	14 - 2	99 - 91	14.000	5- 1

Çizelge 2.3 : Amerikan standardı kömür sınıflaması (ASTM, 1981).

		Sabit Karbon Sınırları * (%)		Uçucu Mineral Madde Sınırları* (%)		Isı Değeri (kcal/kg)	
Sınıf	Alt Grup	> =	<	>	< =	> =	<
Antrasit	Meta-antrasit	98			2	7.780	
	Antrasit	92	98	2		7.780	
	Semi-antrasit	86	92	8	14	7.780	
Bitümlü Kömürler	Düşük Uçuculu	78	86	14	22	7.780	
	Orta Uçuculu	69	78	22	31	7.780	
	Y. Uçuculu-A		69	31		7.780	
	Y. Uçuculu-B		69	31		7.220	7.780
	Y. Uçuculu-C		69	31		5.835	7.220
Alt Bitümlü Kömürler	Alt Bitümlü A		69	31		5.835	6.390
	Alt Bitümlü B		69	31		5.275	5.835
	Alt Bitümlü C		69	31		4.610	5.275
Linyit	Linyit A		69	31		3.500	4.610
	Linyit B		69	31			3.500

(*) Kuru mineral maddesiz bazda

2.2 Kömürün Oluşumu

Kömür, sedimanter organik bir kayaç olup fosil bir yakıttır. Karbon, hidrojen ve oksijen ana bileşimli olan kömürler bitki ve bitki artıklarının belirli şartlar altında başkalaşmasıyla oluşurlar. Bakteri ve mantar hücrelerinin faaliyetleri, oksitlenme, redüklenme, hidroliz ve damıtım ile su ortamında ısı ve basıncın etkileri bitkilerde fiziksel ve kimyasal değişikliklere yol açmaktadır. Rengin kararması, parlaklık, sertlik, sıklık ve kırılmanın artmasıyla fiziksel özelliklerin değiştiği anlaşılmaktadır. Rutubet ve karbon, hidrojen ile oksijen bileşiklerinden oluşan uçucu maddelerin (karbondioksit ve metan gazları gibi) kısmen kaybolarak azalması, geri kalan maddelerin molekül yapılarının değişikliğe uğraması, sabit karbon ve kül

oranlarının artması gibi değişiklikler ise kimyasal değişimlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır [19, 40]

Bitkilerin, doğa olaylarının etkisiyle zaman içinde fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğraması sonucu kömür oluşumu gerçekleşir ve bu dönüşüm esnasında temel iki olay meydana gelmektedir [40].

2.2.1 Turbaların oluşumu

Kömürleşmenin birinci basamağını oluşturan turbalar ya bataklıklarda yetişen bitkilerin öldükten sonra yıkılıp aynı yerde birikmeleriyle ya da belirli bir bölgedeki bitkilerin rüzgar ve seller ile taşınıp birikmeleri ile oluşmuşlardır. Ölü bitki kalıntılarının birikimi her ne şekilde olursa olsun, rutubet ve hava yardımı ile bakteri ve mantar hücresi gibi mikroorganizmaların faaliyetleriyle çürümeye uğrayıp zamanla bozuşurlar. Bu şekilde bozuşmuş bitki yığınları üzerinde yeni bitkiler yetişir, bir süre yaşar, ölür ve ayrışarak organik madde birikimine katkıda bulunur. Ayrıca başka bölgelerden de bozuşmuş bitki yığınları taşınarak yeni birikimlere neden olabilir. Yeni oluşan bu tabakalar, öncekileri su seviyesinin altına doğru iter. Durgun su ve üst tabakalar tarafından hava ile temasın kesilmesiyle birlikte mikroorganizmalar ölür ve bitki bozuşması yavaşlar. Fakat daha sonra meydana gelebilecek bir takım jeolojik hareketler bozuşmanın devamını sağlayabilir. Hava ile temasın kesildiği ortamlarda bitkiler belirli bir oranda ayrışmaya uğrasalar da geride karbonca zengin olan “turba” adı verilen bir katı artık kalır. Diğer kömür cinslerinin oluşumunu sağlayan bu ilk aşamada kömürün petrografik yapısı da ortaya çıkar [19, 40].

Turba oluşumunda bitki bölümlerinin bozuşma dereceleri birbirlerinden farklıdır. Yağlar daha hızlı bozunurken, selüloz ve karbonhidratlar daha yavaş bozunurlar. Spor, polen ve reçineler ise çok dayanıklı yapılarından dolayı bozuşmamış olarak kalabilirler. Nitekim, kömürlerde bozuşmamış durumda sık sık rastlanmaktadır. Renkleri sarı, kahverengi ve siyah olabilen turbaların sertliği düşüktür [19, 40].

2.2.2 Turbaların kömüre dönüşmesi

Üst tabakaların basıncı, dağ oluşumları ve tektonik olayların etkisi ile kömüre dönüşüm gerçekleşir. Yer kabuğunda meydana gelen basılma ve yükselmeler esnasında turba yatakları alt seviyelere inerler. Daha sonra üzerlerinde biriken kil, kum, marn gibi malzemelerden oluşan tabakaların basıncı altında sıkışırılır. Basılma

ve yükselmelerin zaman zaman yön değiştirmesi ve tabakaların kıvrımlaşması, turba yataklarına etki eden basıncın daha da artmasına sebep olur. Yer kabuğundaki hareketler, basınç artışı, kimyasal reaksiyonlar ve yer altı kaynaklarından gelen ısı turbaların kömüre dönüşümüne imkan verir [40].

Meydana gelen kimyasal değişiklikler esnasında nem azalmakta, karbondioksit ve metan gazları açığa çıkarak karbonca zenginleşme olmaktadır. Odundan turbaya ve daha sonra kademeli olarak antrasite kadar çeşitli kömür türlerine dönüşümler sırasındaki kimyasal değişiklikler Çizelge 2.4'te gösterilmiştir [40].

Çizelgeden de görüldüğü gibi, kömürleşme ilerledikçe oksijen ve uçucu madde oranları azalmakta, buna karşın karbon oranı yükselmektedir. Hidrojen içeriğinde ise yüksek sınıflı kömürlere gelinceye kadar önemli bir değişiklik olmamaktadır [40].

Çizelge 2.4 : Odun, turba ve çeşitli kömür türlerinin kimyasal bileşimleri.

Tür	Ham Durumdaki Nem, %	Kuru ve Külsüz Baza Göre, %			
		Karbon	Hidrojen	Oksijen	900°C'de Uçucu Madde
Odun	20	50	6.0	42.5	75
Turba	90	60	5.5	32.3	65
Kahverengi Kömür	60-40	60-70	~ 5.0	> 25	> 50
Linyit	40-20	65-75	~ 5.0	16-25	40-50
Alt Bitümlü	20-10	75-80	4.5-5.5	12-21	~ 45
Bitümlü	10	75-90	4.5-5.5	5-20	18-40
Yarı Bitümlü	< 5	90-92	4.0-4.5	4-5	5-20
Antrasit	< 5	92-94	3.0-4.0	3-4	1-5

Kil, kum, kalker, pirit gibi inorganik maddeler farklı boyutlarda ve düzensiz dağılımlarla kömür damarlarında bulunabilirler. Bu maddeler turba yataklarının oluşumu esnasında çökelme yoluyla, jeolojik hareketler sırasında dışarıdan karışma ile veya mineral taşıyan suların kömür damarları içine sonradan sızması sonucu meydana gelmişlerdir [40].

2.3 Kömürün Özellikleri

Kömürleşme esnasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimlerin milyonlarca yıl sürdüğü bilinmektedir. Bu süreç içinde farklı bitki türleri ve ortam koşullarının etkisiyle farklı türde kömür yataklarının oluşacağı gerçeği de ortaya çıkmaktadır. Bu

nedenle dünyadaki kömür yataklarının birbirlerinden farklı olduğunu, hatta aynı yatağın değişik kısımlarında bile farklılıklar gözlenebileceğini söylemek mümkündür [39].

2.3.1 Kimyasal özellikler

Yapı ve bileşim bakımından homojen olmayan kömür, kömürleşen kısımlara ve kömürleşme sürecine bağlı olarak bir takım farklılıklar gösterir. Karbon yüzdesi, kalorifik değer, uçucu madde, nem, hidrojen ve oksijen miktarı gibi kimyasal özelliklerin yarattığı farklılıklar Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Yeryüzüne yakınlığı ya da ocak çıkışında stokta bekletilme sebebiyle atmosferik etkilere maruz kalan kömürler oksidasyona uğrarlar. Oksidasyon, kömürün yüzebilirliğine etki etmekle birlikte temas açısını da düşürmekte ve bu özelliği ile flotasyonu negatif yönde etkilemektedir. Ayrıca okside olan kömür kolay ufalanabilirlik kazanır [39].

2.3.2 Fiziksel Özellikler

Özgül Ağırlık: Kömürün özgül ağırlığı; sabit karbon, uçucu madde, nem ve içerdiği kül miktarına bağlıdır. Kömürdeki kül miktarı arttıkça özgül ağırlık da artar. Burada kül yapıcı maddelerin cinsi de önemlidir. Saf kömürün özgül ağırlığı kömürün yaşına bağlı olarak değişmekte olup, linyitten antrasite doğru artmaktadır.

Linyit :0.5 – 1.30 gr/cm³

Bitümlü Kömür :1.15 – 1.50 gr/cm³

Antrasit :1.40 – 1.70 gr/cm³

Aynı sınıftaki kömürlerin özgül ağırlıklarının farklı olmasının sebebi, içerdikleri bünye küllerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, kömürlerdeki kül yapıcı ve kükürt taşıyıcı maddelerin özgül ağırlıkları kömürünkünden yüksektir. Bunlardan pirit 4.8 – 5.1, kil 2.6, jips 2.3, kaolin 2.6 ve kalsit 2.7 gr/cm³ özgül ağırlıklara sahiptir.

Sertlik: Kömürün sertliği, ait olduğu sınıfa bağlı olup, karbon ve uçucu madde miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Linyitlerden taş kömürüne doğru gidildikçe karbon içeriğinin artmasıyla orantılı olarak sertlik de artmakta fakat %80-82 karbon içeriğinden sonra sertlikte bir düşüş olmaktadır. %90-92 karbon içeriğinden sonra ise, yani antrasite doğru, sertlik aniden yükselmektedir. Kömürler

arasında genellikle en yumuşak olanı linyit, en sert ise antrasittir. Mohs sistemine göre antrasitin sertlik derecesi 2.73-3.0 arasındadır. Sertlik, ekonomik açıdan önemli olan ufalama ve öğütme özelliklerini etkilediğinden çok önemli bir parametredir.

Boyut Dağılımı: Satılacak kömürün kalitesinin belirlenmesinde, kömürün sahip olduğu kül, kükürt ve kalorifik değer gibi parça boyutu da önemli bir kriterdir. Üretilen kömürün boyut dağılımı kömürün yapısına ve uygulanan üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir.

Aşındırma: Bu özellik kömürdeki kül yapıcı maddelerden kaynaklanmakta olup ekonomik açıdan önemli bir faktördür. Madencilik uygulamaları sırasında delme, kesme ve taşıma araçlarında meydana gelen aşınmalar ile toz yakıt kullanan santrallerdeki öğütme sistemlerinde oluşan aşınmalar masrafa neden olmaktadır.

Mukavemet: Kömürün basınca karşı gösterdiği mukavemet, tahkimatlarda kullanılan kömür topuklarında ve boyut küçültme işlemlerinde önem taşır. Baskı mukavemeti kömürün cinsi ve petrografik yapısı ile ilgilidir. En düşük mukavemete, uçucu maddenin % 20-25 olduğu oranlarda rastlanır.

Ufalanabilirlik: Herhangi bir parçanın kendinden küçük parçalara kırılabilme eğilimidir. Kömürün ufalanabilirliği, sertlik, mukavemet, sıklık, elastiklik ve kırılgenlik gibi özelliklerine bağlıdır. Ufalanabilirliğe karşı en dirençli olan kömür linyit olup, en fazla ufalanma yarı bitümlü kömürlerde görülür.

Öğütülebilirlik: Kömürün öğütülebilirliği, sertlik, mukavemet ve kırılgenlik gibi diğer fiziksel özellikleriyle bağlantılıdır. Ayrıca, kömürleşme derecesi öğütmede önemli rol oynamaktadır. Öğütülebilirliği en yüksek olan, bir diğer ifadeyle en kolay öğütülebilen kömürler genellikle orta ve düşük uçucu maddeli olanlardır. Fakat, aynı sınıfa ait kömürlerin öğütülebilirlikleri arasında farklılıklar bulunabileceğinden kömürün kimyasal yapısının bilinmesiyle birlikte öğütülebilirliği hakkında daha kesin bilgiye ulaşılabilir.

Gözeneklilik: Kömürler oldukça gözenekli maddelerdir. Bu sebeple, çabuk yanma ve okside olma özelliği kazanmışlardır. Nem miktarı yüksek olan kömürler daha gözenekli bir yapıya sahiptirler. Linyitlerin gözenekliliğinin çoğunlukla %27-37 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Gözenekliliği yüksek olan kömürlerin, örneğin genç kömürler, toplam yüzey alanı da büyüktür. Bu sebeple, oksijenle daha çok temas ederek daha hızlı oksidasyona uğrarlar.

Renk ve Çizgi Rengi: Kömürler açık kahverengi ile siyah arasında değişen renge sahiptir. Üst sınıftaki kömürlerde siyah rengin açıktan koyuya farklı tonlarına rastlanır. Çizgi rengi, bitümlü kömürlerden daha düşük derecelilerde kahverenginin tonları arasında olurken, bitümlü ve daha yüksek derecelilerde ise kahverengi ve siyah arasındadır.

Parlaklık: Işığın madde yüzeyinden yansıma şiddeti olarak tanımlanan parlaklık, kömürün kalitesini belirlemede yeterli değildir. Çünkü en parlak kömür türü olarak bilinen antrasitin bile mat kısımları vardır. Linyitler çoğunlukla mat ve toprağımsı bir görünüme sahipken, bitümlü kömürler ise mat ile parlak arasında değişir.

Elektrik İletkenliği: Kömürün elektrik iletkenliği, kömürleşme derecesiyle doğru orantılıdır. Uçucu madde oranı azaldıkça, yani kömürleşme derecesi arttıkça, elektrik iletkenliğinin arttığını söylemek mümkündür. Ayrıca, ıslak linyitlerin elektrik iletkenliğinin kuru linyitlere oranla daha yüksek olduğu bilinmektedir [5, 19, 34, 39, 40].

2.4 Kömürün İçerdiği Safsızlıklar

Nem, kül ve kükürt kömürlerdeki belli başlı safsızlıklar olarak bilinir. Her üçünün de bir kısmı kömüre bağlı, bir kısmı da serbest halde bulunur. Serbest halde bulunan safsızlıkları fiziksel yöntemlerle uzaklaştırmak mümkündür.

2.4.1 Nem

Kömürlerde nem, yüzey nemi ve bünye nemi olmak üzere iki farklı şekilde bulunur. Adhezyon nemi, taneler arası nem ve adsorpsiyon nemi yüzey nemini oluştururken, kapiler nem ise bünye nemini oluşturmaktadır. Toplam nem de her iki nem türünün toplamı ile bulunur.

Bünye nemi, kömürleşme dercesine bağlı bir özellik olup kömürleşme arttıkça azalmaktadır. Turbalar % 75'in üzerinde, yumuşak linyitler % 35-75 ve sert linyitler de % 10-35 arasında nem içermektedir. Taşkömürü ve antrasitlerin nem oranı ise % 1-2 arasındadır. Kömürün sonradan rutubetlenmesi ile oluşan yüzey nemi, hava sıcaklığı ve havanın higroskopik nem oranına bağlı olarak, termik işlemlere gerek duyulmaksızın giderilebilmektedir [19]. Kaynağından uzakta kullanımı durumunda nakliye masraflarını düşürme ve aynı zamanda ısı değerinin yükseltilmesi amacıyla

kömürün kurutulması yarar sağlamaktadır. Ayrıca suyun varlığı kömür gazlaşma mekanizmasını, kuruma ve uçucu madde çıkışını, tutuşma sıcaklığını, biriktilenebilme özelliğini ve yakılabilme sınırlarını olumsuz yönde etkilemektedir [25].

2.4.2 Kül

Bütün kömürlerin yapısında organik olmayan maddeler bulunabilmektedir. Kömürün yakılmasından sonra, yanmamış halde kalan maddelerden oluşan artığa kül denir. Büyük bir kısmı kimyasal bileşim olarak silisyum, alüminyum ve demir oksitlerinden ibaret olan külün kömürlerde bulunuşu iki türdür: Bünye külü ve harici kül (istihsal külü – üretim külü) [37].

Bünye külü kömürdeki toplam külün % 2-3' ünü oluşturur ve kaynağı, kömürü oluşturan bitkilerden gelen inorganik maddelerdir. Harici kül ise, kömürü oluşturan bitkilerin dışında kömüre karışan yabancı maddelerdir. Bu yabancı maddeler kil, şist, kumtaşı, kireçtaşı ve benzerleri olup, kömürleşme esnasında ya da kömürleşmeden sonra kömür damarları içindeki çatlak ve kırıklardan kömürün yapısına karışabilir. Bunlar, kömür içinde mikroskopik parçalar halinde bulunabileceği gibi, damarlar ve/veya tabakalar halinde de bulunabilir. Ayrıca, yabancı maddeler, üretim esnasında tavan ve taban yantaşlarından da tüvenan kömüre karışabilir. Bunların tümü harici külü oluştururlar. Bünye külü, zenginleştirme yöntemleriyle uzaklaştırılmazken, harici kül tamamen uzaklaştırılabilmektedir [37].

Kömür külü analizlerinde genellikle SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , P_2O_5 , $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ saptanmaktadır. Bu oksitlerin kömür külündeki içeriği, kömürün olduğu jeolojik şartlara bağlıdır. Taş kömürü külünde SiO_2 ' ye, linyit kömürü külünde de CaO ' ya sıklıkla rastlanmaktadır. Buradan hareketle, taş kömürü külünün çoğunlukla asidik, linyit kömürü külünün ise bazik karakterli olduğu söylenebilmektedir. Baziklik derecesi arttıkça, kömür külünün ergime derecesi düşmekte olup termik santrak kazanlarında cürufleşme problemine sebep olmaktadır [19, 39].

2.4.3 Kükürt

Kömürlerde çok nadiren de olsa serbest kükürde rastlamak mümkün olmak birlikte, kömürde kükürt iki şekilde bulunmaktadır: Organik kükürt, inorganik kükürt.

Kükürt, metalürjide kullanılan kokun kalitesini düşürmekle birlikte kazanlarda korozyonu arttırır. Ayrıca, kömürün yanmasıyla ortaya çıkan SO_2 gazı çevre kirliliğine sebep olmaktadır. İnorganik kükürt fiziksel zenginleştirme yöntemlerle kömürden uzaklaştırılabilirken, organik kükürdü uzaklaştırmak için kimyasal zenginleştirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat yüksek sıcaklık ve basınç altında oluşacak reaksiyonun belirsizliği ile fazla miktarda kimyasal madde tüketimi, bu yöntemin kullanım alanını sınırlamaktadır. [32, 40].

Organik Kükürt: Kömürdeki hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunan kükürde organik kükürt denilmektedir. Organik kükürdün kaynağı, kömürü oluşturan bitkilerdir. Toprakta sülfatlar halinde alınan kükürt, bitkilerin organik yapısına yerleşir ve kömürleşme sona erdiğinde de organik bileşikler halinde kalır. Böylece organik kükürt, kömürün yapısında yer alarak onun bir parçasını durumuna dönüşür ve kendisini bağlayan kimyasal bağlar koparılmadıkça kömürden ayrılamaz. Bu açıdan, fiziksel zenginleştirme yöntemleriyle uzaklaştırılması mümkün değildir [40].

İnorganik Kükürt: İnorganik kükürt bileşikleri sülfürler ve sülfatlardan meydana gelir. Büyük bir kısmı pirit halinde, diğer kısmı da, demir, sodyum ve magnezyum elementlerinin sülfat tuzları halinde bulunmaktadır.

a) **Piritik Kükürt:** Kömürün oluşması esansında bünyesine katılan sıcak yeraltı sularındaki sülfat tuzların, bitki çürümesinde ortaya çıkan H_2S gazı ile girdiği kimyasal tepkime sonucu FeS_2 oluşur. Kömürde disülfür, FeS_2 'nin farklı iki kristal şekli olan pirit ve markasit halinde bulunmaktadır. Genellikle piritler markasitlerden fazladır. Aynı kimyasal yapıya sahip bu iki minerale piritin kristal yapısı kübik, markasitinki ise ortorombiktir.

b) **Sülfat Kükürdü:** Sülfat kükürdü, kömürde toplam kükürdün çok az bir kısmını oluşturur. Jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ya da $FeSO_4$ olarak bulunabilir. Sülfat tuzları, sülfirik asitin karbonatlar üzerindeki etkisiyle ya da sülfürlerin oksitlenmesiyle oluşabilirler. Hava ile uzun süre temasta kalması sonucunda sülfat kükürdü, özellikle demir sülfat, içeriğinde artış olduğu gözlenmiştir. Sülfat kükürdü içeriğinin çoğunlukla düşük olması sebebiyle kömür hazırlama işlemlerinde önemli bir sorun teşkil etmezler. Zaten, kömürün yaş zenginleştirilmesi esnasında suda çözünerek uzaklaşırlar [35, 40].

2.5 Kömürün Petrografik İçeriği

Yapısı itibariyle heterojen bir madde olan kömür, çeşitli fiziksel ve kimyasal bileşimlerdeki bitkisel kısımların metamorfizmasıyla oluşmuş ve yanabilir özelliğe sahip bir kayadır. Bitkisel kısımların ilk hallerindeki ve kömürleşme sürecindeki farklılıklar, kömürlerde değişik fiziksel ve kimyasal yapıda oluşumları meydana getirir [40].

Kömürün petrografik içeriği, koklaştırma, sıvılaştırma ve gazlaştırma alanlarında büyük önem kazanır. Bir taşkömürü numunesine gözle bakıldığında parlak ve donuk bantlardan oluştuğu gözlenir. Parlak bantlar vitren ve klaren iken, donuk bantlar düren ve füzendir. Bunların hepsine kömür kayacı anlamına gelen litotip denir. Litotipler de maserallerden oluşurlar. Maseraller, kömürleri oluşturan en küçük mikroskobik birimlerdir ve az veya çok homojen yapıya sahiptirler. İnorganik kayaların en küçük birimleri olan minerallere benzetilebilirler. Çizelge 2.5'te Stopes-Harleen kömür kayacık ve maseralleri sınıflandırılması verilmiştir. Maseraller bir araya gelip maseral gruplarını oluştururlar. Maseral grupları da gözle değil, sadece mikroskop altında görülebilirler. Vitrinit, inertinit ve eksinit terimleri bu maseral gruplarına verilen adlardır. Dört kömür kayacından sadece vitren ve füzen bir maseral veya maseral grubundan oluşur. Örneğin, vitren tamamen vitrinit ve füzen de tamamen inertinitdir. Düren ve klarende ise, bir maseral grubu hakimken diğer iki maseral grubu, bu kömür kayalarının az bir bölümünü oluştururlar [37].

Çizelge 2.5 : Kömürün petrografik içeriği.

Makroskobik	Mikroskobik	
Litotipler	Maseral Grupları	Maseraller
Vitren	Vitrinit	Kollinit, Tellinit
Klaren	Vitrinit çok, eksinit ve inertinit az bulunur	Kollinit, Tellinit, Sporinit, Kutinit, Alganit, Resinit, Fusinit, Mikrinit, Skleronit, Semi-Fusinit
Düren	İnertinit çok, vitrinit ve eksinit az bulunur	Fusinit, Mikrinit, Skleronit, Semi-Fusinit, Kollinit, Tellinit, Sporinit, Kutinit, Alganit, Resinit
Füzen	İnertinit	Fusinit

2.6 Kömürün Zenginleştirilmesi

Gelişmiş ülkelerde, kömürün üretildikten sonra doğrudan yakılması söz konusu olmamakla birlikte, uygulanan fiziksel, kimyasal ve ısıt işlemler ile kömürün niteliği değiştirilerek havayı en az kirleten yakıt elde edilmektedir. Bu aşamada kömürün içerdiği safsızlıklar olan kül, kükürt ve nem içeriğinin azaltılmasına çalışılır [29].

Türkiye’de 8.3 milyar ton linyit rezervi bulunmakta ve bu rezervin % 80’i 2500 kcal/kg’nin altında ısıt değere sahiptir. Isıt değerdeki bu düşüklük, kömürlerin büyük çoğunluğunun termik santrallerde kullanımını sağlamakta, ancak tüvenan olarak termik santrale beslenen kömürler, değirmenlerde ve kazan borularında aşınmalara, kurum oluşmasına, curuflaşma problemlerine ve üretim kayıplarına yol açmaktadır. Tüvenan beslemede, kaynağa bağlı kömür kalitesinde sürekli bir değişim yaşanması ve yüksek kül oranına sahip kömürün elektrik üretiminde kullanılması ve külünün depolanması ek maliyetlere neden olmaktadır. Bu maliyetleri gidermenin yolu ise kömür kül oranının düşürülmesidir [3].

Zenginleştirme yoluyla kömürün kül ve kükürt içeriğini düşürmek termik santral işletmeciliğinde çok büyük avantaj sağlamaktadır. Değirmen ve kazanlarda bakım-onarım giderlerindeki azalma kömür yıkamanın getireceği ilave yükü fazlasıyla karşılayabilmektedir. Kömür kül içeriği düşürülerek, kül depolama sorunları, bacadan çıkan partikül madde emisyonları ve ağır metal emisyonları azaltılır [3].

Üretim esnasında kömüre karışan yan kayaçlar, kömür damarına ara kesmelerden giren mineral madde ve kül içeren kısımların atılması ile kömürün ısıt değerini yükseltmek, kullanımını daha ekonomik bir hale getirmek ve yakılması sonucu oluşabilecek çevre ve hava kirliliğini en aza indirmek amacıyla uygulanan kömür zenginleştirme yöntemleri, yaş ve kuru olmak üzere iki grupta toplanır. Ayrıca bu zenginleştirme yöntemleri tane boyutuna göre, iri ve ince olarak, kendi içlerinde de ikiye ayrılmaktadır [19].

2.6.1 Yaş zenginleştirme yöntemleri

Yaş zenginleştirme yöntemlerinde iki temel yöntem vardır. Hazırlanan süspansiyonun yarattığı yüksek yoğunluklu ortamdan ve kullanılan aygıtın yarattığı ayırıcı kuvvetlerden yararlanılır [19].

İri Kömür Zenginleştirme: İri boyutlu kömür zenginleştirilmesinde üst boyut 150 veya 100 mm olarak seçilmektedir. Genellikle iri kömür zenginleştirmede ağır ortam ayırıcıları ve jigler kullanılmaktadır.

Ağır ortam ayırması hem iri hem de ince kömür zenginleştirilmesinde en geçerli yöntemlerden biridir. Ağır ortam süspansiyonları olarak manyetit ve zorunluluk halinde ferrosilikon kullanılmaktadır. Ancak ferrosilikonun pahalı olması sebebiyle ağır ortam ünitelerinde, 45 µm'nin altına öğütülen manyetit ile istenen özgül ağırlıkta bir süspansiyon hazırlanmaktadır. Yöntemin temel çalışma prensibi, kömür ve şistin özgül ağırlıkları arasında bir ortam yoğunluğunun seçilmesine dayanır. Böylelikle, hafif olan temiz kömür yüzerken, ağır olan şist batarak ayırma işlemi gerçekleşir. Bu yöntem, “Yüzdürme-Batırma” yöntemi olarak da adlandırılır. Jiglere göre daha yüksek verimle çalışmaktadır. Çünkü jiglerde yoğunluklarına göre ayrılan ürünler tabakalar halinde üst üste dururken, ağır ortamda ise yüzen ve batan olarak ayrılmaktadır [10, 19, 40].

Yüzen kısım (lave) taşma yoluyla, batan kısımlar da (mikst ve şist) banyo dibinden alınarak eleklerle verilirler. Bu sayede eleğin altına geçen ağır ortam doğrudan üniteye, elek üstü malzeme ise yıkanmak üzere yıkama eleğine gönderilir. İşletme giderleri göz önünde bulundurularak, yıkama eleğinden elde edilen elek altı kirli ağır ortam, temizlendikten ve ayarlandıktan sonra tekrar ağır ortam banyosuna verilir [10, 40].

Ağır ortamın yoğunluğu dışında viskozitesi de ayırmayı etkiler. Katıların süspansiyon içindeki hacmi arttıkça, süspansiyonun viskozitesi, yani süspansiyonun gang (ağır) tanelerinin batmasına karşı olan direnci de artmaktadır. Bu sebeple, süspansiyon viskozitesinin düşük tutulması ve viskoziteyi arttıran kil ve şlamın süspansiyondaki oranlarının yüksek olmaması gerekmektedir. Kil ve şlam miktarındaki artış süspansiyon viskozitesini artırdığı gibi, süspansiyon stabilitesini de olumsuz yönde etkilemektedir [19].

Dünya genelinde kömür zenginleştirme tesislerinin % 50'sinde jigler ve çeşitli tipleri kullanılır. Jigin çalışma prensibi, tanelerin özgül ağırlıklarına göre tabakalanmasına dayanır. Jigin periyodik olarak yukarı-aşağı hareketleriyle ağır ve hafif malzemenin ayrımı gerçekleşir. Ayırma ortamı olarak bazı tiplerinde hava kullanılsa da,

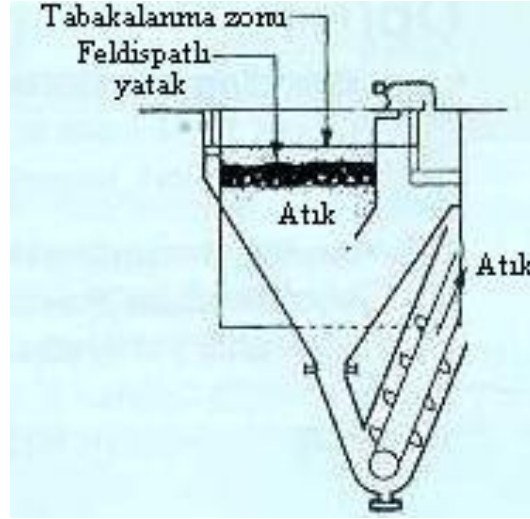
çoğunlukla su tercih edilir. Suyun pülsasyonu piston ya da hava ile sağlanarak kömür ve kömürle beraber olan artıklar özgül ağırlıklarına göre tabakalaşırlar [19, 21, 40].

Kömür yıkamada en sık kullanılan jig tipi Baum jigidir. Daha sonra, Baum jiglerinin performansını geliştirilerek daha büyük kapasiteli Batac jigleri dizayn edilmiştir. Baum jiginde basınçlı hava, jig eleğinin yanındaki hava odasından verilirken, Batac jiginde elek altına yerleştirilmiş hava odalarından sağlanır. Tabakalaşma sonunda dipte toplanan yüksek küllü ürün elevatörler aracılığıyla mikst ve şist olarak atılır. Kömür ise, su ile taşarak alınır. İyi bir tabakalaşmanın sağlanması hava basıncına, pülsasyonun hız ve genliğine bağlıdır [39, 40].

İnce Kömür Zenginleştirme: İnce kömürün zenginleştirilmesinde, en ucuz proseslerden biri gravite yöntemi ile zenginleştirmedir. Yüksek etkinlikleri ve düşük maliyetlerinden dolayı kömür hazırlamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Zenginleştirme için daha çok klasik gravite yöntemleri (jig, sarsıntılı masa, siklon, spiraller) ve flotasyon kullanılmıştır. Kömürlerin ince kısımlarındaki kil ve piritin uzaklaştırılması için gravitasyon yöntemlerinin uygulanamadığı durumlarda tercih edilen flotasyon yönteminin oksitlenmiş kömürde etkisiz kalması ve önemli ölçüde kil içeren kömürde iyi randıman alınamaması kömür zenginleştirmede yeni teknolojilerin gelişmesine neden olmuştur. Hızla artan teknolojik alanlardaki gelişmeler kömür hazırlama endüstrisine de yansımış ve günümüzde ince boyutlu kömürün zenginleştirilmesinde, Reichert spirali, kolon flotasyonu, Multi-Gravite ayırıcısı, Falcon ayırıcısı kullanılmaktadır [24, 33, 36].

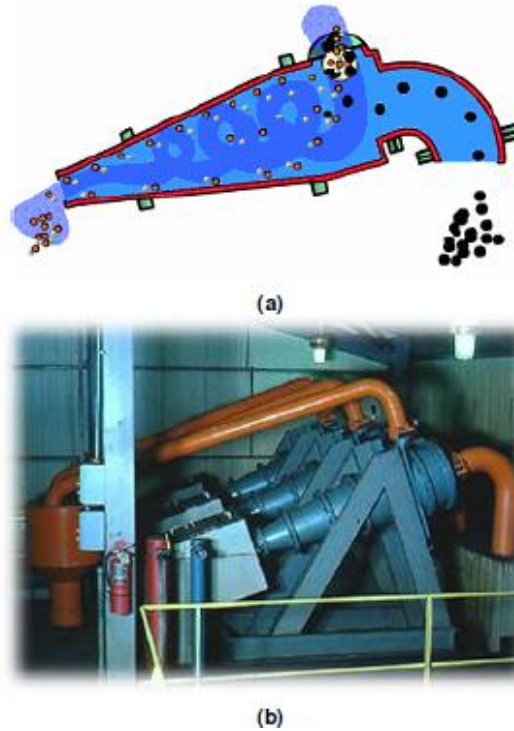
-18 mmm ince kömür zenginleştirmede kullanılan belli başlı yöntemler aşağıda verilmiştir.

a) **İnce Kömür Jigleri:** İri kömür zenginleştirme jiglerinden farklı olarak, zenginleşen kömürün tane boyutu daha küçük olduğu için suni bir yatak oluşturulmaktadır. Bunun için de genellikle feldspat kullanılır. 3-5 cm boyutundaki feldspat tanelerinin aralarından süzülerek teknede toplanan şist, elevatörlerle dışarı atılırken temiz kömür, feldspat yatağının üzerinden taşarak alınır. Feldspatlı jig'in şematik kesidi Şekil 2.1'de verilmiştir [19, 39].



Şekil 2.1 : Feldspat Yataklı Jig.

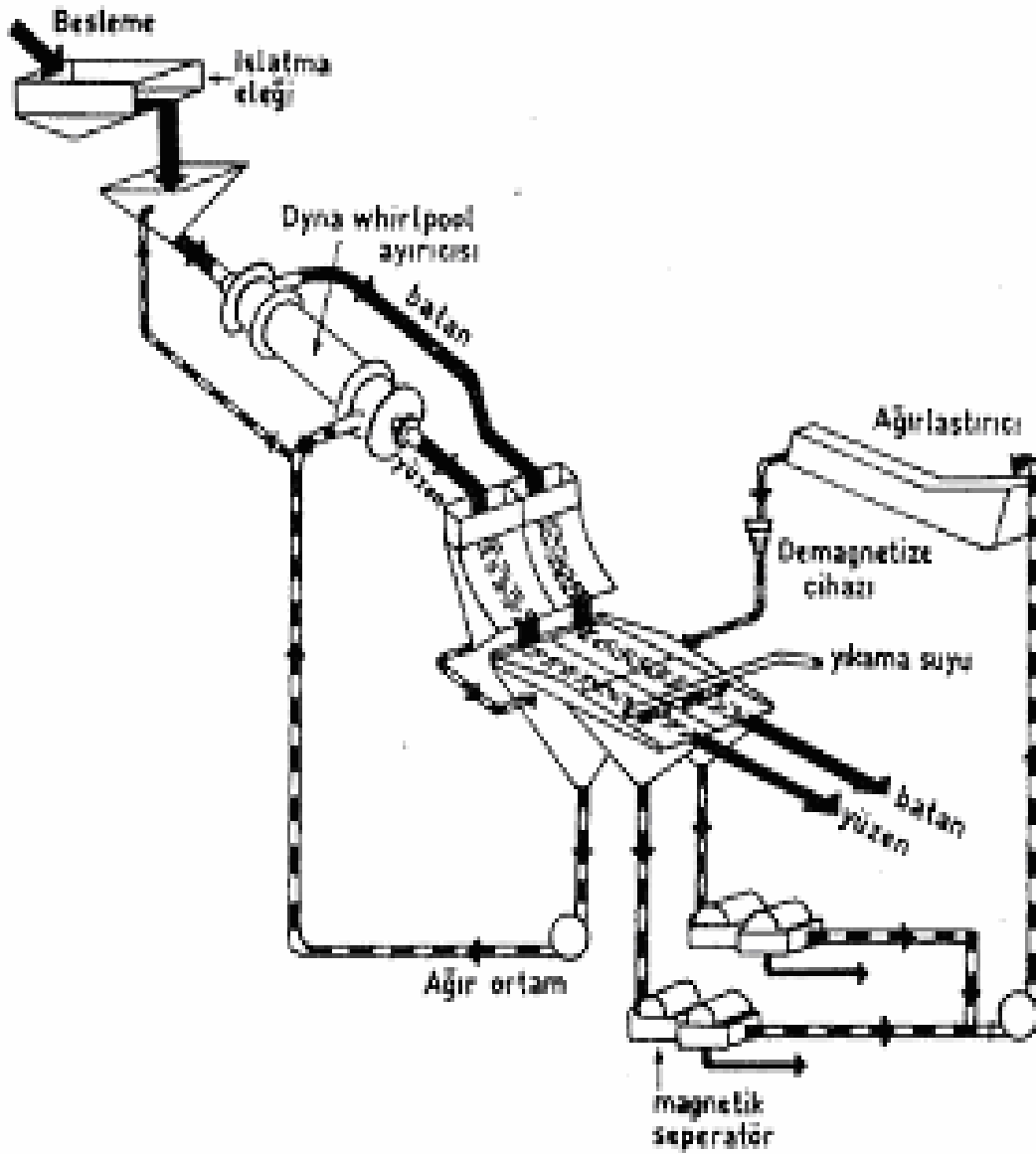
b) Ağır Ortam Ayırıcıları: İnce kömürün temizlenmesinde kullanılan ağır ortam cihazları siklon veya siklon tipi ünitelerdir. Ağır ortam ayırması ile zenginleştirmede 1950’li yıllardan sonra gelişme kaydedilmiştir. Santrifüj kuvvetinden yararlanan ağır ortam ayırıcılarında statik ayırıcılara göre daha küçük boyuttaki (-20+0,5 mm) kömürler zenginleştirilebilmektedir. Ağır ortam siklonunu şematik tesis içindeki görünümü Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Ağır ortam siklonunun şematik (a) ve tesis içindeki (b) görünümü.

Ağır ortam siklonlarının çalışma prensibi, hidrosiklonlarınkine benzer. Kömür, ince öğütülmüş manyetitle hazırlanmış ağır ortam ile karıştırılarak, basınç altında siklona beslenmektedir. Besleme kapasiteleri, ortalama 60 ton/saat'tir. Bu siklonlarda tane boyutu 40-50 mm olan kömürler zenginleştirilebilmektedir. Tane boyutu 100 mm'nin üzerindeki kömürlerde de uygulandığı bilinmektedir [27].

Ağır ortam siklonlarına güzel bir örnek olan Dyna Whirlpool ayırıcısı, esas itibariyle Larcodems ayırıcısına benzemektedir (Şekil 2.3 ve 2.4). Giriş ve çıkışlar, gövdenin her iki ucunda ve gövdeye teğet durumdadır. Kapasiteleri 100 ton/saat'e kadar ulaşabilmekte ve 100 mm'ye kadar olan kömürleri zenginleştirebilmektedir [27].



Şekil 2.3 : Dyna Whirlpool ayırıcısının şematik görünümü.



Şekil 2.4 : Dyna Whirlpool ayırıcısının tesis ölçekli görünümü.

c) Sarsıntılı Masalar: Sarsıntılı masalar ince kömürün temizlenmesinde yaygın olarak kullanılırlar. Belirli bir eğimde yerleştirilmiş masanın üzerine ince kömür pülöp halinde üstten beslenir. Masanın ileri-geri hareketiyle (ileri yavaş, geriye hızlı) çeşitli yoğunluklarda bölgeler oluşur. Masanın besleme yapılan yere göre en uç tarafından şist (atık) alınır. Cevher zenginleştirme işlemlerinde yıllardır kullanılan sarsıntılı masalar kömür hazırlamada da kullanılmaktadır. En çok bilinen Wilfley sarsıntılı masasının yerine kömür zenginleştirmede Deister masaları tercih edilmektedir. En çok ABD'deki tesislerde bulunmaktadır. İnce kömür zenginleştirmede daha çok Deister ve Wilfley adı verilen sarsıntılı masalar kullanılmakla birlikte; Sala, Humboldt-Wedag firmalarınca geliştirilen masalar da uygulama alanı bulmuştur [19, 36, 40].

d) Reichert Spirali: İlk defa 1960'lı yıllarda Avustralya'da Ernst Reichert tarafından sahil kumlarının zenginleştirilmesi için geliştirilmiştir. Reichert spirali başta Avustralya olmak üzere dünyada pek çok kömür hazırlama tesisinde 3 mm altı ince kömürlerin (özellikle 0,5 mm boyutlu ince kömürlerin) zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. % 35-45 katı oranındaki pülöp koniye beslendikten sonra

aşağı doğru akar ve bu esnada özgül ağırlığı düşük olan taneler akımın etkisiyle hızlanırken, yüksek özgül ağırlıklı taneler koni yüzeyine sürtünerek yavaşlarlar. Koninin alt kısmındaki ayırma sistemi gereği, yavaş ve hızlı akan gruplar ayrılmaktadır. Bu spiralleri, Humprey spirallerinden ayıran en önemli özellik; ürünleri almak için ayırma bıçaklarının kullanılması ve bu bıçakların istenildiği şekilde ayarlanabilmesidir. Bu ayırma bıçaklarından birisi, artık ürünü merkezden geçen boruya aktarmak için her hatvede kullanılmakta, diğer ikinci ve (varsa) üçüncü ayırma bıçağı spiralin bosalma ucunda bulunmaktadır. Ayırma bıçakları kendi eksenleri etrafında döndürülüp, istenilen konuma getirilebilirler. Bu sayede temiz kömür, ara ürün ve artık arzu edilen kalitede üretilmektedir [27, 36, 40].

e) Flotasyon: Genellikle 0.5 mm'den daha ince kömür dendiğinde de toz kömür anlaşılmaktadır. Yaklaşık 100 yıldan beri 0.5 mm altındaki malzemenin zenginleştirilmesinde flotasyon uygulanmaktadır. Kömür madenciliğinde mekanizasyonun gelişmesiyle birlikte elde edilen toz kömür oranının artması ve ince kısımlarda kül içeriğinin yüksek oluşu sebebiyle kömür flotasyonunun önemi artmıştır. Elde edilen temiz kömür sanayide pulverize yakıt olarak kullanılabildiği gibi, briketleme, dumansız yakıt, karbon elektrodları hidrojenasyon ve karbonizasyon amacıyla da kullanılmaktadır [40].

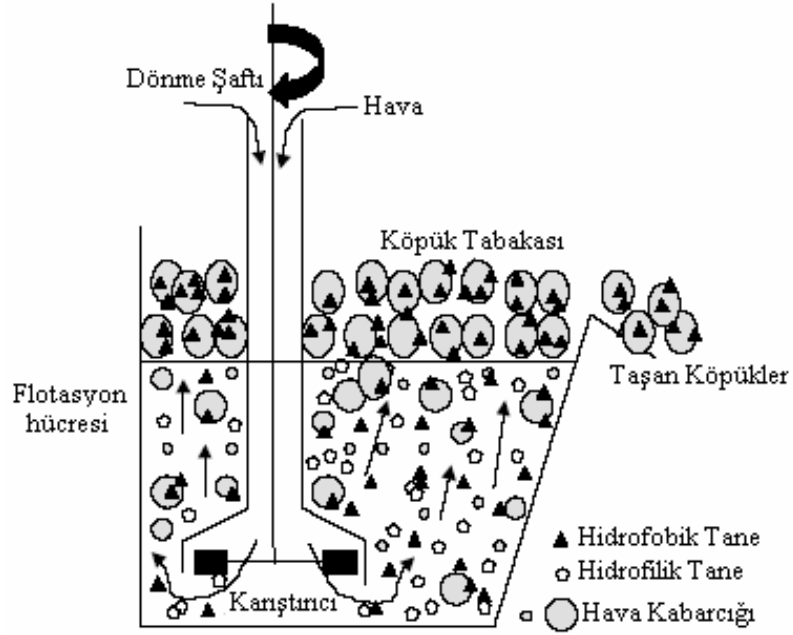
Temiz kömür yüzeyinin hidrofob özellik göstermesi, yani doğal yüzebilirliğe sahip olması, sebebiyle kömür-şist ayrımı kolaylaşmaktadır. Kömürlerin doğal yüzebilme özelliği kömürün kimyasal ve petrografik yapısı ile kömürleşme derecesine bağlıdır. Kömürleşme derecesi arttıkça kömürdeki karbon içeriği artmakta, fakat hidrojen ve uçucu madde oranları azalmaktadır. Genellikle yüksek kömürleşme derecesindeki kömürlerde temas açısı 10° - 20° arasında değişirken, düşük kömürleşme derecesindeki kömürlerde 0° 'ye kadar düşmektedir [19, 31, 40].

Kömür flotasyonunda toplayıcı olarak nötr hidrokarbonlar, kerosen tipi yağlar ve fuel-oil kullanılır. Kontrol reaktiflerinden kireç ve sodyum siyanür piriti bastırırken, sodyumsilikat kil ve şisti dağıtmaktadır. Çam yağı, kresilik asit ve alkollerin çeşitli türleri köpürtücü olabilmektedir. Tannin ve nişasta gibi organik kolloidler ise kömürü bastırmaktadır [37].

Günümüzde gelişmiş flotasyon yöntemleri (kolon flotasyonu, jet flotasyonu, taşıyıcılı flotasyon, biyoflotasyon...) sayesinde 0,45 mm altı kömürlerden de düşük

küllü kömürler elde edilebilmektedir [36].

Güney ve arkadaşları %44.92 kül içerikli Zonguldak toz kömürleri ile yaptıkları çalışmalar sonucunda mekanik, kolon ve Jet hücresinden sırasıyla %20.51, %15.14 ve %14.95 küllü temiz kömürleri % 64.90, %32.80 ve %55.30 yanabilir verimle kazanmışlardır.



Satirifüjlü Ayırıcılar: Santrifüj hareketi iki farklı yolla üretilebilir:

(i) Hidrosiklonlardaki gibi silindirik veya konik yapıya yüksek teğetsel hızla bir akışkan verilmesi ile,

(ii) Bir kısmı ya da tamamı dönen cihaz ile

Bu yırma sisteminde, santrifüj kuvvetin etkisiyle bir kap içerisinde dönen akışkan süratle ivmelenir. Akışkan içerisindeki fraksiyonel sürüklenme, akışkanın sabit w açısal hızı ile dönme hareketi ya da bağıl hareket yapmasını sağlar. w açısal hızı ile dönmekte olan santrifüj kap içerisindeki bir parçacık için, dönme hareketinin yarıçapı r olmak üzere, santrifüj ivme rw^2 dir. g yerçekimi ivmesi olmak üzere, rw^2/g oranı G sayısı olarak bilinir ve “Centrifugal Force Strength” olarak adlandırılan yerçekimi alanından kaynaklı ayırmanın bir ölçüsüdür. Bu değer, bazı endüstriyel

santrifüj cihazlarında çok büyük ($\sim 10^4$) hatta ultra santrifüj cihazlarında çok daha büyük iken cevher hazırlama uygulamalarında 1500 kadardır.

a) Falcon Konsantratörü: Falcon ayırıcısı sadece altın ve ağır metal kazanımı için değil, aynı zamanda kömür zenginleştirmede de kullanılmaktadır. Çok ince boyutlu kömürdeki piritin uzaklaştırılmasında, gravite esaslı ayırmanın, yüzey özelliği esaslı ayırmanın yerine geçme potansiyelinden bahsedilmektedir [11].

Kömür şamlarının değerlendirilmesine yönelik yapılan birçok çalışmada, santrifüjlü, gelişmiş gravite ayırıcılarından yararlanılmıştır. Falcon ayırıcısının ucuz işletme maliyeti, yok denecek kadar az çevresel etkisi gibi özellikleri göz önüne alınmasa bile Falcon ayırıcısından alınan sonuçlar ile gelişmiş flotasyon yöntemleri ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında potansiyel olarak en iyi flotasyon teknolojisinden daha iyi sonuçlar verdiği iddia edilmektedir [11, 15].

Laboratuvar ölçekte üretimi yapılan Falcon konsantratörünün aynı zamanda endüstriyel uygulamaları da vardır. Şekil 2.6'da laboratuvar ölçekli, Şekil 2.7'de ise endüstriyel ölçekli Falcon ayırıcıları görülmektedir.



Şekil 2.6 : Laboratuvar ölçekli SB40 model Falcon Konsantratörü.



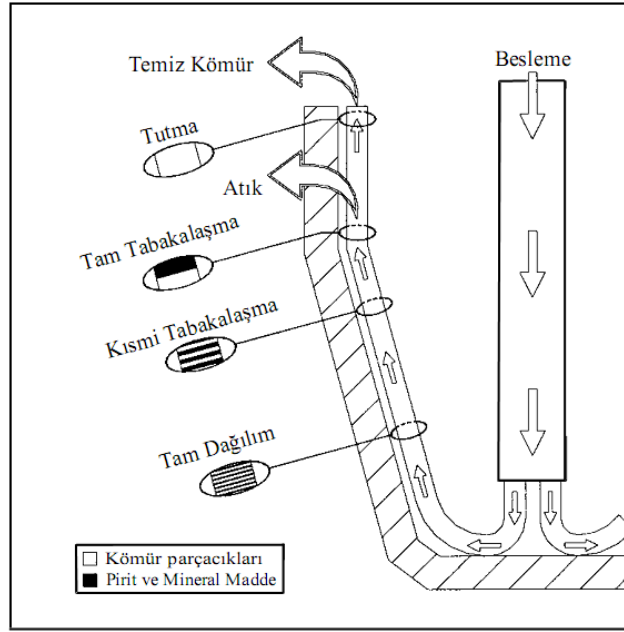
Şekil 2.7 : Endüstriyel ölçekli Falcon Konsantratörleri **(a)** Antapite Gold-Peru, **(b)** Akka Gold Mine, **(c)** Kazzink SB2500 ve **(d)** Anglo Gold SB750.

İnce kömür zenginleştirmede de kullanılan Falcon konsantratöründe, ayırmanın yapıldığı ünite kova şeklindedir (Şekil 2.8). Kovanın orta kısmında, besleme kanalı bulunur ve kömür pülp halinde bu kanaldan cihaza beslenir. Kovanın alt kenarı, alt kısımda düşeyle belli bir açı yaparken, üst kısımda düşey duruma gelmektedir. Düşey konumdaki kısımda, ağır malzemenin sürekli olarak dışarı atılmasını sağlayan delikler vardır. Bu deliklerin çapı, beslenen malzemedeki en iri tane iriliğinden birkaç kat daha büyük tutulmaktadır. Kova motor tarafından döndürülen bir tabla üzerinde oturmaktadır. Kovanın çapına ve döndürme hızına bağlı olarak, kova içindeki malzemeye yerçekimi ivmesinin 300 katı fazla (300 G) merkezkaç kuvvet uygulanabilmektedir. [12, 15].

Falcon konsantratörü;

- Otomatik olarak kesikli işlem yapan “SB” modeli
- Sürekli işlem yapabilen “C” modeli olmak üzere 2 farklı modelde üretilmektedir.

Kesikli sistemle çalışan “B” modelinde, ağır mineraller önceden belirlenmiş aralıklarla rotorda biraz yıkandıktan sonra dışarı alınır. Bu sistemle konsantrenin



Şekil 2.8 : Falcon ayırıcısında tabakalaşmanın şematik gösterimi.

dışarı alınmasında herhangi bir vana, tıpa veya sökme gibi açıp kapama işlemleri yoktur. Boşaltma işlemi besleme ve rotor durdurulduktan sonra manuel veya ayarlanabilir otomatik kontrol programıyla (AutoPAC) yapılmaktadır [26].

Sürekli işlem yapabilen “C” modelinde, malzemenin içerisindeki yüksek yoğunluktaki konsantre miktarı, bir sensör sistemi ile ölçülmektedir. Cihaz, temizlenmek için durdurulmak zorunda değildir. Konsantreye gönderilen malzemenin miktarı elektronik olarak ayarlanabilir. Vanalar basınçlı hava kullanılarak otomatik olarak çalıştırılırlar. Pülp ile temas halinde olan tüm ölçüm elemanları aşınmaya dayanıklı malzemeden modüler olarak mamul edilmiş olup, bir bütün halinde çok kısa bir sürede değiştirilebilirler [26].

Falcon ayırıcısı ile kömürdeki kül ve kükürdü uzaklaştırmak amacıyla yapılmış deneysel araştırmaların özeti aşağıda sunulmuştur.

Honaker ve arkadaşları, 1 mm boyut grubu altında yer alan kömürleri Falcon konsantratöründe zenginleştirmeye tabii tutmuş ve ince boyutlu kömürde iyi bir serbestleşmeye bağlı olarak etkin sonuçlar elde etmiştir. Temiz kömürün kül içeriğinde, tüvenan kömüre göre %70 oranında azalma kaydedilmiştir [15].

Honaker yaptığı bir diğer araştırmada, gelişmiş gravite ayırıcıları olarak tanımlanan Falcon konsantratörü, Multi-Gravity Separator (MGS), Kelsey jigi ve Knelson

konsantratörünü ayırma hassasiyetleri açısından incelemiş ve Falcon konsantratöründe daha hassas bir ayırma yapılabileceğini belirlemiştir [14].

(+44 – 1000) μm boyut aralığındaki kömür, konsantratöre, farklı dönüş hızları ve farklı pülp katı oranlarında (ağırlıkça %5-15) beslenmiş, ayırma işlemi sonrasında tüvenan kömürün kül içeriği %17,5'den %5,7'ye düşürülmüş ve yaklaşık %90 kazanma verimi ile temiz kömür elde edilmiştir. Ayrıca temiz kömürdeki toplam kükürt içeriğinde (%1,0), tüvenan kömürün kükürt içeriğine (%1,5) oranla %47,4 azalma kaydedilmiştir [17].

Falcon konsantratörü, sadece kömür bünyesindeki kül içeriğini düşürmekle kalmayıp, aynı zamanda kükürt oranını da düşürmektedir. Parekh ve Khalek (2002), Falcon konsantratöründe yaptıkları deneysel çalışmada, tüvenan kömürün kükürt içeriğini %3,31'den %0,86'ya düşürerek %84 verimle temiz kömür elde etmeyi başarmıştır [33].

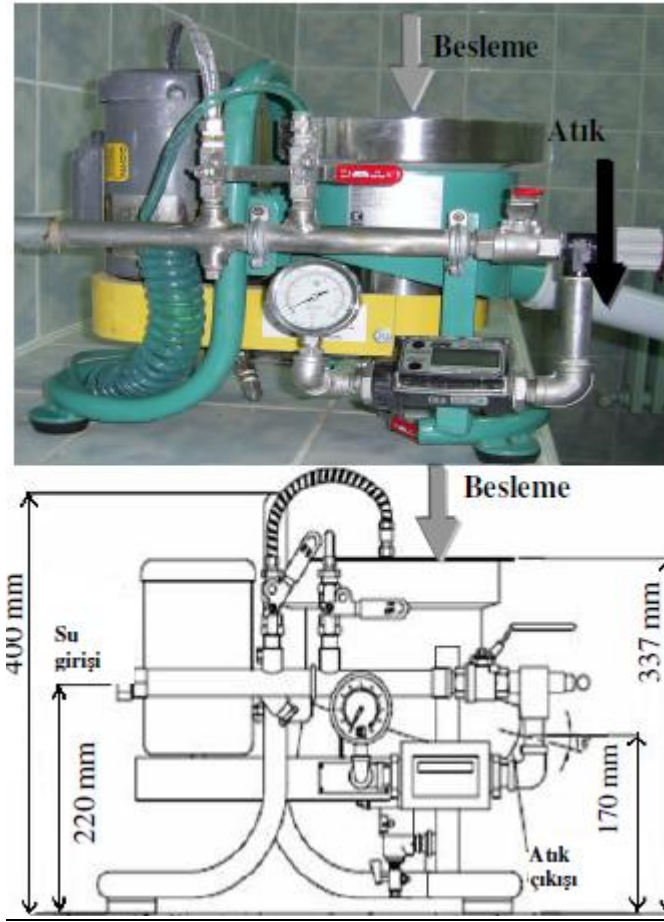
Falcon konsantratörü kullanılarak gerçekleştirilen bir başka araştırmada tüvenan kömürdeki toplam kükürt içeriği %3,49'dan %1,94'e düşürülerek, %6,3 kül içeriği ve %92,4 verimle temiz kömür elde edilmiştir [16].

b) Knelson Ayırıcısı: Knelson ve Falcon gibi santrifüjlü ayırıcılar yeni teknolojiler olarak gravite ayırıcıları arasında yerlerini almışlardır. Bunlar 30 μm 'den küçük boyuttaki tanelerin zenginleştirilmesinde etkindirler. Knelson ayırıcısı Byron Knelson tarafından 1988 yılında Kanada'da patenti alınmış, damar tipi ve alüvyal altın üretiminde uygulama alanına sahip yüksek hızlı santrifüj ayırıcısıdır. Standart Knelson ayırıcısı, 6 mm besleme boyutuyla çalışabilmektedir. Basit yapısı, yüksek kapasite, geniş tane boyutu aralığında çalışabilmesi ve çok yüksek zenginleştirme oranlarında ayırım yapabilmesi en büyük avantajlarını oluşturmaktadır [21].

Majumder ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada Knelson ayırıcısı ile % 36,3 kül içerikli kömür, zenginleştirilerek kül içeriği % 17'ye düşürülmüştür [23].

Knelson ayırıcısı, dönme işlemini gerçekleştiren üniteyle birlikte, yüksek hızda dönen bir yataktan oluşur. Üstten beslenen pülpten santrifüj kuvvetinin etkisiyle ağır taneler konsantre olarak yatağın oluklarına takılır. Gang mineralleri ise atık olarak pülpün üst akışıyla birlikte atılır. Besleme standart model Knelson konsantratörün haznesi içine düşey bir tüp vasıtasıyla gravite olarak yapılmaktadır. Konsantratör haznesinin

dibinde beslemeyi dağıtacak olan bir pervane mevcuttur. Knelson ayırıcısı, yerçekimi ivmesinin ortalama 60 katı kadar bir santrifüj kuvvet oluşturabilmektedir [21].



Şekil 2.9 : Knelson ayırıcısının fotoğrafı ve şematik görünüşü.

c) Multi Gravity Separator (MGS): MGS ünitesinin ana parçasını bir tarafı açık, diğer tarafı kapalı olan bir silindir oluşturur. Tambur hareketini sağlayan eksantrik şaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde fakat tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler (skrayper) bulunan bir ünite vardır. Çalışma sırasında küreyiciler katı taneleri tamburun dar, açık dış ağzına doğru hareket ettirecek şekilde tasarlanmıştır [36].

MGS ünitesinde; tambur dönüş hızı (100-280 devir/dakika), tambur eğim açısı (0° - 10°), titreşim genliği (10/15/20 mm), titreşim frekansı (4,0/4,9/5,8 sn-1), yıkama suyu miktarı (0-10 lt/dak), besleme katı oranı (%10-50), beslenen malzemenin tane boyutu ve özgül ağırlık farkı önemli parametrelerdir. MGS tamburu saat yönünde 150-300 devir/dakika hızla döndürülmekte ve tambura eksenel doğrultuda sunizoidal

titreşim verilmektedir. Gövdeye verilen bu titreşim hareketi sayesinde; akışkan içindeki taneciklerin yoğunluklarına göre davranmalarında yardımcı olarak tanelere ek bir ayırma kuvveti uygulanmış olur. Özel olarak tasarlanmış küreyiciler tambur yüzeyinde hareket ederlerken, tambur yüzeyinde oluşan tabakayı küremekte ve böylece dereceli tabakalaşma sağlamaktadır. Tambur yüzeyine tutunarak hareket eden yüksek yoğunluklu taneler, küreyiciler tarafından tamburun yukarı doğru eğimi (1° - 5°) boyunca taşınarak üst çıkıştan, hafif yoğunluklu taneler ise yıkama suyu etkisiyle alt çıkıştan alınır [36].

Uygun katı oranındaki (%10-50) pülp, MGS'ye belirli bir basınçla hareketli tamburun ortasından beslenir. Yıkama suyu ise tamburun üst çıkış ucuna yakın bir noktadan verilir. Yüksek özgül ağırlıklı mineralleri akışkan tabaka içinde dibe çökmekte, tambur yüzeyine tutunmakta ve merkezkaç kuvvetinin etkisiyle adeta katı halde tabaka oluşturmaktadır. Akışkan tabakanın üstü ise büyük oranda sulu halde, hafif mineralleri kapsar [36].

Cebeci ve arkadaşları, MGS cihazına bağlı parametreleri optimize ederek %30 kül ve %1,58 toplam kükürtlü Yozgat-Ayırđam linyitinden %17,37 kül ve %0,74 kükürt içeriğine sahip temiz kömür elde etmişlerdir [8].

MGS ile gerçekleştirilen bir başka araştırmada %15,11 kül ve %4,34 toplam kükürt içeriğine sahip İstanbul yöresi linyiti zenginleştirilerek; kül ve kükürt içeriği sırasıyla %11,64'e ve %2,25'e düşürölmüştür [1].

Sivas-Gemerek yöresine ait “zor yıkanabilir” özelliğe sahip %35,75 küllü ve çok yüksek kükürt (%6) içerikli linyitin MGS cihazında zenginleştirme işlemine tabi tutulması sonucunda, %19,20 küllü temiz kömür %79,82 yanabilir verimle kazanılmıştır [2].

Artıkların geri kazanımına yönelik araştırmalarda da, gelişmiş gravite ayırıcısı MGS'nin kullanıldığı durumlara rastlanmaktadır. Sönmez ve Koca, %40,67 kül içerikli Tunçbilek Ömerler ince kömüründen %70,66 yanabilir verimle %17,62 kül içeriğine sahip temiz kömür elde etmişlerdir [38].

Yine bir başka çalışmada Alpagut-Dodurga kömür yıkama tesisi atıklarının MGS'de yıkanabilirliği araştırılmış , %49,19 kül, %1,37 toplam kükürt ve 2650 kcal/kg alt ısı değere sahip atık zenginleştirilerek, %17,39 kül ve 5082 kcal/kg alt ısı değere sahip temiz kömür %63,08 yanabilir verimle kazanılmıştır [22].

2.6.2 Kuru zenginleştirme yöntemleri

Kömür tesislerinde, yaş zenginleştirme yöntemlerinin kurulum ve işletilmesinin genellikle ek bir maliyet yükü olarak görülmesi ve bazı çevresel etkenlerden dolayı bu işlemin termik santrallerde kullanılan kömürlere uygulanmasına pek sıcak bakılmamaktadır. Buna karşın, kömürün zenginleştirilerek kül ve kükürt içeriğinin düşürülmesi, termik santral işletmeciliğine pek çok fayda sağlamaktadır. Değirmen ve kazanlarda bakım ve onarım giderlerinin düşmesi, kömür zenginleştirmenin getireceği ek maliyeti fazlasıyla karşılayabilmektedir [3].

Önemli bir maliyet unsuru olan suyun kuru zenginleştirme yönteminde kullanılmaması, büyük hacimli havuzlara gereksinim duyulmaması, kışın sert geçtiği bölgelerde suyun donmasının getirdiği kaybın olmaması ve kömür neminin artmaması bu yöntemin avantajları arasında sayılmaktadır. Ancak, ayırma işlemindeki verimin düşük oluşu, ince boyutlarda kömürün elenmesinin zorluğu, fazla toz oluşması ve geliştirilen aygıtların düşük kapasiteli oluşları ve kömürün nemi dezavantajları arasındadır [3].

Çalışma prensibi, fiziksel özellik farkına dayanan kuru yöntemle kömür zenginleştirmenin farklı birçok aygıt ve metodu bulunmaktadır. Bunlar yoğunluk farkı, ufalanma direnci farklılığı, renk farkı, elektriksel özellikler, manyetik duyarlılık gibi fiziksel özelliklerdir. Yoğunluğa göre ayırmada kullanılan ortam hava olduğu için bunlara havalı yöntemler de denmektedir. Bu nedenle bu yöntemler gravite esaslı yöntemler ve gravite dışındaki fiziksel yöntemler olmak üzere iki ayrı grupta toplanmıştır [3].

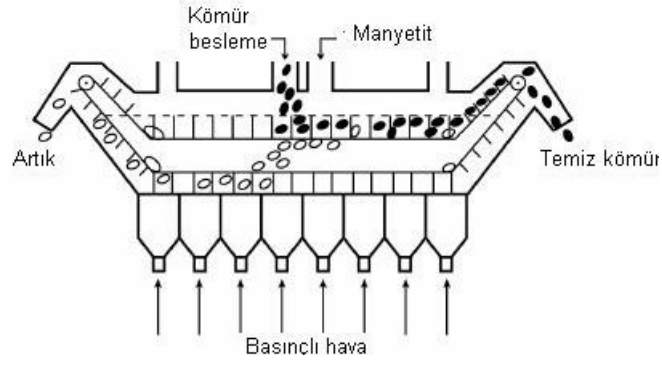
Gravite Esaslı Yöntemler: Kuru ayırma yöntemlerinin büyük çoğunluğu ayırma kuvvetlerini oluşturmak için hava akımını kullanmaktadır. Bu pnömatik yöntemler, ağır ortam aygıtları, havalı masalar ve havalı jig olarak adlandırılabilir. Bunların içerisinde en çok kullanılanı havalı jiglerdir [3].

ABD ve Çin'de eş zamanlı olarak havalı ağır ortam ayırması üzerine çalışmalar ortaya konulmuş, ABD'deki çalışmalar daha çok laboratuvar ölçeğinde, dar boyut grubunda havalı manyetiteli ağır ortam ayırması üzerine olurken, Çin'de geliştirilen aygıt ise laboratuvar ölçeğinden 50 mmx6 mm kömür için 50 t/saat kapasiteye kadar çalışabilen bir aygıt olmuştur (Şekil 2.2). 50 t/saat kapasiteli ünitenin 1.3 den 2 g/cm³ ayırma yoğunluğuna kadar % 85 verimle çalıştığı belirtilmektedir [3].

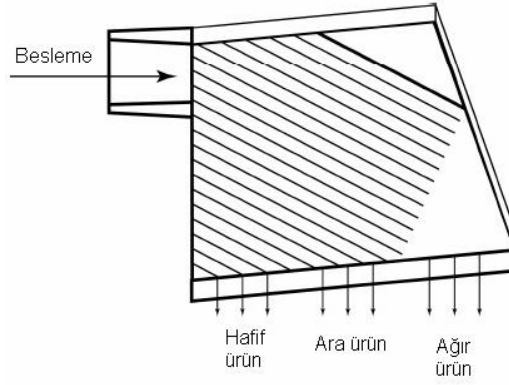
Hava ile çalışan gravite esaslı yöntemlerin bir diğeri olan havalı masalar ilk olarak 1924'lerin başında New Mexico ve Oklahoma'da Sutton, Sutton ve Steele masası (3-S) olarak kurulmuştur. Şekil 2.11'de verilmiş olan 3-S masası şekil ve çalışma prensibi olarak Deister masalarına benzemektedir. Ancak farkı, su yerine hava kullanılmasıdır. Çalışma prensibi gıda sektöründe taş ayıklayıcı (destoner) olarak kullanılan Saxon temizleyicisine benzemektedir. Üstten eğimli yüzeye sahip masaya beslenen tüvenan kömür, elek şeklindeki masa yüzeyinden gelen hava ile akışkanlaşmakta, hafif olan ve hava akımı ile akışkanlaşmış kömür aşağı doğru akarken, elek yüzeyine temas eden yantaş, eksantrik hareketli elek yüzeyi üzerinde eğim tersi yönünde taşınarak masadan uzaklaştırılmaktadır. Elek yüzeyi üzerine monte edilen çitalar, artığı yönlendirmek için kullanılmaktadır. Havalı masada besleme malı kalitesi sabit olmalı, dar boyut aralığında besleme yapılmalıdır. Çalışma şartlarının hassaslığı gereği kapasitesi düşüktür [3].

Gravite esaslı çalışan havalı ayırıcılardan üçüncü grubu havalı jigler oluşturmaktadır. 1932'de Earl Stump tarafından geliştirilmiştir. Makina eğimli, titreşimli, elek şeklinde bir yüzeyden oluşmaktadır. 2.5 kPa civarındaki basınçlı hava delikli yüzeye alttan verilmekte ve altta yoğunluğu yüksek taş, üstte hafif olanlar (kömür) olmak üzere tabakalaşma meydana gelmektedir. Artık, yataktan elek yüzeyi boyunca yerleştirilmiş üç boşaltma ünitesi ile alınmaktadır. Yüzeyin sonunda dördüncü bir boşaltma sistemi ara ürün için yerleştirilmiştir. Çok sayıda taş çıkış düzeneği olması, yatak kalınlığının ve artık içeriğinin az olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de besleme ve çıkış bölgeleri arasında direnç farklılıkları meydana geldiği için, elek yüzeyi altına seramik topraklar konularak havanın kısa devre yapması engellenmeye çalışılmaktadır. Seramik toprakların oluşturduğu tabakanın kalınlığı besleme tarafından, çıkış tarafına doğru artmaktadır. İlk aygıtlar sadece 0.46mx0.61 m genişliğindedir. Ancak zamanla dizaynlar gelişmiş ve SuperAirFlow makinaları 2.4 m genişlik ve 50mmx0 besleme için 135 t/saat kapasiteye ulaşmıştır. Kapasitenin yüksekliği nedeniyle kuru yöntemler içerisinde en popüler havalı jigler olmuştur. Ancak, daha düşük küllü kömür eldesinin hedeflenmesi nedeniyle, yağ yöntemlere geçiş olmuş ve ABD' de son havalı jig 1990 da devre dışı bırakılmıştır. Havalı jiglerin gelişmiş bir modeli AllAir jigdir. Şekil 2.13'te görülen AllAir jigde hava tüm jig yüzeyinde dengeli dağılmakta ve ürün çıkışları sadece jig sonundaki tek noktadan olmaktadır.

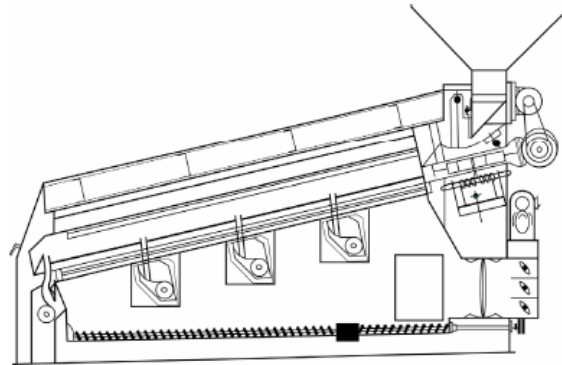
Bu sayede jig üzerinde uygun engelli çöküş klasifikasyonu ve ara boşluklardan sızma ayrışması düzgün bir şekilde gerçekleşebilmektedir [3].



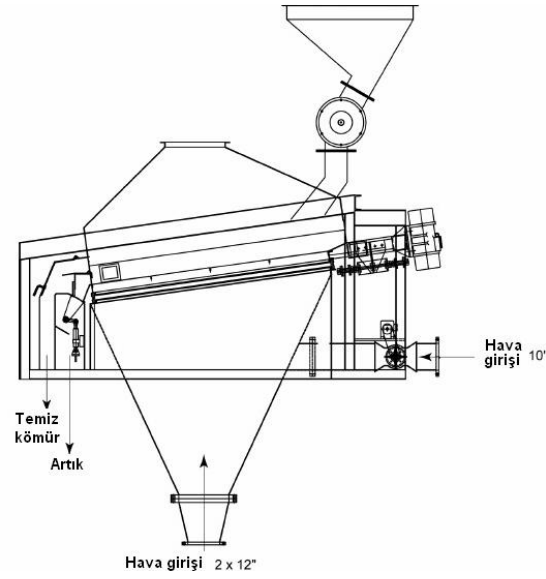
Şekil 2.10 : Hava-manyetitli ağır ortam ayırıcısı.



Şekil 2.11 : Havalı masanın şematik görünümü.



Şekil 2.12 : Stump AirFlow jigi.



Şekil 2.13 : AllAir Jig.

Gravite Dışındaki Fiziksel Özellik Farkına Dayalı Yöntemler: Bradford kırıcısı, otomatik ayıklama yöntemi, Berrisford ayırıcısı, manyetik ayırma yöntemleri ve elektriksel özelliğe dayalı yöntemler gravite dışındaki fiziksel özellik farkına dayalı cihaz ve yöntemler olarak bilinmektedir. Fakat, bu teknolojiler ticari olarak kullanım şansı bulamamıştır [3].

2.7 Kullanım Alanları

Günümüzde önemli ölçüde kullanımı olan kömür başlıca elektrik, çelik, çimento üretimi ve sıvı yakıt olarak kullanılmaktadır. Geçtiğimiz dünya genelinde yıl yaklaşık 5.9 milyar ton sert ve 909 milyon ton kahverengi kömür tüketilmiştir. 2000 yılından bugüne, dünya genelinde kömür tüketimi diğer yakıtlarla kıyaslandığında daha hızlı artmıştır. En büyük beş kömür tüketicisi olan ülkeler – Çin, ABD, Hindistan, Japonya ve Güney Afrika - bu kullanım oranının %82'sini oluşturmaktadır [41].

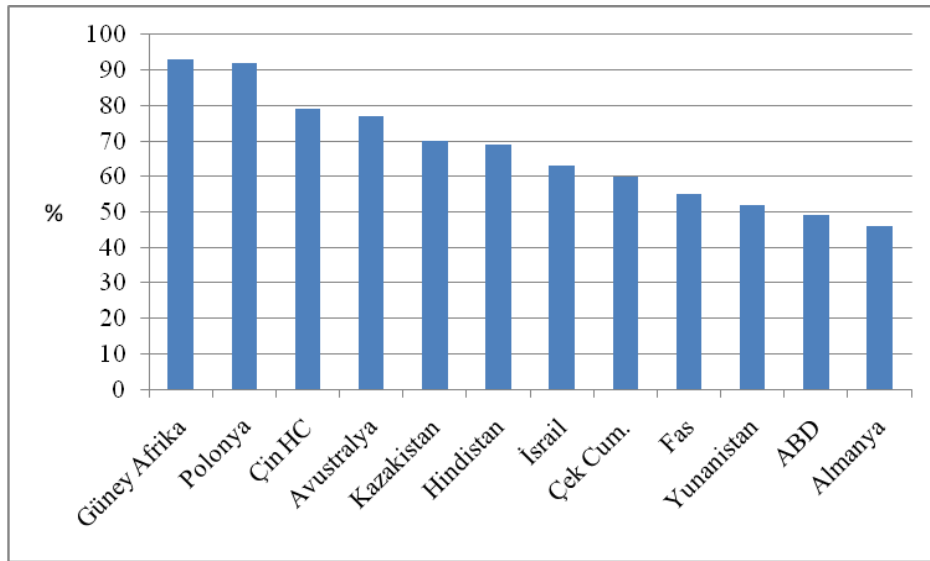
Farklı türdeki kömürlerin farklı kullanım alanları vardır. Buhar kömürü ya da diğer adıyla termal kömürü elektrik üretiminde kullanılırken, kok kömürü, metalürjik kömür adıyla da, demir-çelik üretiminde kullanılmaktadır [41].

Dünya kömür tüketiminin % 65'i Asya piyasasında gerçekleşmekte ve bu tüketimin büyük bir kısmı Çin tarafından yapılmaktadır. Birçok ülke kendi enerji ihtiyacını karşılayabilecek kadar yeterli doğal kaynağa sahip olmadığından enerji kaynağı

ithalatı yolunu seçmiştir. Japonya, Tayvan ve Kore gibi ülkeler elektrik ve çelik üretimi amacıyla önemli ölçüde termal ve kok kömürü ithal etmektedirler [41].

Bunun yanında alüminyum rafinerilerinde, kağıt üretiminde ve kimya ve ilaç sanayiinde de kömürün kullanım alanı mevcuttur. Örneğin katran; kreosot yağı, benzen ve naftalin gibi kimyasal maddelerin üretiminde kullanılırlar, kok fırınlarından elde edilen amonyak gazı; amonyum tuzları, nitrikasit ve tarımsal gübre üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca, sabun, aspirin, bazı çözücüler, boya, plastik ve fiberler gibi bazı kimyasal maddeler kömür ya da kömürün yan ürünlerinden üretilmektedir. Aktif karbon, karbon fiber ve silikon metal gibi özel bazı ürünlerde de önemli bir katkı maddesidir [41].

Bazı ülkeler elektrik üretimlerinin çok büyük bir kısmını kömür ile çalışan santrallerden elde etmektedirler. Bu ülkeler ve elektrik üretimlerinde kömürün payı Şekil 2.14’te verilmiştir.



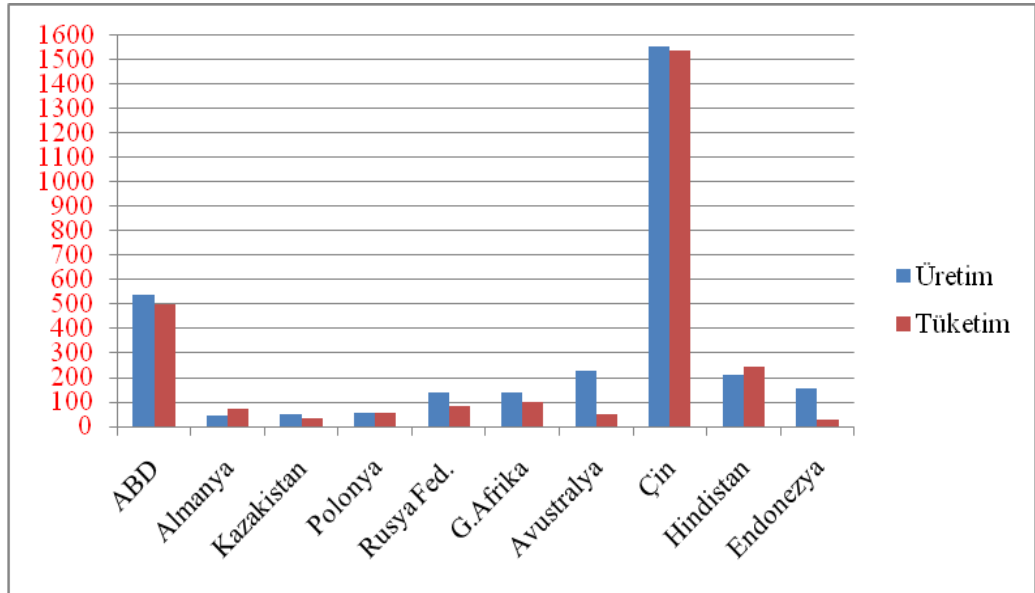
Şekil 2.14 : Kömürün elektrik üretimindeki payı.

2.8 Kömür Üretimi ve Tüketimi

2009 yılı sonu itibariyle dünya genelinde toplam 826 milyar ton ispatlanmış kömür rezervi bulunduğu açıklanmıştır. Bu rezervin % 28,9'u ABD'de, %19'u Rusya Federasyonu'nda, %13,9'u Çin'de, %9,2'si Avustralya'da, %7,1'i Hindistan'da, %4,1'i Ukrayna'da, %3,8'i Kazakistan'da, %3,7'si Güney Afrika'da ve kalan miktar da Polonya, Brezilya, Almanya Kanada, Kolombiya ve diğer ülkelerde bulunmaktadır [7].

Bu rezervlerden hareketle ülkeler, ihtiyaçları doğrultusunda, kömür üretimlerini belirlemektedirler. 2009 yılı sonuna ait kömür üretim-tüketim verileri, milyon ton petrol karşılığı olarak Şekil 2.15'te gösterilmektedir.

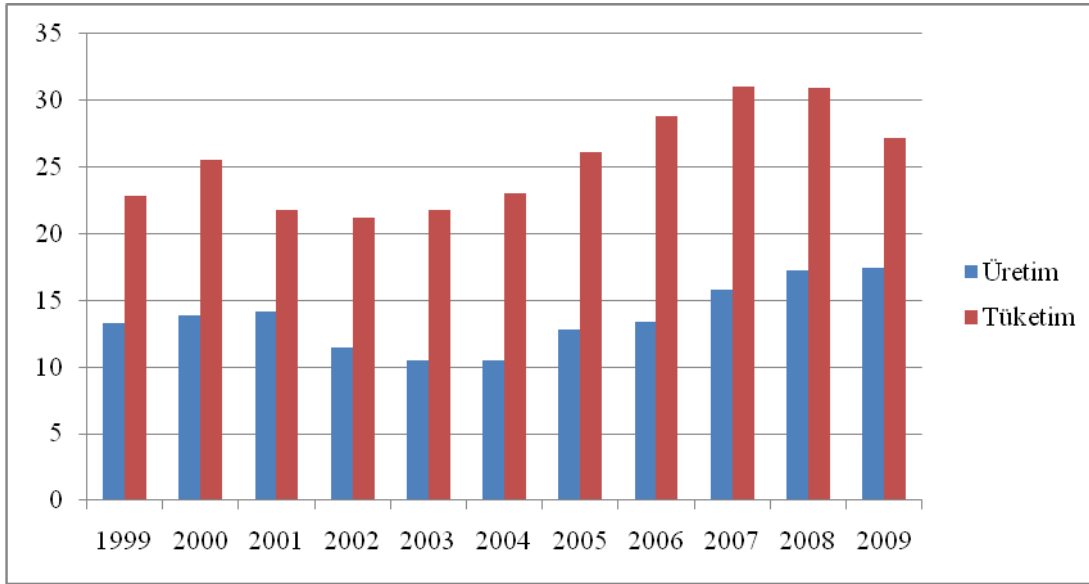
Üretim-tüketim grafiğinden görüldüğü gibi bazı ülkelerde üretim oranı tüketim oranını geçmiş, bazı ülkelerde de tam tersi gerçekleşmiştir. Tüketimi fazla olan ülkeler kömür ihtiyaçlarını karşılayabilmek için üretimi fazla olan ülkelere ithalat yoluyla kömür almaktadırlar. 2009 yılı sonu itibariyle en fazla kömür ihraç eden ülkeler sırasıyla Avustralya, Endonezya, Rusya, Kolombiya, Güney Afrika, ABD ve Kanada iken, en fazla ithalat yapan ülkeler ise sırasıyla Japonya, Çin, Güney Kore, Hindistan, Almanya ve İngiltere olmuştur [41].



Şekil 2.15 : Dünyada kömür üretimi-tüketimi (milyon ton).

2.9 Türkiye’de Kömür Potansiyeli

2009 yılı sonu itibariyle dünyada ispatlanmış kömür rezervinin %0,2’sinin ülkemizde olduğu bilinmektedir. Son 10 yıl içindeki üretimimizde bir artış olduğu göze çarpmakla beraber, gerçekleşen üretimin tüketimi karşılamada yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu da ülkemizi ithalat yapmaya zorlamaktadır. Ayrıca, kömürden elektrik üretimi dünya ortalamasında % 40’ın üzerindeyken, ülkemizde bu oran % 30’u geçmemektedir. Türkiye’de kömür üretim ve tüketimi yıllara göre Şekil 2.16’da verilmiştir [18].



Şekil 2.16 : Türkiye’de kömür üretimi-tüketimi (milyon TEP).

Ülkemizde gün geçtikçe artan enerji açığı, eldeki kaynakların daha iyi değerlendirilmesinin ve uzun dönemde mevcut ihtiyacın linyitlerden karşılanmasının önemini ortaya koymaktadır. Toplam linyit potansiyelimizin kül ve kükürt içeriğine bakıldığında şu sonuca varılmaktadır:

Rezervin,

- % 5,0’ı 0-1 arasında
- %50’si 1-2 arasında
- %25’i 2-3 arasında
- %6,0’ı 3-4 arasında
- %14’ü 4’ten fazla kükürt içermektedir.

Yine rezervin,

- % 5,0’ı 0-10 arasında
- %65’i 10-20 arasında
- %24’ü 20-30 arasında
- %6,0’ı 30-40 arasında kül içermektedir [35].

Türkiye’de mevcut kömür zenginleştirme tesislerinin işleyişleri, kömür piyasasının taleplerine göre şekillenmiştir. Piyasadaki talep değişimleri kömürün tane iriliği, ısı değeri ve dolayısıyla külü ile bağlantılıdır. Bu sebeple, 1960’lı yıllarda kurulan bazı kömür zenginleştirme tesislerinin zaman içinde, oluşan talep farklılıklarına cevap

vermek amacıyla tasarımlarında, akım şemaları değiştirilerek bazı ekleme ve çıkarmalar yapılmıştır [40].

Ülkemizde demir-çelik sanayiinin ihtiyacını karşılamak amacıyla ilk önce Zonguldak Havzası'ndaki zenginleştirme tesisleri inşa edilmiştir. Zamanla, ısınma ve sanayide artan kömür talebi kömür madenciliğinin gelişimine katkıda bulunmuştur. Bununla birlikte gündeme gelen hava kirliliği ve ısıl değer artışı konuları da, kömür zenginleştirmenin önemini göstermiştir. Bu amaçla, Zonguldak Merkez Lavvarı'ndan sonra sırasıyla Çatalağzı, Armutçuk ve Tunçbilek Lavvarları kurulmuştur. [40].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar, numunenin özelliklerini ve Falcon ayırıcısıyla yapılan safsızlıkları (kül ve kükürt) uzaklaştırma deneylerini kapsamaktadır.

3.1 Deneylere Esas Olan Numuneler

Deneysel çalışmalar Tunçbilek'ten temin edilen kükürtçe zengin numune üzerinde yürütülmüştür. Yaklaşık 40 kg dolayında olan numune, deneylere esas olan numuneyi oluşturmuştur.

3.2 Numune Özellikleri

Tunçbilek'ten temin edilen numunenin tam kömür analizi, boyut dağılımları ve petrografik analizleri yapılmıştır. Tam kömür analizi öncesi tüvenan numune 3,36 mm'nin altına indirilmiştir. Öncelikle bu tane boyutunda nem analizleri yapılmış, sonrasında bilezikli değirmende analiz için uygun tane boyutuna indirilmiştir. Sırasıyla karbon-kükürt cihazı, kalorimetre ve yakma fırınları kullanılarak analizler tamamlanmıştır. Numunenin tam kömür analiz sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Tüvenan numunenin tam kömür analizi sonuçları.

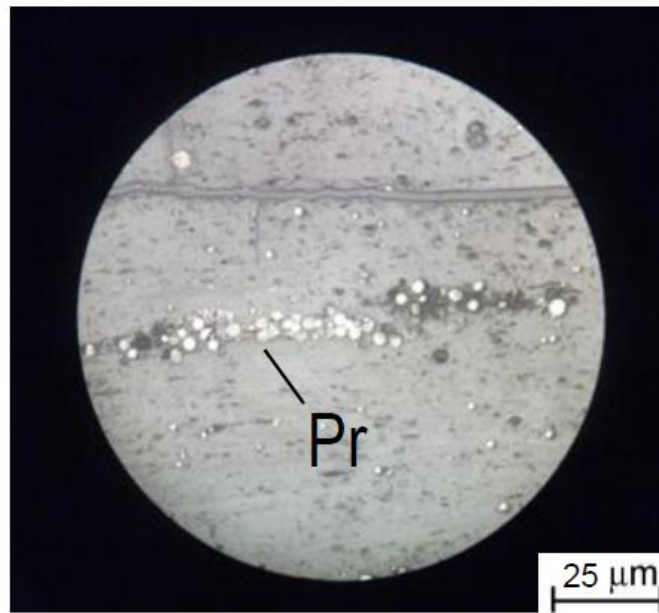
Analiz	Tunçbilek
Havada Kuru Nem, %	3,87
Toplam Nem,%	14,82
Kül, %	25,70
Uçucu Madde, %	35,44
Sabit Karbon, %	38,86
S (toplam), %	4,33
S (yanar), %	4,21
Organik S, %	1,68
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	5102
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	4841

Numunenin toplam kükürdü % 4,33 olup; bunun %2,65'ini piritik (inorganik) kükürt, %1,68'ini de organik kükürt oluşturmaktadır. Piritik kükürt pirit, melnikovit ve diğer eser miktardaki inorganik kükürtleri kapsamaktadır. Bu sonuçlara göre, kükürdün % 61,20'sini piritik kükürt teşkil etmektedir.

3.2.1 Mineralojik özellikler

Tunçbilek yöresi kömüründen seçilen 10 adet numune ile parlak kesit yapılmıştır. Tunçbilek kömür numunesinin mikroskop altındaki görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir. Yapılan mikroskobik etüdlere aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- Tunçbilek kömür numunesi homojen bir yapıda olup siyah ve kahverengtedir. Yabancı ara katkının izlenmediği numune mikroçatlaklıdır.
- Piritler ince taneli olup yer yer kümelenmeler halinde kömürün içinde saçılmış durumdadır.
- Piritleşme, kömürleşme sırasında gerçekleşmiştir. Ayrıca piritler özşekilsiz ve framboidal olarak kristalleşmiştir. Bazen de çatlaklar boyunca dizilmiş, özşekilsiz, aşınmış ve ayrılmış piritler izlenmiştir.
- Piritin ortalama boyutu 25 μm civarındadır; 100 μm boyutunda tanelere de rastlanmıştır.
- Kömür numunelerinde yer yer ayrışmalar dikkat çekmektedir. Demiroksitlere dönüşüm gözlenmekle birlikte, saçılmış kil ve kuvars parçalarına da rastlanmıştır.



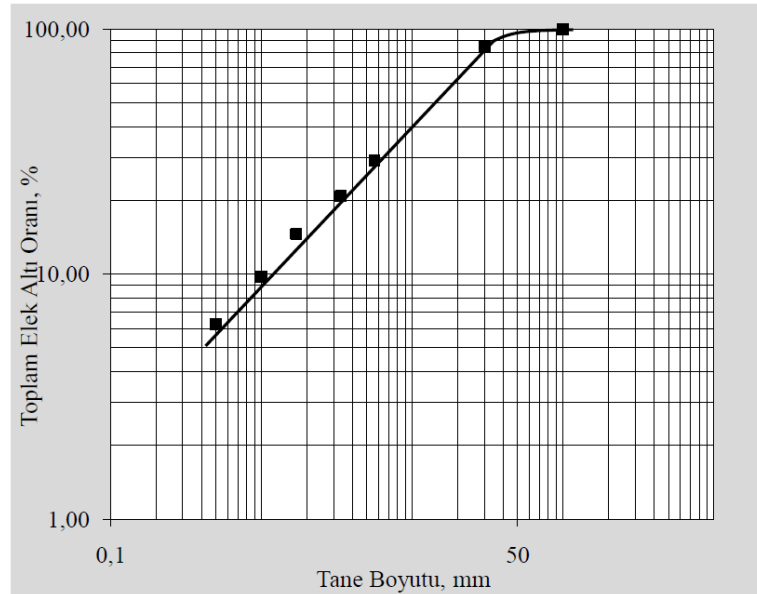
Şekil 3.1 : Tunçbilek numunesi parlak kesitinde pirit tanelerinin görünümü.

3.2.2 Boyut dağılımı

Tunçbilek yöresi kömür numunesine tüvenan haliyle elek analizi yapılmış ve sonuçları Şekil 3.2 ve Çizelge 3.2’de verilmiştir. d80 boyutu 30 mm olan numune daha sonra tamamı 3,36 mm’nin altına indirilip tekrar elek analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda ise d80 boyutunun 1 mm olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.2 : Tüvenan numunenin elek analizi sonuçları.

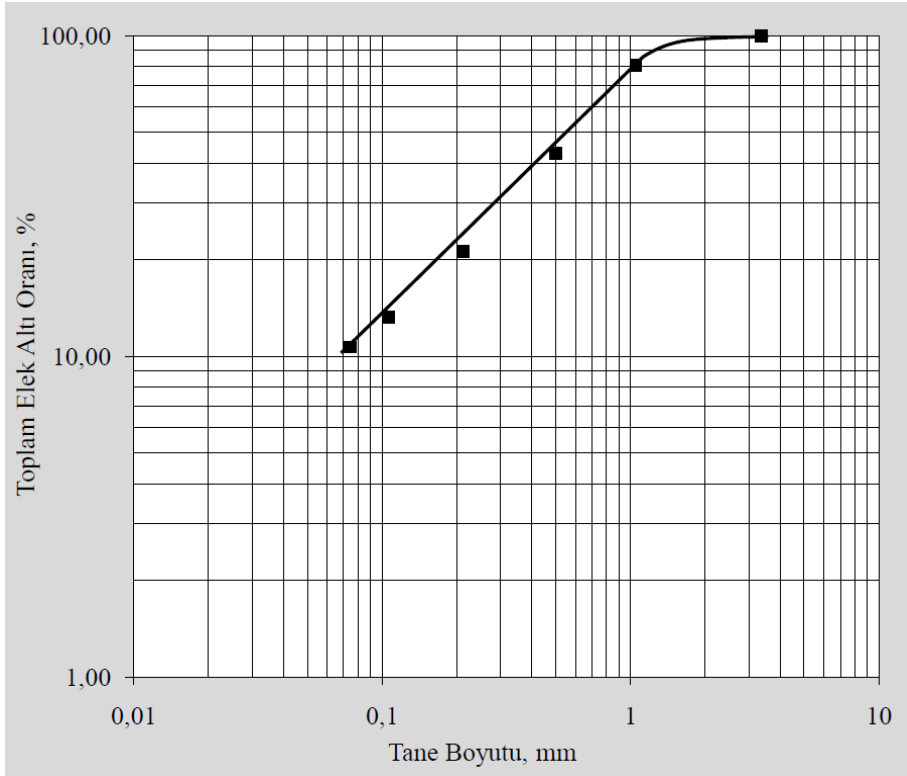
Boyut Grubu, mm	Miktar, %	Elek altı, %
-100+30	14,66	100,00
-30+5,6	56,10	85,34
-5,6+3,36	8,42	29,24
-3,36+1,7	6,24	20,83
-1,7+1	4,84	14,59
-1+0,5	3,51	9,75
-0,5	6,24	6,24



Şekil 3.2 : Tüvenan kömür numunesinin toplam elekaltı eğrisi.

Çizelge 3.3 : -3,36 mm boyutundaki numunenin elek analizi sonuçları.

Boyut Grubu, mm	Miktar, %	Elek altı, %
-3,36+1,05	19,41	100,00
-1,05+0,5	37,62	80,59
-0,5+0,212	21,78	42,97
-0,212+0,106	7,92	21,19
-0,106+0,074	2,57	13,27
-0,074	10,69	10,69



Şekil 3.3 : -3,36 mm boyutundaki kömür numunesinin toplam elekaltı eğrisi.

3.3 Yöntem

Bu çalışmada, Falcon ayırıcısı kullanılarak Tunçbilek yöresinden temin edilen kömür zengin kömürün kömür ve kül içeriğinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

Deneylerin birinci aşamasında Falcon ayırıcısına beslenen miktarın ayırmada etkisi olduğu düşünülerek, Falcon ayırıcısına 250gr, 500gr, 1000 gr ve üç parçada toplam 1000 gr beslemek suretiyle deneyler yapılmıştır. Deneylerin ikinci aşamasında tane boyutunun ayırmaya etkisi incelenmiştir. Bu amaçla besleme hızı 0,5L/dk, pülpte katı oranı %20 ve G kuvveti 300'de sabit tutularak -212, -106, -74 ve -38 µm tane boyutlarında deneyler yapılmıştır. Deneylerin üçüncü aşamasında, beslemedeki pülpte katı oranının ve G kuvvetinin ayırmaya etkisi incelenmiştir. Bunun için üç farklı pülpte katı oranının (%10, 20 ve 30) her birinde ve 50, 100, 200 ve 300G kuvvetlerinde deneyler yapılmıştır. Deneylerin son aşamasında ise, diğer deneylerden ulaşılan optimum deney koşulları altında kömüre iki defa temizlemeyi kapsayan devre tertibi uygulanmıştır.

Zenginleştirme deneyleri SB40 model Falcon ayırıcısında yapılmıştır. Deney seti Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 : Falcon deney seti.

Deney sonuçları, deneylerden elde edilen ürünlerde kül ve toplam kükürt analizleri yapılarak denetlenmiş ve değerlendirilmiştir. Kükürt analizleri C-S analiz cihazında yapılmıştır.

3.4 Falcon Ayırıcı ile Yapılan Zenginleştirme Deneyleri

Bu deneylerde, besleme miktarı, tane boyutu, beslemede pülp-te katı oranı ve G kuvvetlerinin kömürdeki kül ve kükürdü uzaklaştırmaya etkisi araştırılmıştır.

3.4.1 Besleme miktarının ayırmaya etkisi

Bu grup deneyler aşağıdaki sabit deney koşullarında yapılmış ve Falcon ayırıcısına, en uygun besleme miktarının bulunması amacıyla, bir defada 250 gr, 500 gr, 1000gr ve üç defada 1000 gr olacak şekilde besleme yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Deney sabit koşulları:

- Besleme hızı :0,5L/dk
- Besleme pülpte katı oranı : %10 katı
- G kuvveti : 50

Çizelge 3.4 : Besleme Miktarının Ayırmaya Etkisinin İncelendiği Deneylerin Sonuçları.

					Dağılım, %	
Besleme Miktarı	Ürünler	Miktar, %	Kükürt, %	Kül, %	Kükürt	Kül
250 gr	Temiz Kömür	84	3,16	21,26	61	72,5
	Artık	16	10,58	41,75	39	27,5
	Toplam	100	4,38	24,34	100	100
500 gr	Temiz Kömür	91	3,24	22,65	68,3	82,2
	Artık	9	15,29	49,79	31,7	17,8
	Toplam	100	4,35	25,18	100	100
1000 gr (bir seferde)	Temiz Kömür	89,2	3,36	21,21	69	79
	Artık	10,8	12,52	50,34	31	21
	Toplam	100	4,35	25,88	100	100
1000 gr (üç seferde)	Temiz Kömür	94,5	3,28	24,47	71	91,1
	Artık	5,5	22,91	41,21	29	8,9
	Toplam	100	4,,36	25,38	100	100

Toplam besleme miktarının azaltılmasıyla kömürdeki kül ve kükürt içeriğinin düşme eğilimi vardır. Bu deney sonuçlarına göre, Falcon ayırıcısına beslemenin bir defada 500 gr olarak yapılmasına karar verilmiştir.

3.4.2 Tane boyutunun ayırmaya etkisi

Bir yerde piritin serbestleşme boyutu hakkında fikir de verecek olan tane boyutunun ayırmaya etkisini inceleyen deneyler, aşağıdaki sabit koşullarda yapılmış ve sonuçları Çizelge 3.5 ve Şekil 3.5'te verilmiştir.

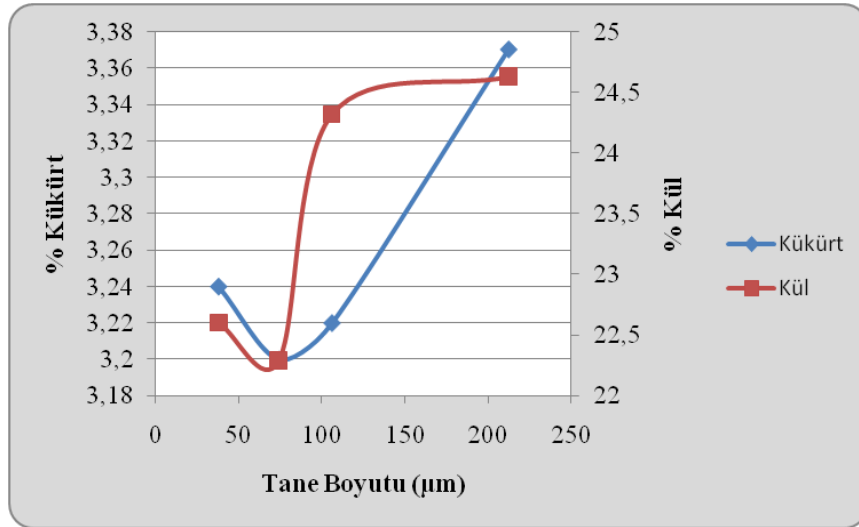
Deney sabit koşulları:

- Besleme hızı :0,5L/dk
- Besleme pülpte katı oranı : %20 katı
- G kuvveti : 300

Çizelge 3.5 Tane boyutunun ayırmaya etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları.

					Dağılım, %	
Tane Boyutu, µm	Ürünler	Miktar, %	Kükürt, %	Kül, %	Kükürt	Kül
-212	Temiz Kömür	95,5	3,37	24,63	74	92
	Artık	4,5	25,22	45,46	26	8
	Toplam	100	4,35	25,62	100	100
-106	Temiz Kömür	95,2	3,22	24,32	70,5	89,9
	Artık	4,8	26,77	54,41	29,5	10,1
	Toplam	100	4,37	25,82	100	100
-74	Temiz Kömür	96	3,24	22,47	70,6	90,1
	Artık	4	32	59,32	29,4	9,9
	Toplam	100	4,35	24,01	100	100
-38	Temiz Kömür	95,8	3,24	23,04	71,4	89,8
	Artık	4,2	29,71	59,78	28,6	10,2
	Toplam	100	4,36	24,12	100	100

Çizelge 3.5'te görüldüğü gibi, tane boyutu küçüldükçe, serbestleşmeye bağlı olarak kömürdeki kül ve kükürt içeriği de azalmaktadır. Falcon ayırıcısına en uygun besleme boyutunun -0,074 mm olduğu deney sonuçlarından anlaşılmaktadır.



Şekil 3.5 : Tane boyutuna bağlı olarak değişen kükürt içeriği.

3.4.3 Beslemedeki Pülpte Katı Oranının ve G Kuvvetinin Ayırmaya Etkisi

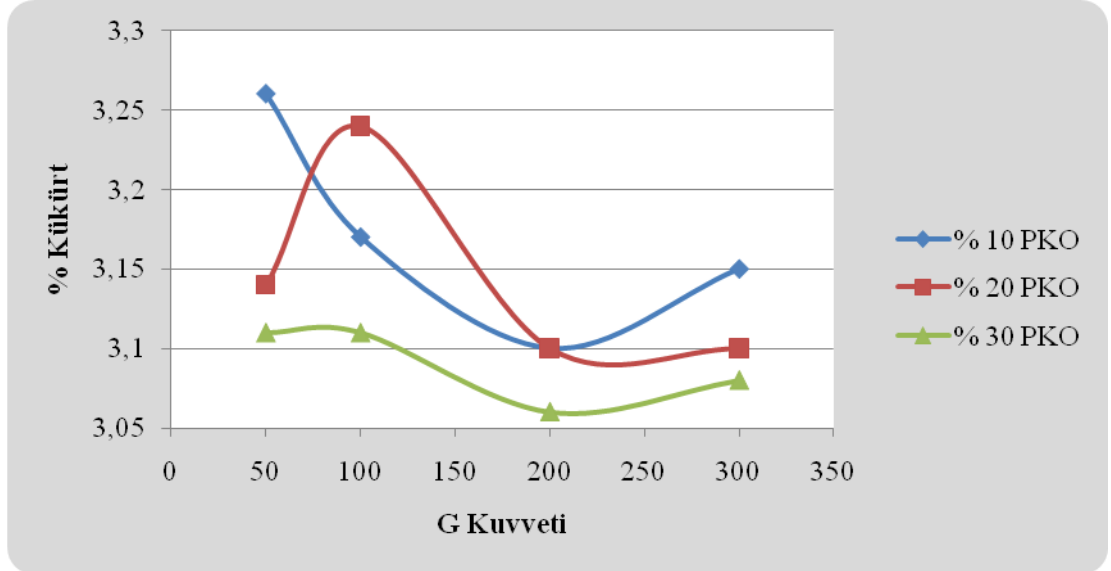
Bu grup deneylerde beslemedeki pülpte katı oranı %10, 20, 30 katı alınarak, her bir pülpte katı oranında G kuvveti değiştirilmek suretiyle (50 ,100, 200, 300 G) deneyler yapılmıştır. 0,5 L/dk besleme hızında yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 3.6, 3.7 ve 3.8’de, Şekil 3.6 ve 3.67’de verilmiştir.

Çizelge 3.6 : % 10 pülpte katı oranında ve değişik G kuvvetlerinde yapılan deneylerin sonuçları.

					Dağılım, %	
G Kuvveti	Ürünler	Miktar, %	Kükürt, %	Kül, %	Kükürt	Kül
50	Temiz Kömür	91	3,26	22,72	68,2	80,4
	Artık	9	15,41	55,82	31,8	19,6
	Toplam	100	4,35	25,65	100	100
100	Temiz Kömür	91,4	3,17	23,06	66,5	81,9
	Artık	8,6	16,91	54,12	33,5	18,1
	Toplam	100	4,35	25,66	100	100
200	Temiz Kömür	92,8	3,11	23,68	66,1	85,6
	Artık	7,2	20,51	51,18	33,9	14,4
	Toplam	100	4,36	25,67	100	100
300	Temiz Kömür	93,4	3,25	22,91	70	83,1
	Artık	6,6	19,93	65,89	30	16,9
	Toplam	100	4,34	25,71	100	100

Çizelge 3.7 : % 20 pülpde katı oranında ve değişik G kuvvetlerinde yapılan deneylerin sonuçları.

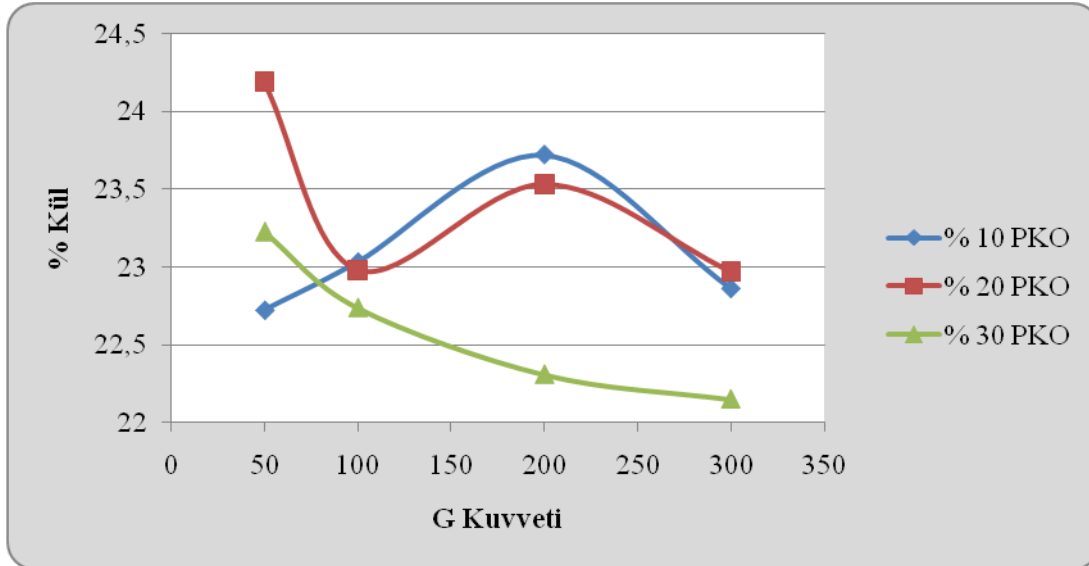
					Dağılım, %	
G Kuvveti	Ürünler	Miktar, %	Kükürt, %	Kül, %	Kükürt	Kül
50	Temiz Kömür	92,1	3,2	24,22	65,2	86,5
	Artık	7,9	19,72	43,34	34,8	13,5
	Toplam	100	4,36	25,72	100	100
100	Temiz Kömür	92,6	3,24	23,02	69	82,8
	Artık	7,4	18,24	59,73	31	17,2
	Toplam	100	4,34	25,71	100	100
200	Temiz Kömür	91,6	3,09	23,48	65,3	83,8
	Artık	8,4	18,02	49,71	34,7	16,2
	Toplam	100	4,35	25,69	100	100
300	Temiz Kömür	91,2	3,1	22,97	65	81,5
	Artık	8,8	17,31	54,01	35	18,5
	Toplam	100	4,36	25,68	100	100



Şekil 3.6 : Değişik pülpde katı oranlarında değişen kükürt içeriği.

Çizelge 3.8 : % 30 pülpte katı oranında ve değişik G kuvvetlerinde yapılan deneyler.

					Dağılım, %	
G Kuvveti	Ürünler	Miktar, %	Kükürt, %	Kül, %	Kükürt	Kül
50	Temiz Kömür	91,4	3,11	23,23	65,35	82,62
	Artık	8,6	17,53	51,95	34,65	17,38
	Toplam	100	4,35	25,67	100	100
100	Temiz Kömür	91,2	3,11	22,74	65,2	80,70
	Artık	8,8	17,21	56,38	34,8	19,3
	Toplam	100	4,35	22,13	100	100
200	Temiz Kömür	89,6	3,06	54,91	63,03	77,78
	Artık	10,4	15,46	25,70	36,97	22,22
	Toplam	100	4,35	22,15	100	100
300	Temiz Kömür	89,5	3,08	55,96	63,37	77,14
	Artık	10,5	15,18		36,63	22,86
	Toplam	100	4,35	25,70	100	100



Şekil 3.7 : Değişik pülpte katı oranlarında değişen kül içeriği.

Deney sonuçlarından, beslemedeki pülpte katı oranının ve G kuvvetinin kömürdeki kükürdü ve külü uzaklaştırmaya belirgin etkisi olmadığı görülmüştür. Buna rağmen, Şekil 3.6 ve 3.7'deki kül ve kükürt değişimlerine göre, en düşük kül ve kükürt

içeriklerine %30 pülpte katı oranında ulaşılmıştır. %30 pülpte katı oranında kül ve kükürdün G kuvvetlerine göre değişimleri lineere yakındır. G kuvveti, 50 G'den 300 G'ye yükseldikçe kül ve kükürt içeriği de azalmaktadır. Bu özellik külde daha belirgindir.

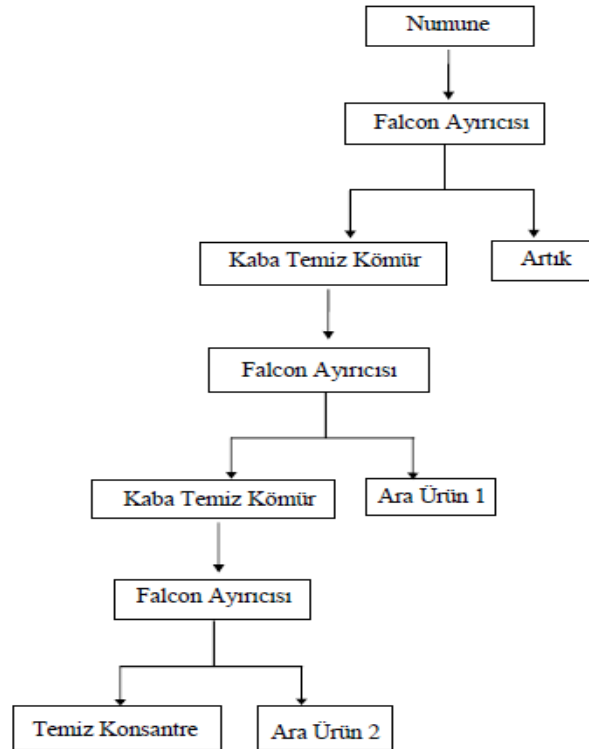
%30 pülpte katı oranı ve 200-300 G kuvvetlerinde toplam kükürdün % 37'si, külün % 22,8'i uzaklaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, kömürdeki piritik kükürdün yaklaşık % 50'sinin uzaklaştırıldığı belirlenmiştir.

3.4.4 Zenginleştirme devre tertibinin ayırmaya etkisi

Yapılan deneylerden elde edilen ve aşağıda verilen optimum koşullarda numuneye Şekil 3.8'deki devre tertibi uygulanmıştır. Deneyin sonuçları ise Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Deneyin sabit koşulları:

- Besleme hızı :0,5L/dk
- Besleme pülpte katı oranı : %30 katı
- G kuvveti : 300



Şekil 3.8 : Zenginleştirme devre tertibi akım şeması.

Çizelge 3.9 : Devre tertibinin uygulandığı deneyin sonuçları.

				Dağılım, %	
Ürünler	Miktar, %	Kükürt, %	Kül, %	Kükürt	Kül
Temiz Kömür	80,0	2,94	21,82	56,9	68,2
Ara Ürün 2	5,0	3,24	26,54	3,9	5,6
Ara Ürün 1	6,0	4,38	35,06	6,3	8,7
Artık	9,0	15,14	48,61	32,9	17,2
Toplam	100,0	4,17	25,34	100,0	100,0

Temiz kömüre temizleme uygulamasıyla kül ve kükürt içeriğinde az da olsa bir azalma olmuştur. Fakat kül ve kükürt içeriğindeki azalmalar istenilen düzeyde değildir. Aynı zamanda her bir temizleme işlemi temiz kömür kaybına da neden olmaktadır.

4. SONUÇLAR

Kömürün % 25,70 kül, % 1,68'i organik ve % 2,65'i piritik kükürt olmak üzere % 4,33 toplam kükürt içerdiği saptanmıştır.

Kömürdeki pirit tanelerinin ortalama faz boyutunun 25 mikron olduğu belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucu Falcon ayırıcısına besleme boyutunun -0,074 mm olduğu saptanmıştır.

Falcon ayırıcısına % 30 pülpte katı oranında ve 300 G kuvvetinde yapılan beslemede % 22,15 kül ve % 3,08 kükürt içeren temiz kömür elde edilmiştir.

Falcon ayırıcısına % 30 pülpte katı oranında besleme yapıldığında ve 200-300 G kuvvetleri uygulandığında numunedeki toplam kükürdün % 37'si, külün %22,8'i Falcon ayırıcısıyla uzaklaştırılmıştır. Piritik kükürdün ise, Falcon ayırıcısıyla yaklaşık %50'sinin uzaklaştırılabildiği belirlenmiştir.

Tunçbilek'ten alınan kömür numunesine Falcon ayırıcıyla zenginleştirme devre tertibi uygulandığında, piritik kükürdün yaklaşık % 60'ının Falcon ayırıcısıyla uzaklaştırıldığı hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Aydın, M., Yıldırım, I., Doğan, M. Z., Önal, G. and Çelik, M. S., 1996. Desulfurization of Low-Rank Turkish Coals by Multi-Gravity Separator. 13st Annual International Pittsburgh Coal Conference, Coal- Energy and the Environment, Volume I, Ed: S. H. Chiang, USA, 437-442.
- [2] Aslan, N., Canbazoglu, Ulusoy, M. ve Yeniçubuk U., 1999. Gemerek Linyit Kömürlerinin MGS ile Yıkanebilirliğinin Araştırılması, Türkiye 16. Madencilik Kongresi ve Sergisi, Ankara, 321-326.
- [3] Arslan, V., 2006. Kuru Kömür Hazırlama Yöntemleri, *Madencilik Dergisi*, **45**, (3), 9-18.
- [4] Ateşok, G., 2009. “Kömür Hazırlama ve Teknolojisi”, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [5] Ateşok, G., 1994. “Kömürün Özellikleri – Cevher Hazırlama El Kitabı”, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [6] Ateşok, Gündüz., 2009. “ Kömür Kullanımı ve Temiz Kömür Teknolojileri”, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [7] BP Statistical Review of World Energy, June 2010.
- [8] Cebeci, Y., Aydoğan, S. ve Özkan, A., 1996. Yozgat-Ayırdağ Linyitlerinin Zenginleştirilebilirliğinin İncelenmesi, Türkiye 10. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, (79-92).
- [9] Celep, O., Alp, İ., Deveci, H., Vıçıl, M., Yılmaz, T., 2006. Knelson Santrifüjli Gravite Ayırıcısıyla Mastea (Gümüşhane) Cevherinden Altın Kazanımı. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, **19**, (2), 175-182,
- [10] Çelik, H., 2006. “İnce Kömürlerin Temizlenmesinde Köpük Flotasyonu ve Ağır Ortam Siklonlarının Entegrasyonu”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **8**, (2), 93-106.
- [11] Demir, I., Ruch, R.R., Lytle, J.M., Steele, J.D., Rohl, C.C., 1999, “Assessing the Removal of Air Toxics in Marketed Illinois Coals by Gravity-Based Cleaning”, *Environmental Geology* 152, Illinois State Geological Survey.
- [12] Url-1 < www.concentrators.net>, alındığı tarih 22.11.2010.
- [13] Hacıfazlıoğlu, H., Bitümlü Kömür Şlamının Mekanik, Kolon ve Jameson Hücrelerinde Flotasyonu, Aralık 2000. *Madencilik*, **45**, (4), 3-9,
- [14] Honaker R. Q., Enhanced Gravity Separators: New Alternatives for Fine Coal Cleaning, 1995. Proceedings 12th International Coal Preparation Conference, Intertec Inc., Lexington, Kentucky, 282-292.

- [15] **Honaker, R. Q., Wang, D. and Ho, K.**, Application of The Falcon Concentrator For Fine Coal Cleaning, 1996. *Minerals Engineering*, **9**, (11), 1143-1156.
- [16] **Honaker, R. Q.**, High Capacity Fine Coal Cleaning Using an Enhanced Gravity Concentrator, 1998. *Minerals Engineering*, **11**, (12), 1191-1199.
- [17] **Honaker, R. Q., Singh N. and Govindarajan, B.**, Application of Dense-Medium In An Enhanced Gravity Separator for Fine Coal Cleaning, 2000. *Minerals Engineering*, **13**, (4), 415- 427.
- [18] **Url-2** <www.iea.org>, alındığı tarih 22.11.2010.
- [19] **Kemal, M., Arslan, V.**, 2010. “Kömür Teknolojisi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 033, İzmir.
- [20] **Kemal, M., Arslan, V.**, 2000. “Toz Kömür Zenginleştirilmesindeki Yeni Gelişmeler”, Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri V, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [21] **Knelson, B. ve Jones, R.**, 1993, A New Generation of Knelson Concentrators a Totally Secure System Goes on Line, *Mineral Engineering*, **7**, 201-207.
- [22] **Koca, H., Koca, S. and Karaoglu, M.**, Recovering of Fine Coal Particles from Tailing Ponds of TKİ Alpagut-Dodurga Coal Washing Plant, 2000. *Mineral Processing on the Verge of the 21st Century*, Ed: G. Özbayoglu et al., Balkema-Rotterdam, 427-431.
- [23] **Majumdera, A. K., Tiwaria V., Barnwala, J. P.**, Separation Characteristics of Coal Fines in a Knelson Concentrator – A Hydrodynamic Approach, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*.
- [24] **Mishra, B. K., Mehrotra, S. P.**, 1998, “Modelling of particle stratification in jigs by the discrete element”, *Minerals Engineering*, Vol. 11, Issue 6, 511-522
- [25] **Okutan, H., Ekinci, E., Arısoy, A.**, 2000. “Sabit ataklı Yakıcılarda Kömürün Yanması ve Kömür Rutubetinin Emisyonlara Etkisinin Araştırılması”, Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri V, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [26] **Operations and Maintenance Manual**, 2006. *Falcon Semi-Batch Concentrator Model SB40 Catalogue*, SB40 R2.0, 14 p.
- [27] **Önal, G. ve Güney, A.**, “Kömür Hazırlama Yöntemleri ve Tesisleri, Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, Ed. Kural”, Özgün Ofset Matbaacılık, (1998), 269-295.
- [28] **Önal, G.**, 2010. “Ders Notları”.
- [29] **Önal, G.**, 1994. “ Cevher ve Kömür Hazırlamanın Ülkemiz Madenciliği Açısından Önemi”, Kömür Kalitesinin İyileştirilmesi, Kömür Kullanımı, Kömür Zenginleştirme Tesislerinin Kurulması, İşletimi ve Denetimi – Meslek İçi Eğitim 19i, İstanbul.
- [30] **Önal, G.**, 1980. “Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri”, İstanbul.

- [31] **Özbayoğlu, G.**, 1994. “Kömür Zenginleştirme Yöntemleri – Cevher Hazırlama El Kitabı”, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [32] **P. Fecko.**, 1998. “Bacterial Desulphurization of Coal from Lupeni in Romania”, Proceedings of the 7 th International Mineral Processing Symposium, İstanbul.
- [33] **Parekh, B. K., Abdel Khalek, M. A.**, 2002, “Using a Falcon Concentrator, as a New Technology, for Removal of Environmental Pollutants of Egyptian Coal / Mısır Kömürlerinden Çevreyi Kirleten Bileşenlerin Uzaklaştırılması için Falcon Zenginleştiricisi Kullanımı”, Ore Dressing/Cevher Hazırlama Issue 7, 20-28
- [34] **Pişkin, S.**, 1998. “Kömürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri”, Kömür Kimyası ve Teknolojisi, Kural, O. (ed), İstanbul.
- [35] **Renda, D.**, 2000. “Temiz Kömür Kullanımında Yeni Bir Teknoloji”, Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri V, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [36] **Sabah, E., Oruç, F., Abi, E.**, “Kil içerikli kömür hazırlama tesisi atıklarından temiz kömür üretimim ve atık kilin tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması”, TÜBİTAK Destekli Projeler Veri Tabanı, 2007-756.
- [37] **Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Enerji Hammaddeler Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu, 2001**, Ankara.
- [38] **Sönmez, E. ve Koca, H.**, Cleaning of Fine Coals by Multi-Gravity Separator, 1997. European Coal Geology, Proceeding of 3th European Coal Conference, Ed: E. Nakoman, İzmir-Turkey, 481-489.
- [39] **TKİ Genel Müdürlüğü Teknoloji ve Uygulama Geliştirme Projesi**, 1986, “Kömürün Zenginleştirilmesi ve Lavvar Tesislerinin Çalıştırılması”, İstanbul.
- [40] **Taş Kömürü Raporu**, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ocak – 2010.
- [41] **Url-3** < www.worldcoal.org >, alındığı tarih 22.11.2010.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Hüseyin BAŞTÜRKÇÜ

Doğum Yeri ve Tarihi: Ödemiş-İzmir. 21-04-1986

Adres: Sahrayıcedid Mah. Ferit Bey Sok. No:14/9 Kadıköy

Lisans Üniversitesi: İstanbul Üniversitesi

Yayın Listesi:

- **Basturkcu H.**, I Kursun., Demir I., 2010. *The Application of Cyanide Leaching with Agitation Method in Kışladağ Gold Mine Ore*. The XIIth International Mineral Processing Symposium, 6-8 October, Cappadocia – Nevşehir, Turkey.