

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜNÜN KURU ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Günser GÜLDAN**

**Anabilim Dalı : Maden Mühendisliği**

**Programı : Cevher ve Kömür Hazırlama**

**OCAK 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜNÜN KURU ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Günser GÜLDAN**  
**(505061109)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Alim GÜL (İTÜ)**  
**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ (İTÜ)**  
**Prof. Dr. Ercan AÇMA (İTÜ)**

**OCAK 2010**



*Aileme ve sevdiklerime ,*



## ÖNSÖZ

Zonguldak Taşkömürünün Kuru Zenginleştirilmesi konusundaki çalışmamı yapmama olanak sağlayan Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Fatma Arslan'a, çalışmalarım boyunca yanımda olan her türlü dertlerime ortak olan samimi, içten, yardımsever, babacan ve tatlı-sert tavırlarıyla her türlü zorluğumda desteğini esirgemeyen sevgili danışman hocam Sayın Doç. Dr. Alim Gül'e, çalışmam sırasında bana bilgi ve yardımlarıyla emeği geçen Sayın Yrd. Doç. Dr. Feridun Boylu'ya, laboratuvar çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Sayın Kim. Müh. Sezin Bakan'a, tüm Cevher Hazırlama Anabilim Dalı'nda görev yapan hocalarıma ve yüzey kimyası çalışanları Ömer Kurulu ve Gafure Ersever'e teşekkür ederim. Ayrıca Erasmus Öğrenci Değişim Programı çerçevesinde çalışmalarımın bir kısmını tamamladığım RWTH Aachen Üniversitesi Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Hermann Wotruba'ya, laboratuvar çalışmalarım boyunca birlikte çalıştığım her türlü bilgi ve tecrübesini benimle paylaşmaktan sakınca duymayan Sayın Dr. Karl-Heinz Becker'a, çalışmalarımın yönlendirilmesinde fikirlerini aldığım Dr. Lars Weitkamper ve doktora öğrencileri Maryam Delavarian, Christian Schmitz'e, her sabah güler yüzü ile beni karşılayan Bölüm Sekreteri Christine Simons'a, her türlü alet ve ekipmanların çalışması ile ilgili bilgi veren Paul Ihl'e, Erasmus öğrenci değişim programının akademik hayatıma kattığı tecrübe ve yeni tanıştığım kültürün yanı sıra kazandırdığı güzel dost Tuğba Karabaş'a çok teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca maddi, manevi yardımlarını ve sevgilerini esirgemeyen haklarını teşekkürle ödeyemeyeceğim Güldan ailesine, kardeşlerim Emine Güldan Selimoğlu, Zeliha Güldan ve Zafer Güldan'a, babam Haşim Güldan ve annem Hüsniye Güldan'a, zor anlarımda desteğini hissettiğim dostlarıma sonsuz teşekkürler.

Ocak 2010

Günser GÜLDAN





## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖNSÖZ</b>	v
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	vii
<b>KISALTMALAR</b> .....	xi
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	xiii
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	xv
<b>ÖZET</b>	xvii
<b>SUMMARY</b> .....	xix
<b>1. GİRİŞ</b>	1
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	3
2.1 Kömürün Oluşumu .....	3
2.2 Kömürün Tanımı ve Sınıflandırılması.....	3
2.3 Kömür Türleri .....	5
2.3.1 Turba.....	6
2.3.2 Linyit .....	6
2.3.3 Taş Kömürü.....	7
2.3.4 Antrasit .....	7
2.3.5 Grafit.....	7
2.4 Kömürün Kullanımı ve Teknolojisi .....	7
2.5 Kömürün İçerdiği Safsızlıklar .....	8
2.5.1 Nem .....	8
2.5.2 Kül .....	8
2.5.3 Kükürt.....	8
2.6 Kömürün Petrografik Yapısı.....	9
2.6.1 Vitren .....	10
2.6.2 Klaren .....	10
2.6.3 Düren .....	10
2.6.4 Füzen .....	10
2.7 Mineraller.....	11
2.7.1 Kil Mineralleri.....	11
2.7.2 Karbonatlar.....	11
2.7.3 Silikatlar ve Diğer Mineraller .....	12
2.7.4 Tuzlar.....	12
2.7.5 İz Öğeler .....	12
2.8 Dünyada Mevcut Durum .....	12
2.8.1 Kömür Rezervleri .....	12
2.8.2 Kömür Tüketimi .....	13
2.8.3 Kömür Üretimi .....	14
2.8.3.1 Üretim Yöntemi ve Teknolojisi.....	14
2.9 Türkiye'de Mevcut Durum.....	15
2.9.1 Kömürün Türkiye'de Bulunuş Şekilleri .....	15
2.9.1.1 Linyit.....	16

2.9.1.2 Taşkömürü .....	16
2.9.1.3 Asfaltit .....	17
2.9.1.4 Bitümlü Şist .....	17
2.9.1.5 Turba.....	18
2.9.2 Kömür Rezervleri.....	19
2.9.3 Kömür Üretimi ve Tüketimi .....	20
2.9.4 Kömür Üretim Yöntemleri .....	21
2.9.4.1 Açık İşletme Yöntem ve Teknolojileri .....	21
Sürekli Sistem .....	21
Süreksiz Sistem.....	21
2.9.4.2 Yeraltı İşletme Yöntemi ve Teknolojileri.....	21
2.10 Türkiye Kömür Pazarı.....	22
2.11 İthalat ve İhracat .....	22
2.12 Kömür Hazırlama Teknolojileri.....	23
2.12.1 Lavvarlar.....	24
2.12.1.1 Taşkömürü .....	24
2.12.1.2 Linyit .....	24
2.12.1.3 Tunçbilek Lavvarı .....	25
2.12.1.4 Tunçbilek - Ömerler Lavvarı .....	25
2.12.1.5 Mobil Lavvar.....	25
2.12.1.6 Briketleme.....	26
2.12.1.7 Koklaştırma, Gazlaştırma ve Sıvılaştırma .....	27
2.13 Ürün Standartları.....	27
<b>3. ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>29</b>
3.1 Kuru Zenginleştirme .....	29
3.2 Kuru Kömür Zenginleştirme Yönteminin Tarihçesi.....	30
3.2.1 Ayıklama .....	31
3.2.2 Kırma ve Boyuta Göre Sınıflandırma .....	32
3.2.3 Accelarator.....	32
3.2.4 Gravite Esaslı Çalışan Havalı Ayırıcılar .....	32
3.2.5 FMC Separatör.....	35
3.2.6 FGX Ayırıcı.....	35
3.2.7 Optik Ayırıcılar.....	36
3.3 İnce Boyutlu Kuru Kömür Zenginleştiriciler .....	37
3.3.1 Aerodinamik Ayırıcılar .....	37
3.3.2 Manyetik Ayırıcılar.....	38
3.3.3 Elektrostatik Ayırma .....	39
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>41</b>
4.1 Amaç .....	41
4.2 Yöntem .....	41
4.2.1 Kül analizi.....	41
4.2.2 Uçucu Madde Analizi.....	43
4.2.3 Sabit Karbon Analizi.....	43
4.2.4 Isıl Değer Analizi .....	43
4.3 Deneylerde Kullanılan Numunenin Özellikleri .....	43
4.3.1 Numunenin Fiziksel Özellikleri.....	43
4.3.2 Numunenin Standart Analizleri .....	45
4.3.3 Yıkanabilirlik Testleri (Yüzdürme-Batırma Deneyleri).....	45
4.4 Kuru Zenginleştirme Deneyleri .....	58
4.4.1.1 Allair Jigi İle Kuru Zenginleştirme .....	59

4.4.1.2 . Optik Ayırma .....	62
4.4.2 İnce Boyutta Zenginleştirme (-2 mm) .....	64
4.4.2.1 Cala Havalı Ayırıcı (CDF) .....	64
4.4.2.2 Manyetik Zenginleştirme .....	68
4.5 Boyut Küçültmenin Kuru Ayırmaya Etkisinin İncelenmesi .....	72
<b>5. YORUMLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>77</b>
<b>6. SONUÇLAR.....</b>	<b>81</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>83</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>85</b>



## **KISALTMALAR**

<b>ISO</b>	: Uluslararası Standartlar Örgütü
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>MTA</b>	: Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü
<b>TKİ</b>	: Türkiye Kömür İşletmeleri
<b>EÜAŞ</b>	: Elektrik Üretim AŞ.
<b>TTK</b>	: Türkiye Taşkömürü Kurumu
<b>TEK</b>	: Türkiye Elektrik Kurumu
<b>CDF</b>	: Cala Kuru Havalı Ayırıcı Sistem



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Çeşitli Kömürleşme Derecelerindeki Kömürlerin Özellikleri .....	4
<b>Çizelge 2.2</b> : Genel Sınıflandırmada Yeralan Kömürlerin Tanıtıcı Özellikleri	5
<b>Çizelge 2.3</b> : Linyitle Turbayı Ayıran Ölçütler .....	6
<b>Çizelge 2.4</b> : Kömürün Petrografik İçeriği .....	10
<b>Çizelge 2.5</b> : Dünya Kömür Rezervleri .....	13
<b>Çizelge 2.6</b> : 2002 Yılında Alternatif Enerji Kaynaklarının Dünya Genel Enerji Tüketimi İçindeki Payları .....	14
<b>Çizelge 2.7</b> : Dünya Kömür Üretimi (Milyon Ton) .....	15
<b>Çizelge 2.8</b> : Türkiye'deki Taşkömürü Rezervleri (Milyon Ton) .....	19
<b>Çizelge 4.1</b> : Tüvenan Kömürün Elek Analizi Sonuçları .....	44
<b>Çizelge 4.2</b> : Numunenin Standart Analizleri .....	45
<b>Çizelge 4.3</b> : -20+16 mm Boyutundaki Malzemenin Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları .....	47
<b>Çizelge 4.4</b> : -16+8 mm Boyutundaki Malzemenin Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları .....	49
<b>Çizelge 4.5</b> : -8+2 mm Boyutundaki Malzemenin Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları .....	51
<b>Çizelge 4.6</b> : -2.0 mm Boyutundaki Malzemenin Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları .....	53
<b>Çizelge 4.7</b> : Kömür Yıkama Eğrilerinin Birleştirilmesi ile Oluşturulan Toplam Yüzen, Toplam Batan, Yoğunluk ve Parça Kül Verileri .....	55
<b>Çizelge 4.8</b> : Kömür Numunesinin Fraksiyonlara Göre Yıkabilirliği.....	57
<b>Çizelge 4.9</b> : Havalı Jig Deneyi Sonuçları .....	60
<b>Çizelge 4.10</b> :Jig Deneyi Sonuçları .....	61
<b>Çizelge 4.11</b> :CDF Deneyi Sonuçları .....	65
<b>Çizelge 4.12</b> :Yaş Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları.....	67
<b>Çizelge 4.13</b> :Ön Hazırlık Deneylerine Göre -2+1 mm Boyutlu Kömür Numunesi İçin Farklı Bant Hızlarında Yapılan Manyetik Ayırma Deney Sonuçları .....	69
<b>Çizelge 4.14</b> :Ön Hazırlık Deneylerine Göre -1+0.25 mm Boyutlu Kömür Numunesi İçin Farklı Bant Hızlarında Yapılan Manyetik Ayırma Deney Sonuçları .....	70
<b>Çizelge 4.15</b> :Farklı Boyut Aralığındaki Malzemenin Manyetik Ayırma Deney Sonuçları .....	71
<b>Çizelge 4.16</b> :-0.25 mm Boyut Aralığındaki Malzemenin Manyetik Ayırma Deney Sonuçları .....	72
<b>Çizelge 4.17</b> :-20+2 mm Boyutundaki Malzemenin 2 mm Altına Kırılarak Yapılan Cala Havalı Ayırıcı Deney Sonuçları .....	73





## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 :	Elle Ayıklama Tesisi ..... 31
Şekil 3.2 :	Pnömatik Osilasyonlu Havalı Masa ..... 33
Şekil 3.3 :	Allair Havalı Jigi Şematik Görünümü ..... 34
Şekil 3.4 :	FGX Ayırıcısı Ünitesi ..... 35
Şekil 3.5 :	FGX Ayırıcısı Şematik Görünümü ve Masa Yüzeyi ..... 36
Şekil 3.6 :	Optik Ayırma Uygulaması ..... 37
Şekil 4.1:	Deneysel Çalışmalarda İzlenen Yol ve Çalışılan Boyutlar ve İlgili Cihazlar ..... 42
Şekil 4.2:	Tüvenan Kömürün Boyut Dağılım Eğrisi ..... 44
Şekil 4.3:	-20+16 mm Fraksiyonunda Gerçekleştirilen Yüzdürme-Batırma Deney Sonucu ..... 48
Şekil 4.4:	-16+8 mm Fraksiyonunda Gerçekleştirilen Yüzdürme-Batırma Deney Sonucu ..... 50
Şekil 4.5:	-8+2 mm Fraksiyonunda Gerçekleştirilen Yüzdürme-Batırma Deney Sonucu ..... 52
Şekil 4.6:	-2.0 mm Fraksiyonunda Gerçekleştirilen Yüzdürme-Batırma Deney Sonucu ..... 54
Şekil 4.7:	Birleştirilmiş Yüzdürme-Batırma Deney Sonucu ..... 56
Şekil 4.8:	Allair Jigin Kesit Resmi ..... 59
Şekil 4.9:	Deneylerde Kullanılan Havalı Jig ..... 60
Şekil 4.10:	Farklı Hava Hızlarının Ayırma Verimine Ve Ürün Kalitesine Etkisi ..... 61
Şekil 4.11:	Yıkanabilirlik Eğrisine Göre Havalı Jig Ve Sulu Jigin Karşılaştırılması ..... 62
Şekil 4.12:	Deneylerde Kullanılan Optik Ayırıcı ..... 63
Şekil 4.13:	Optik Zenginleştirme Cihazı İle Resmi Çekilen Kömür Numunelerinin Görünümü ..... 63
Şekil 4.14:	Cala İnce Boyutlu Havalı Ayırıcı ..... 65
Şekil 4.15:	CDF Akım Şeması ..... 66
Şekil 4.16:	Yıkanabilirlik Eğrisine Göre CDF Ve Sallantılı Masanın Karşılaştırılması ..... 68
Şekil 4.17:	Deneylerde Kullanılan Manyetik Ayırıcı ..... 69
Şekil 4.18:	Farklı Bant Hızlarının Yanabilir Verime Etkisi ..... 70
Şekil 4.19:	Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırıcı ..... 72
Şekil 4.20:	CDF Akım Şeması ..... 74
Şekil 4.21:	CDF Şist Ürününün Mikroskoptaki Görünümü ..... 75
Şekil 4.22:	CDF Lave Ürününün Mikroskoptaki Görünümü ..... 75
Şekil 5.1 :	Boyut Fraksiyonlarına Bağlı Olarak FGX Cihazında Ulaşılan Ayırma Yoğunlukları ..... 77
Şekil 5.2 :	Kuru Zenginleştirme Cihazlarının Ayırma Yoğunlukları ..... 79



## ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜNÜN KURU ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

### ÖZET

Kömür; çoğunlukla karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan az miktarda kükürt ve azot içeren, kimyasal ve fiziksel olarak farklı yapıya sahip maden ve kayadır. Günümüzde elektrik üretimi, demir-çelik sanayi, çimento sektörü, ısınma ve diğer endüstri tesislerinde kullanılan kömür özellikle Türkiye’de klasik yaş yöntemlerle zenginleştirilmektedir. Ancak Amerika, Çin gibi ülkelerde kömür klasik yaş yöntemlere göre bir çok avantajı olan kuru zenginleştirme yöntemi ile de zenginleştirilebilmektedir.

Zonguldak Bölgesi’nden alınan ve yüksek lisans tez çalışmasında deney numunesi olarak kullanılan taş kömürü üzerinde öncelikle yaş elek analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda tüvenan kömürün kül içeriği %47.3, kalorifik değeri 4400 Kcal/kg olarak bulunmuştur. Yıkanabilirlik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yüzdürme-batırma deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalara göre kömür numunesinin orta güçlükte yıkanabilir bir malzeme olduğu anlaşılmıştır.

Araştırma kapsamında uygulanan ilk yöntemde Zonguldak yöresinden getirilen taşkömürünün kuru zenginleştirmeye uygunluğu araştırılmıştır. Cevher kuru yöntemlerden; havalı ayırma, optik ayırma, manyetik ayırma yöntemleri ile zenginleştirilmiştir. İkinci yöntemde ise numune yaş olarak sarsıntılı masa ve jig ile zenginleştirilmiş ve her iki yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır.

Kuru yöntemde kışın sert geçtiği bölgelerde, yaş yöntemde oluşan donma problemleri yaşanmaz ve su olmayan yörelerde tesis kurulmasına imkan yaratır. Aynı zamanda tesis binası ve işletme giderleri yaş yöntemlere göre daha azdır. Sonuç olarak, ülkemizde termik santralde yakılmak üzere üretilen kömürlerin değerlendirilmesi açısından kuru yöntemle zenginleştirme, termik santral verimini artırma açısından önemli bir alternatif olabilecektir. Kuru zenginleştirme ile yaş yöntemin kullanılması ile oluşan ek maliyetler azaltılabilecektir.



## **AN HARD COAL INVESTIGATION INTO THE DRY CLEANING OF ZONGULDAK**

### **SUMMARY**

Coal is mine and a kind of rock which mostly contains of carbon, hydrogen and oxygen, contains small amount of sulphur and nitrogen, has different chemical and physical structure. Today, in Turkey, coal that is used in electricity generation, in iron-steel industry, in cement industry, in heating and other industrial plants, is richened with classical wet processing method. However in the USA and China, coal can be richened with dry processing method which has more advantages comparing to classical wet processing method.

Wet screen analyses were initially performed on bituminous coal sample taken from Zonguldak Region. Following to wet analyses original coal sample was subjected to the ash and calorific value analyses and the ash contents and the calorific value of the tested sample were obtained as 47.3 % and 4400 Kcal/kg, respectively. The conventional sink-float tests were performed on the original tested coal sample (ROM) to determine the washability characteristics. The tested coal sample was found medium difficulty to be washed.

In the first step which will be applied together with this research, a sample of mineral coal which was brought from Zonguldak area, will be analyzed whether it is suitable for dry processing method. In the second step, the sample will be enriched with wet processing method which is shaking table and jig. Then, the results of these two methods have been compared with each other.

In dry processing, where the winter conditions are colder, does not have frost problems as in wet processing method and it also creates opportunity to build plants where there is no water available. Moreover, costs of merchant and expenses of plants are less compare to wet processing method.

As a result, in respect to dry processing method is the assessment of coal which is to be used in thermoelectric power plant, will be an important advantage in increasing of effectiveness of thernoelectric power plant. With dry processing method, additional costs which results from wet processing method, will be reduced.



## 1. GİRİŞ

Kömür düşük maliyetlerle elde edilebilen temiz bir fosil yakıttır. Kömür rezervlerinin diğer fosil yakıtlar gibi (petrol ve doğalgaz) Dünya'nın belli bir bölümünde değil tüm dünyada yaygın bir şekilde bulunması; kömürün kullanımı, depolanması ve nakliyesi açısından en emniyetli fosil yakıt olması; temiz kömür teknolojileri kullanılarak günümüzde kömürün tüm dünyada doğayı kirletmeden kullanılması ve elektrik enerjisi üretiminde ucuz ve rekabetçi bir yakıt olması nedeniyle kömür ve zenginleştirme yöntemleri geçmişte olduğu gibi günümüzde de önemini korumaktadır.

Türkiye'de kömür genellikle klasik yaş yöntemlerle zenginleştirilmektedir. Türkiye'deki kömürlerin büyük çoğunluğu düşük ısı değerli olmasının yanında oluşum olarak düşük ranklı genç kömürlerdir. Yüksek oranda nem içeren bu kömürlerin çoğunda yantaş olarak kil bulunmakta ve yaş yöntemle yıkamayı olumsuz etkilemektedir. Bunun yanında yaş yöntemle yıkamada, kül oranının düşürülmesi ile elde edilen ısı değer artışı, genç kömürlerde yüzey nemi artışının fazla olması nedeniyle tekrar düşmekte yani önemli bir kazanç elde edilememektedir. Ayrıca sulu ortamda zenginleştirilen genç kömürler daha sonra stokta kuruma esnasında çok büyük oranda ufalanmaya maruz kalmakta ve kayıpların yanında yükleme-aktarma ve benzeri işlemler zorlaşmaktadır.

Gelişen teknoloji ile birlikte kuru kömür hazırlama yöntemleri tekrar önem kazanmaya başlamıştır. Kuru yöntemlerin geçmişteki en önemli dezavantajı verim düşüklüğü olmuştur. Ancak günümüzde gelişen yeni teknolojilerle, özellikle sadece serbest taşların atılmasıyla bile termik santral için önemli faydalar sağlayabildiğinden, kuru kömür hazırlama yöntemleri tekrar önem kazanmaya başlamıştır. Yaş yöntemlerde önemli bir maliyet unsuru olan suyun neden olduğu tesis atık problemleri, kuru yöntemlerde oluşmamakta, büyük hacimli havuzlara gereksinim duyulmamakta, kömür nemi artmamakta, işlem daha basit olmaktadır.

Ayrıca kışın sert geçtiği bölgelerde suyun donması da yaş yöntemler için önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Bu amaçla Zonguldak kömür sahasından alınan kömür numunesinin kuru zenginleştirmeye uygun olup olmadığı araştırılmıştır.



## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1 Kömürün Oluşumu**

Kömür gerçekte, değişik oranlarda organik ve inorganik yapıcı ve bileşenler içeren tortul bir kayadır. Kömürü yapan ana eleman karbondur. Bu nedenle oluşumu karbon çevrimiyle bire bir ilgilidir. Kömür hava çevrimi bataklıklarda başlar. Kömürleşmenin başlıca kaynakları bitkiler, havadan veya yüzeysel sulardan alınan CO<sub>2</sub>'dir.

Magma az da olsa CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> vb. içerir ve hidrotermal-pnömatolitik ve volkanik etkinlik süreçlerinde, gaz, buhar ve çözeltilerle karbon çevrimine katılırlar. Hava ve sudaki CO<sub>2</sub>'nin önemli bir bölümünü bitkiler özümlemeler, yaşamları için gerekli olanı yapılarında tutarlar, artığı solunum yoluyla geriye döner, doğal denge korunur. Ancak sanayi gazlarının bu dengede bozucu payını unutmamak gerekir. CO<sub>2</sub>'nin suda çözünen bölümü, karbonatlı kayalarda ve organik tortularda birikir. Bunların başkalaşması sonucu tekrar çevrime katılır.

Kömür, uygun ortamlarda bataklıklarda bozunma ve çürümeden kurtulan, bitki ve kalıntı birikimlerinin, zamanla biyokimyasal ve fiziksel etkilerle değişimi sonucu oluşur [1].

### **2.2 Kömürün Tanımı ve Sınıflandırılması**

Kömür, çoğunlukla karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan az miktarda kükürt ve azot içeren, kimyasal ve fiziksel olarak farklı yapıya sahip maden ve kayadır. Diğer içerikleri ise kül teşkil eden inorganik bileşikler ve mineral maddelerdir. Kömürleşme süreci ve yataklanma, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde 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, kullanım ve teknolojisinde ileri ülkeler öncelikle kendi kömürlerini özelliklerine göre bir

sınıflama yaptıkları gibi uluslararası genel bir sınıflama için ortak standartlarda geliştirmişlerdir. Değişik tipte kömürlerin kullanım amaçlarına göre uluslararası sınıflandırılmasında; ilk olarak 1957 yılında çeşitli ülkelerden üyelerin oluşturduğu Uluslararası Kömür Kurulu'nca birçok ülkeden temin edilen numuneler üzerinde yapılan çalışmalar, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamada; kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak sert kömürler ve kahverengi kömürler olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır:

a) Sert kömürler; ıslak ve külsüz bazda 5.700 kcal/kg'ın üzerinde kalorifik değerlerdir. 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 değere sahiptirler. Toplam nem içeriği ve kalorifik değerlere göre alt sınıflara ayrılırlar. Uluslararası kömür sınıflamasında kabul edilen diğer bir sınıflama işlemi ise, Kömür Rank Sınıflamasıdır (Kömürleşme Derecesi Sınıflaması). Bu sınıflandırmada karbon içeriği temel değişkendir. Çizelge 2.1'de çeşitli kömürleşme derecelerindeki kömürlerin özellikleri verilmiştir. [2].

Kömürleşme derecesi yüksek olan kömürlerde uçucu madde içeriği, kömürleşme derecesi düşük olan kömürlerde ise kalorifik değer baz alınarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.2'de kömürlerin tanıtıcı özelliği verilmiştir.

**Çizelge 2.1 : Çeşitli Kömürleşme Derecelerindeki Kömürlerin Özellikleri [3].**

Rank (Kömürleşme Derecesi)	Uçucu Madde İçeriği, % Ağırlık, Islak-Külsüz	Karbon İçeriği, % Ağırlık, Islak-Külsüz	Kalorifik Değer Btu/Lb, Mineral maddesiz	Nem İçeriği, % Ağırlık
1.LİNYİT	69-44	76-62	8300-6300	52-30
2.ALT BİTÜMLÜ	52-40	80-71	11500-8300	30-12
3.BİTÜMLÜ				
a)Yüksek Uçuculu-B	50-29	86-76	13000-10500	15-2
b)Yüksek Uçuculu-C	48-35	87-76	14000	5-1
c)Yüksek Uçuculu-A	49-31	88-78	14000	5-1
d)Orta Uçuculu	31-22	91-86	14000	5-1
e)Düşük Uçuculu	22-14	91-86	14000	5-1
4.ANTRASİT	14-2	99-91	14000	5-1

**Çizelge 2.2** : Genel Sınıflandırmada Yeralan Kömürlerin Tanıtıcı Özellikleri [1].

Linyit	Alt Bitümlü Kömürler	Bitümlü Kömürler	Antrasit
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırılğan, çabuk halinde ufalama	Oksidasyon veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Bloksu kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsli doku	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı
Isıl değeri; 4610 Kcal/kg'in altında	Isıl değeri; 4610-6930 Kcal/kg Arasında	Isıl değeri; 5390-7700 Kcal/kg arasında	Isıl değeri; 7000 Kcal/kg'in üzerinde
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde ve nem içerikleri düşük
Düşük sabit karbon içeriği	Sabit karbon içeriği bitümlü kömürlerden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek

### 2.3 Kömür Türleri

Kömürleşme ortamındaki basınç ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak bünyedeki su, uçucu maddeler (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub> vs) azalmakta, karbon oranı, kalori değeri artmaktadır. Burada ideal fiziksel ve kimyasal değişimlere bağlı olarak sırasıyla; turba, linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür (taşkömürü), antrasit, grafit kömür türleri oluşmaktadır.

Turbadan grafitte doğru gidildikçe metamorfizma şiddeti (basınç ve sıcaklık etkisi) artmakta, karbon yüzdesi ve kalori miktarı artmakta, buna bağlı olarak su ve uçucu maddeler azalmaktadır. Ayrıca kömürün sertliği artmakta ve tozlanma azalmaktadır[1].

### 2.3.1 Turba

Biyokimyasal kömürleşmeye uğramış en genç kömür türüdür. Renkleri sarı, kahverengi ve siyah olabilen turbaların sertliği azdır. Turbalarda odunumsu yapıyı görmek mümkündür .

Turbaların taşıdıkları özellikler, başlangıçtaki bitki türlerine, oluşum koşullarına ve çeşitli bitki kısımlarının çürüme derecelerine bağlı olarak değişiklikler gösterir.

Turbaların bazı önemli özelliklerini şöyle sıralamak mümkündür:

- Sulandırılmış alkali ile muamele edildiğinde, lif ve dal parçaları kalır.
- Elle sıkıldığında su kaybeder.
- %75'in üzerinde orijinal nem içerir.
- Turbalarda çıplak gözle ayrışmamış ve şekilleri bozulmamış bitkisel

artıklar görülebilir [1].

Turba ile linyit arasındaki sınır kesin değilse de ikisini ayırt edebilmek için bazı ölçütler kullanılabilir. Linyitle turbayı ayıran ölçütler Çizelge 2.3'de verilmiştir.

**Çizelge 2.3 : Linyitle Turbayı Ayıran Ölçütler**

	TURBA	LİNYİT
Rutubet	>75	<75
Karbon	<60	>60
Serbest selüloz	Var	Yok
Kesilebilirlik	Evet	Hayır

### 2.3.2 Linyit

Linyit kömürler, turbalarla taşkömürleri arasında geniş bir bant oluştururlar. Kömürleşme derecesine göre, değişik oranlarda orijinal nem içerirler. Orijinal nem oranı yükseldikçe, jeokimyasal kömürleşmenin etkisi azalmakta ve yumuşak linyitlerde minimum seviyeye inmektedir.

Linyit kömürleri dış görünüşlerine göre, yumuşak ve sert linyitler diye ikiye ayrılırlar. Yumuşak linyitler, %35-75 arasında orijinal neme sahiptirler. Yumuşak linyitler çok az parça sağlamlığına sahiptir. Ocaktan çıkarılarak depolandıkları taktirde, zamanla tamamen toz haline gelirler. Su ile temasa geçtiklerinde önemli ölçüde su alarak şişerler ve dağılırlar. Bu bakımdan yumuşak linyitlerin ocaktan çıkarıldıkları şekilde, ev yakıtı olarak kullanılmaları mümkün değildir.

Sert linyitler, yumuşak linyitlerden sonra başlayarak taşkömürü sınırina kadar geniş bir alana yayılan kömür türleridir. Bu tür kömürler yumuşak linyitlere göre daha fazla parça sağlamlığına sahiptir. Orijinal nemi az olan türleri, taşıma ve depolanma esnasında fazla tozlanmaz. Orijinal nem oranı arttıa hem parça sağlamlığı azalır, hem de tozlanma özelliği artar [1].

### **2.3.3 Taş Kömürü**

Bu kömürlerin orijinal nem oranları oldukça azdır (%1-2) ve karbon oranları yüksektir. Gerek nem oranlarının az olması ve gerekse de daha sağlam yapıya sahip olmaları nedeni ile taşkömürleri taşıma ve depolamada parça büyüklüklerini büyük ölçüde korurlar. Diğer kömür türlerine göre daha yüksek ısı değerine sahip olan taş kömürleri, birçok kullanım alanına sahiptir [4].

### **2.3.4 Antrasit**

Bu kömür, Amerika'da sert kömür ve Galler'de kaya kömürü şeklinde anılır. Demir siyahı rengi, yarı metalik parlaklığı ile tanınır. Toz ve is oluşturmadığı ve uzun süre yandığı için ev yakıtı olarak çok aranır [4].

### **2.3.5 Grafit**

Grafit, oldukça yumuşak, dokunumu yağsı ve ince levhalar halinde bükülme özelliğine sahiptir. Sertliği 1, yoğunluğu  $2 \text{ gr/cm}^3$  dr. Rengi siyah ve gri, çizgi rengi kl rengindedir. Doğada; kristal, pul ve 'amorf' diye tanımlanan Şekilleri mevcut olup, en iyi formu kristal grafitir ve tenörü en yüksek olanıdır. Çok geniş kullanım alanları vardır [4].

## **2.4 Kömürün Kullanımı ve Teknolojisi**

Kömür, termik santralde elektrik enerjisi üretiminde, konutlarda, sanayide, ulaştırmada, ısınma amaçlarıyla kullanılır. Ayrıca, kömürlerden asitleştirme ve teknolojik yöntemlerle birçok ürün elde edilebilir. Bu yöntemlerden başlıcaları; koklaştırma; sıvılaştırma ve gazlaştırmadır [2].

## **2.5 Kömürün İçerdiği Safsızlıklar**

Kömürün içerdiği ve gerek kullanım gerekse kömür yıkamada önem taşıyan safsızlıklar üç grupta toplanmaktadır: Nem, kül, kükürt [2].

### **2.5.1 Nem**

Kömür, yerindeyken, kuru ve yağlı gözükmeye karşı, su ile doygunur. Bu nem varlığı, yatak nemi olarak adlandırılır. Nem kömürün yüzeyinde olduğu gibi, kömür içindeki çatlak ve gözeneklerde de bulunabilir. Taşkömürleri, orijinal bazda, genellikle %10'un altında nem içerirken, linyitler, kalitesine bağlı olarak %55'lere kadar ulaşan oranlarda nem içerebilirler [2].

### **2.5.2 Kül**

Bütün kömürler, organik olmayan maddeler içerirler. Kömürün yanmasından sonra, yanmayan maddelerden oluşan artığa kül denir. Külün büyük bir kısmı kimyasal bileşim olarak silisyum, alüminyum ve demir oksitlerden ibarettir. Kömürlerde iki türlü kül bulunur: Bünye külü ve harici kül (üretim külü). Bünye külü, kömürü oluşturan bitkilerden gelen inorganik maddelerdir ve kömürlerdeki toplam külün %2-3'ünü oluştururlar. Harici kül ise, kömürü oluşturan bitkilerin dışında kömüre karışan yabancı maddelerdir. Bu maddeler, kömüre, kömürleşme esnasında karışabileceği gibi kömürleşmeden sonra da kömür damarları içindeki çatlak ve kırıklar boyunca girebilir.

Bu yabancı maddeler kil, şist, kumtaşı, kireçtaşı vb. olabilir. Bunlar, kömür içinde mikroskobik parçalar halinde bulunabileceği gibi damarlar ve/veya tabakalar halinde de bulunabilir. Yabancı maddeler, tüvanan kömüre, üretim esnasında tavan ve taban yan taşlarından da karışabilir. Bunların hepsi harici külü oluştururlar. Bünye külü, kömürlerden, yıkama yöntemleriyle uzaklaştırılmazken, harici kül kömür yıkama yöntemleriyle belli bir oranda azaltılabilir [2].

### **2.5.3 Kükürt**

Bütün kömürler, az miktarlarda da olsa kükürt içerirler. Kömürlerde bulunan kükürt üç formda olabilir: Organik, inorganik ve sülfat kükürdüdür. Bunlara ek olarak bazı kömürlerde elementer kükürtle karşılaşmıştır.

Organik kükürt, kömürün organik materyalinin bir parçasıdır. Bu nedenle, kömürden fiziksel yöntemlerle uzaklaştırılması mümkün değildir. Sülfat kükürdü, kömürde toplam kükürdün çok az bir kısmını oluşturur. Jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) halinde bulunduğu gibi, kömürün hava ile uzun süre teması sonucu  $\text{FeSO}_4$  olarak da bulunabilir. Piritik kükürt ise pirit ve markasit minerallerine bağlı olarak bulunur. Kömürün içerisinde bantlar, damarlar, merccekler, küresel veya dissemine tanecikler halinde türlü şekil ve biçimlerde dağılırlar. İster gözle görülebilir (makroskobik), ister mikroskobik olsun piritik kükürt, kömürden serbestleştiği takdirde flotasyon veya diğer zenginleştirme yöntemleriyle kömürden temizlenebilir [2].

## **2.6 Kömürün Petrografik Yapısı**

Kömürün petrografik yapısı, 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 durain 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 kayaçların en küçük birimi olan minerallere benzetilebilirler. Çizelge 2.4'de Stopes-Harrlen kömür kayaç ve maseralleri sınıflandırması verilmiştir. Maseraller biraraya gelip maseral gruplarını oluştururlar. Maseral grupları da gözle değil, sadece mikroskop altında görülebilirler [2].

**Çizelge 2.4 : Kömürün Petrografik İçeriği [2].**

Makroskobik	Mikroskobik	
Kömür Kayaçları Litotipler	Maseral grupları	Maseraller
Vitren	Vitrinit	Kollinit, tellinit
Klaren	Vitrain çok, eksinit ve inertinit çok az bulunur.	Kollinit, tellinit, sporonit, kutinit, alganit, resinit, fusinit, mikrinit, skeloronit, semi fusunit
Düren	İnertinit çok, vitrinit eksinit az bulunur.	Fusinit, mikrinit, skeloronit, semi-fusinit, kollinit, tellinit, sporonit, kutinit, alganit, resinit
Füzen	İnertinit	Fusinit

### 2.6.1 Vitren

Bunlar damarda, birkaç milimetreden başlayan bir kalınlığa sahip olarak bantlar veya merccekler halinde bulunurlar. Parlak ve cilalı bir görünüşte olup, homojen yapıdadırlar.

### 2.6.2 Klaren

Oldukça parlak ve ince şerit halindedirler. Vitren gibi üniform bir parlaklığa ve homojenliğe sahip değildir. Ayrıca, konkoidal kırılma da söz konusu olmamaktadır.

### 2.6.3 Düren

Sert, kompakt ve mat kömüre verilen addır. Hem ince hem de kalın bantlar halinde rastlanmaktadır.

### 2.6.4 Füzen

Tel tel, gevrek ve mat kömüre bu ad verilir. Rengi genellikle gri siyah olup, hemen toz haline gelebilmekte ve eli kirletmektedir [2].



## 2.7 Mineraller

Kömürler içinde 50-60 tür mineral gözlenmiştir. Bunlardan en önemlileri, killeri, karbonatlar ve demir mineralleridir. Diğerlerinin büyük çoğunluğu %1'in altındadır [4].

### 2.7.1 Kil Mineralleri

En sık gözlenen mineral grubudur. Genelde minerallerin %60-80'ini oluşturur. Kömürle ara katmanlıdır. Katmanların kalınlığı 1-2 mm'den birkaç cm'ye, bazen de 10 cm'ye varabilir. Uygulamada killi kömürler, hacimsel kil, kömür oranlarına göre sınıflandırılır. %20'ye kadar kil içeren mikrolitotiplere killi kömürler, %20-60 oranında kil içerenlere karbarjilit denir. Birincilerin yoğunluğu  $1.5 \text{ gr/cm}^3$ 'ten ikincilerin  $2 \text{ gr/cm}^3$ 'ten küçüktür. Yoğunluğu  $2 \text{ gr/cm}^3$ 'ten büyük olanlara kömürlü kil denir. Killeri, karbarjilitler ve kömürlü killeri suyun etkisiyle şişebilirler. Kömürle karışık bulunan killeri üç türe ayrılabilir:

- a) Karmaşık yaygılı kömürlü kil taşı
- b) Kaolen kömürlü kil taşı
- c) İllit kömürlü kil taşı

Killerin içinde bulunan zirkon ve sanidin kristallerine dayanarak yaş saptanabilmektedir. Böylece kömür katmanlarının karşılaştırılması ve stratigrafik konumlarının belirlenmesi mümkündür.

### 2.7.2 Karbonatlar

Kalsit, siderit, dolomit ve ankeritin yanı sıra kalsiyum, magnezyum ve manganın çeşitli karmaşık karbonatları da kömürün içerdiği önemli bileşenlerdendir. Birincil ve ikincil kökenli olabilirler. Birincil kökenli olanlardan en yaygını siderittir. Siderit ısınsal veya yuvar yapısındadır. Dolomit çoğunlukla deniz ilerleme süreçlerinde gelişir. Kömür topları veya biçimli kristaller halindedir. Kalsit ve ankerit daha çok ikincil kömürleşme evresinde kırık ve çatlaklarda gelişir. %20-60 oranında karbonat içeren kömürlere karbankerit denir. Yoğunlukları  $1.5 \text{ gr/cm}^3$  civarındadır [4].

### **2.7.3 Silikatlar ve Diğer Mineraller**

Büyük miktarda kuvars şeklinde ortaya çıkmakta ve toplam mineral maddenin %15-20'sini oluşturmaktadır. Silikatlar içinde killerden sonra en önemlisi kuvarstır. Kuvars genelde taşınmış ise kenarları yuvarlanmış kristaller; bataklık suyunda çözülmüş silisin uygun koşullarda çökelişi ile oluşmuşsa, mini kristalli veya kalsedon biçiminde gözlenir. Diğer silikat ve mineraller önemsiz oranlarda izlenirler [2, 4].

### **2.7.4 Tuzlar**

Birçok kömürde klorür, sülfat ve nitrat tuzlarının izlerine rastlanır; bunlardan en sık gözlenen jipstir. Genelde ikincil kökenlidirler, çatlak ve kırık dolgusu görünümündedirler [2, 4].

### **2.7.5 İz Öğeler**

Kayaç ve kömürlerin %0.1'in altında içerdikleri öğelere, iz öğeler denir. İz öğeler de minerallerle benzer kökenlidir. Bitkilerin kendilerinden türeyebilecekleri gibi, kömürleşme sürecindeki besleyici malzemeden de kaynaklanabilir veya çatlak, kırık ve gözeneklerde dolaşan yüzey veya derin kökenli akışkanlara bağlı gelişebilirler [4].

## **2.8 Dünyada Mevcut Durum**

### **2.8.1 Kömür Rezervleri**

Dünya kömür rezervlerinin, 909 milyar ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. ABD' nin (Amerika Birleşik Devletleri) toplamdaki payı %27.2' dir. Toplamdaki payı %1 olan Türkiye 9.4 milyar ton rezerve sahiptir. Türkiye kömür rezervinin 1.1 milyar tonu taşkömürü rezervi ve 8.3 milyar tonu ise linyit rezervidir. 2004 üretiminin 1.9 milyon tonu taşkömürü ve 46.1 milyon tonu linyit üretimidir. Dünya kömür rezervinin ülkelere göre dağılımı ve toplamdaki payları Çizelge 2.5'de gösterilmiştir [2].

**Çizelge 2.5 : Dünya Kömür Rezervleri [2].**

Çeşitli Ülkelerin Kömür Rezervleri		
Ülke	Rezerv (milyar ton)	Toplamdaki Payı (%)
Dünya	909.0	100.0
ABD	247.0	27.2
Rusya	157.0	17.3
Çin	114.5	12.6
Hindistan	92.5	10.2
Avustralya	78.5	8.6
Güney Afrika	48.8	5.4
Ukrayna	34.2	3.8
Kazakistan	31.3	3.4
Polonya	14.0	1.5
Brezilya	10.1	1.1
Türkiye <sup>1</sup>	9.4	1.0
Almanya	6.8	0.7
Kolombiya	6.6	0.7
Kanada	6.6	0.7
Çek cumhuriyeti	5.6	0.6
Endonezya	5.0	0.6
Yunanistan	3.9	0.4
Macaristan	3.4	0.4
Pakistan	3.1	0.3
Bulgaristan	2.2	0.2
Diğer	28.5	3.1

### 2.8.2 Kömür Tüketimi

İktisadi bir mal olarak kömür, hammadde, üretim, tüketim, ticaret, fiyatlar vb. pek çok makro ekonomik değişkenler açısından incelenebilir. Fakat bunlar içinde kömür tüketiminin özel bir yeri bulunmaktadır. Çünkü kömür, hammadde ve diğer enerji kaynakları üretildiği bölgelerde değil, tüketildiği bölgelerde yatırım ve gelir artışına katkı sağlamaktadır.

Pek çok ülke, rezervlere sahip değilse veya iç üretimi güvence altına alamasa da, yatırım ve gelişmenin sürdürülebilmesi için uluslararası piyasalardan iç tüketimi güvence altına almaya çalışmaktadır. Aşağıda Çizelge 2.6'da alternatif enerji kaynakları tüketimlerinin miktarı ve dünya toplam enerji tüketimi içindeki payları gösterilmekte ve bunlar içinde kömürün yeri açıklanmaktadır [5].

**Çizelge 2.6 : 2002 Yılında Alternatif Enerji Kaynaklarının Dünya Genel Enerji Tüketimi İçindeki Payları [5].**

Alternatif Enerji Kaynakları	Tüketim (milyon ton)	%Pay
Dünya Petrol Tüketimi ( 1 )	3522.5	% 37.4
Dünya Kömür Tüketimi (2)	2397.0	%25.4
Dünya Doğal Gaz Tüketimi (3)	2282.0	%24.2
Dünya Nükleer Enerji Tüketimi (4)	610.6.0	%6.5
Dünya Hidroelektrik Tüketimi (5)	592.1	% 6.3
Dünya Genel Enerji Tüketimi (1+2+3+4+5)	9405.0	% 100.0

Çizelge 2.6'daki verilere göre, dünya kömür tüketimi dünya enerji tüketiminin %25.4'ünü oluşturmakta ve petrolden sonra ikinci sırayı almaktadır. Doğal gaz üçüncü sırayı almakta ve diğer enerji kaynaklarının tüketiminin ise %6 gibi önemsiz payları bulunmaktadır.

### **2.8.3 Kömür Üretimi**

#### **2.8.3.1 Üretim Yöntemi ve Teknolojisi**

Üretim yöntemleri genel olarak açık işletme ve yeraltı işletme yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Dünyada enerji talebi artışının kömüre olan talebi büyük miktarda arttırması, açık işletmecilik makina ve ekipman teknolojisinde önemli gelişmeler yaratmıştır. Bu gelişmeler de kömür üretiminde açık işletmecilik yöntemlerinin payını yüksek oranlara çıkarmıştır. Bu oranlar linyit üretiminde %95, taş kömürü üretiminde ise %45 düzeylerindedir. 2004 yılı verilerine göre Türkiye'nin kömür üretimi 48 milyon tondur. Dünyadaki toplam kömür üretim miktarı ise 5.5 milyar ton civarındadır. Çizelge 2.7'de dünya kömür üretim miktarları verilmiştir [5, 6].

**Çizelge 2.7 : Dünya Kömür Üretimi (Milyon Ton) [5,6].**

Ülke	2004 Üretimi (milyon ton)
Dünya	5538.1
ABD	1008.3
Rusya	280.0
Çin	1956.0
Hindistan	403.0
Avustralya	364.5
Güney Afrika	242.8
Ukrayna	80.6
Kazakistan	86.8
Polonya	161.2
Brezilya	4.4
Türkiye	48.0
Almanya	207.7
Kolombiya	55.0
Kanada	66.0
Çek cumhuriyeti	61.8
Endonezya	132.4
Yunanistan	70.8
Macaristan	14.0
Pakistan	3.0
Bulgaristan	26.2
Diğer	265.6

## **2.9 Türkiye'de Mevcut Durum**

Türkiye'de linyit üretimi, hem yeraltı hem açık ocak işletmecilik yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Linyit rezervlerinin %75'i kamu sektörünün, kalan %25'i özel sektörün kontrolünde olup linyit üretiminin %90'ı kamu sektörü, %10'u özel sektöre aittir. Taş kömürü rezervlerinin tamamı kamu sektörüne ait olduğu halde son yıllarda rüdvans uygulamaları ile üretimin yaklaşık %10'u özel sektör tarafından gerçekleştirilmektedir.

### **2.9.1 Kömürün Türkiye'de Bulunış Şekilleri**

Kömürün milattan önce Çinliler'ce bulunup kullanıldığı söylenir. Daha sonra Marko Polo, Çin'i ziyaretinde kömürden, gördüğü en enteresan şey olarak bahsetmektedir. Kömür işletmeciliğine ait ilk dökümanlar, 12. yüzyıla aittir. Kömürün yoğun olarak kullanımı ise 18. yüzyılın ikinci yarısında başlamıştır [2].

Ülkemizde ise, taşkömürü II. Mahmut zamanında 1822 yılında gemici Hacı İsmail tarafından Zonguldak'ta bulunmuştur. Bu tarihten 7 yıl sonra Bahriye erlerinden Uzun Mehmet'in aynı köyde taşkömürünü yeniden bulması üzerine, 1848 yılında havzada ilk kez üretime başlanmıştır. Daha sonraları çeşitli yabancı sermayeli şirketler tarafından işletilen havza, 1936 yılında devletleştirilmiş ve 1957 yılında, işletmecilik, yeni kurulan "Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu" na devir edilmiştir. Son olarak 1983 yılında ise, yalnızca Zonguldak Havzası'ndaki taşkömürü yataklarını işletmek üzere "Türkiye Taşkömürü Kurumu" kurulmuştur.

Linyit kömürünün ülkemizde ilk bulunuşuna ilişkin kesin bilgi bulunmamaktadır. Buna karşılık, 1914-1918 yılları arasında, harp ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla başta Soma olmak üzere Anadolu'da birçok işletmenin açılmış olduğu da bilinmektedir.

Asıl arama faaliyetlerine 1935 yılında MTA'nın kurulmasıyla başlanmıştır. Etüt çalışmaları, 1950 yılına kadar genel jeolojik etütler şeklinde yürütülmüş olup, bu tarihten sonra çalışmalar, sondajlı aramalarla, sistemli ve uzun vadeli projeler şeklinde yürütülmüştür. 1967 yılına kadar nisbeten iyi kaliteli kömürlerin etüt ve arama çalışmaları yapılmıştır. 1967 yılında ülkemizin en büyük kömür yatağı olan Elbistan Havzası'nın ortaya çıkması, düşük kaliteli kömürlerin termik santrallarda kullanılmasının gündeme gelmesi ile kömür arama çalışmaları aniden hızlanmıştır [2].

### **2.9.1.1 Linyit**

Türkiye'de linyit yatakları Alp Orojenezi'nin etkisiyle oluşmuş dağ silsilelerinin arasında sıkışan çöküntü havzalarında gelişmiştir. Linyitlerimizin çökelim yaşları genellikle Miosen ve Pliosen'dir. Ancak Eosen ve Oligosen'de de çökelmiş linyit yatakları bulunmaktadır. Linyit sahaları ülkemizde bütün bölgelere yayılmış olup ısı değerleri 1000-5000 Kcal/kg arasında değişmektedir. Toplam linyit rezervlerimizin yaklaşık %6.9'u 3000 Kcal/kg'ın üzerinde, %13.2'si 2500-3000 Kcal/kg arasında, %79.9'u ise 2500 Kcal/kg'ın altında ısı değerine sahiptir [2].

### **2.9.1.2 Taşkömürü**

Ülkemizin en önemli taşkömürü rezervleri Zonguldak ve civarındadır. 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. Bölge, Karbonifer devrinde çökelmiş, Hersiniyen ve Alpin Orojenezleri'nin etkisiyle kıvrılmış, kırılmış ve çok karmaşık bir yapı kazanmıştır. Havzada çok sayıda kömür damarı olmakla beraber 22 damar işletilebilmektedir. Damar eğimleri 0-90 derece arasındadır. Üretim, +284 ve -560 kotlarında tamamen yeraltı işletmeciliğiyle yürütülmektedir. Kömürün ortalama kimyasal özellikleri %55 sabit karbon, %26 uçucu madde, %11 kül, %8 nem, ısı değeri ise, 6000 Kcal/kg düzeyindedir.

Zonguldak taşkömürü Havzası'nın dışında rezerv açısından önemsiz birkaç taşkömürü yatağı daha bulunmaktadır. Bunlar Antalya-Pamucak yaylası ve Akseki İlçesi Güzelsu ve Çukurköy mevkiinde yaklaşık 1 milyon ton görünür rezervli sahalar ile Diyarbakır-Hazro ilçesindeki yaklaşık 400000 ton rezervli sahadır [7].

### **2.9.1.3 Asfaltit**

Asfaltit, petrol kökenli bir kayadır. Derinlerde bulunan sıvı veya yarı sıvı durumdaki asfalt maddesinin hidrostatik basınç, gravitasyon, sıcaklık gibi etkenlerle taşınarak, yarık, çatlak ve boşluklara yerleşmesiyle oluşmuştur. Ekonomik kalınlıkta filon tipi yataklar Şırnak ve Silopi'dedir. Yapılan etüt ve sondajlarla 79.9 milyon ton asfaltit rezervi belirlenmiştir. Bu rezervin 44.5 milyon tonu görünür niteliktedir [8].

### **2.9.1.4 Bitümlü Şist**

Bitümlü şistler veya bitümlü şeyller, kerosen kapsayan ince taneli tortul kayalardır. Kerosen, organik bir madde olup, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt içerir. Kerosen 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 şeyllerin 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 toplam 1.1 milyar tondur.

Türkiye’nin bitümlü şist potansiyeli büyük ölçüde belirlenmiş olduğundan aramalara son verilmiştir. Tespit edilen sahalardaki bitümlü şistlerin toplam rezervi önemli görülmekle 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. Diğer yandan, bu rezervlerin ancak küçük bir bölümü açık işletmeye elverişlidir. Geri kalanının kapalı olarak da işletilmesi bugünkü ekonomik koşullarda mümkün görülmemektedir. Seyitömer ve Göynük-Himmetoğlu sahaları açık işletmeye elverişli oldukları halde, bu güne kadar bu sahalardaki bitümlü şistlerin bir proje dahilinde üretimi söz konusu olmamıştır. Çünkü daha önce de belirtildiği gibi kalorifik değerleri genellikle düşük ve homojen değildir. Ayrıca bitümlü şistlerin kömür gibi kırılğan olmadıkları için özellikle üretilmeleri ve öğütülmelerinde güçlükler vardır.

Dünya’da son yıllardaki uygulamalara bakıldığında, önceki yıllarda bitümlü şist üreten ülkelerin, petrol fiyatlarının düşük kalması nedeniyle zaman içinde üretimi azalttıkları ya da tamamen durdurdukları görülmektedir [2, 8].

### **2.9.1.5 Turba**

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

Torf olarak da isimlendirilen turba kültürü ilk defa 1948-1949 yıllarında Almanya’da fide yetiştiriciliğinde kullanılmıştır. Turbanın ortalama kimyasal analizi, C; %50-60, H; %5.5-6, O; %32.5-33, N; %1.65-2, Su; %65-90, uçucu madde; %48-72 olup, genellikle  $C_6H_9O$  kimyasal formülüne sahiptir. Ayrıca turbadaki inorganik bileşenler Na, K, Ca, Mg, Al, Si, Fe, P gibi elementlerin sülfat ve karbonatları şeklindedir. Kimyasal analizler turbanın özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur.

Turbalar tarımsal amaçlı kullanıldığı gibi enerji kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde Sovyetler Birliği, İrlanda, Finlandiya gibi ülkelerde turbadan yararlanılmaktadır. Finlandiya’da 165000, 95000 ve 75000 nüfuslu üç şehir turbanın kullanıldığı merkezi ısıtma sistemiyle ısıtılmaktadır.



Ülkemizde şimdiye kadar yapılan çalışmalarla 19 ilimizin sınırları içerisinde çeşitli büyüklüklerde turba oluşumu belirlenmiştir. Bunlardan en önemlileri Kayseri-Ambar, Hakkari-Yüksekova ve Bolu-Yeniçağa, turbalıklarıdır. Kayseri-Ambar turba yatağının orijinal bazda görünür rezervi 105 milyon ton, Hakkari-Yüksekova turba yatağının rezervi yine orijinal bazda 74.5 milyon, havada kuru bazda ise 18.8 milyon tondur. Bulunmuş turba rezervlerimizin azlığı nedeniyle enerji üretiminde yararlanılması bugün için öncelikli görülmemektedir [2, 7].

### 2.9.2 Kömür Rezervleri

Türkiye'nin toplam linyit rezervi 8.26 milyar tondur. Ülkemizde en önemli taşkömürü rezervleri Zonguldak Havzasında bulunmaktadır. Havzada bugüne kadar yapılan rezerv arama çalışmalarında, -1200 m derinliğe kadar tesbit edilmiş toplam Jeolojik rezerv 1.325 Milyar ton olup, bunun %41'i (yaklaşık 550 milyon ton) görünür rezerv olarak kabul edilmektedir. Türkiye taşkömürü rezervleri Çizelge 2.8'de verilmiştir. Türkiye'deki asfaltit filonları tümüyle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır. Bölgedeki toplam asfaltit rezervi 79.9 milyon ton olup bu filonlardan A. Karatepe, Nivekara, Milli, Seridahli, Segürük ve Avgamasya filonlarında GAL (TKİ) veya müteahhitler tarafından üretim yapılmaktadır.

Yurdumuzda, Bolu-Göynük, Ankara-Beypazarı, Niğde-Ulukışla, Kütahya-Seyitömer, İzmit-Bahçecik ve Bilecik-Gölpazarı'nda toplam 1.1 milyar ton bitümlü şist rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Ekonomik bir işletmecilik yapılmamaktadır. Ortalama ısı değerleri 800–1100 kcal/kg arasındadır.

Dünya'daki gelişmeler değerlendirildiğinde, Türkiye'de önümüzdeki kısa dönemde bitümlü şist üretim ve tüketimi beklenmemektedir [7].

**Çizelge 2.8 : Türkiye'deki Taşkömürü Rezervleri (Milyon Ton) [7].**

	Koklaşabilir				Y.Koklaşabilir	Koklaşmaz	Toplam
	Kozlu	Üzülmez	Karadon	Toplam	Armutçuk	Amasra	
Görünür	71.5	138.7	139.0	349.2	23.8	171.9	544.9
Muhtemel	40.5	94.3	159.2	294.0	9.1	115.2	418.3
Mümkün	47.9	74.0	117.0	239.0	1.3	121.6	361.9
Toplam	159.9	307.0	415.2	882.2	34.2	408.7	1.325

### 2.9.3 Kömür Üretimi ve Tüketimi

Türkiye’de 2008 yılında 84 milyon ton linyit ve 1.3 milyon ton taşkömürü üretilmiştir. Linyit sektörünün en büyük üreticisi konumunda bulunan TKİ dışında, kamuya ait Elektrik Üretim A.Ş.’ne (EÜAŞ) ait kömür ocakları bulunmaktadır. EÜAŞ’ın, Ankara-Beypazarı, Sivas-Kangal, K.Maraş-Elbistan sahalarında üretilen kömürler sadece termik santrallerde elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Taşkömürü sektöründe ise sadece kamuya ait Türkiye Taşkömürleri Kurumu (TTK) bulunmakta olup, bu kurum tarafından Zonguldak havzasında yılda yaklaşık 2 milyon ton civarında üretilen kömürler, elektrik üretimi ile ısınma ve sanayi sektöründe kullanılmaktadır. Bu kurumlar dışında özel sektöre ait, ülkenin her tarafına yayılmış halde küçük ve orta ölçekte linyit kömürü üreten çok sayıda işletme bulunmaktadır.

Linyit üretimleri, özellikle 1970’li yılların başlarından itibaren, petrol krizlerine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının başlaması ile hızlanmıştır. 1978 yılında çıkartılan “Devletçe İşletilecek Madenler Hakkında Yasa” ile özellikle elektrik üretimi için gerekli olan linyit yataklarının kamu kesimi tarafından işletilmesi imkânı yaratılmıştır. Bu düzenleme ile, sonraki yıllarda linyite dayalı termik santrallerin Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) tarafından kurulabilmesi sağlanmış ve petrole olan bağımlılık bu sayede bir ölçüde giderilebilmiştir.

1970 yılında yaklaşık 5.8 milyon ton olan linyit üretimi 1998 yılında yaklaşık 65 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Ancak, bu tarihten itibaren, özellikle enerji yönetimleri tarafından yapılan doğalgaz alım anlaşmaları nedeniyle, sürekli bir düşüş yaşayan linyit üretimi 2002 yılında 63.5 milyon tona kadar düşmüştür. Linyit üretimindeki bu azalma, yerli linyitlerimizin elektrik enerjisi amacıyla kullanım oranındaki azalışla paralel gitmektedir. 1990’lı yıllarda 40 milyon tonlara kadar dayanan Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) satılabilir linyit kömürü üretimi ise, 2008 yılında 36.4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir

Ülkemizdeki nüfus artışına ve gayri safi milli hasıla artışına paralel olarak kömür kullanım miktarları da her yıl artmaktadır. Ülkemizin 2002 yılı kömür tüketim miktarı 63.5 milyon ton iken 2007 yılında 97.3 milyon üzerinde olmuştur. Bu tüketimin yaklaşık 13.3 milyon tonu ısınmada, 12.1 milyon tonu sanayide, 64.7 milyon tonu ise elektrik üretiminde kullanılmıştır. Yerli kömür üretiminin tüketim

içindeki payı 2002 yılına göre artmakla birlikte, tüketim artış oranına göre yetersiz kalmıştır.

TKİ tarafından üretilen kömürlerin satışı elektrik üretim ile ısınma ve sanayi sektörüne yapılmıştır. TKİ'nin toplam satış miktarı 2004 yılında 25.3 milyon tondan 2008 yılında 36.4 milyon tona ulaşmıştır [9].

## **2.9.4 Kömür Üretim Yöntemleri**

### **2.9.4.1 Açık İşletme Yöntem ve Teknolojileri**

Türkiye linyit üretiminin yaklaşık %90'ı açık işletme yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Açık İşletmelerde kullanılan iş makinalarında son yıllardaki gelişen teknolojiye paralel olarak büyük gelişmeler olması, kapasitelerin artması, açık işletme üretimlerinde büyük artışların olmasını sağlamıştır. Açık İşletmelerde üretim sistemleri, sürekli ve süreksiz üretim sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır [2].

#### **Sürekli Sistem**

Sürekli Üretim Sistemi; kazı, yükleme ve nakliyatın kesintisiz olarak yapıldığı bir sistemdir ve büyük işletmelerde tercih sebebidir. Bu sistemde, döner kepçeli ekskavatör ve zincirli ekskavatör, surface miner gibi kazıcı-yükleyici makinalar ve nakliye sistemi olarak da bant-konveyör, aktarıcı konveyör ve demiryolu nakliyatı kullanılmaktadır [2].

#### **Süreksiz Sistem**

Bu sistemde kullanılan iş makinaları çok çeşitlilik göstermekte, genel olarak orta ve küçük ölçekli işletmelerde uygulanmaktadır. En yaygın sistemler, ekskavatör-kamyon, ekskavatör-yükleyici-kamyon, dragline-ekskavatör-kamyon sistemleridir.

### **2.9.4.2 Yeraltı İşletme Yöntemi ve Teknolojileri**

Yeraltı işletme yöntemleri, açık işletme yöntemleri ile kıyaslandığında çok çeşitlilik göstermektedir. Türkiye kömür madenciliğinde yeraltı üretim yöntemleri kazı arınının durumuna göre; uzun kazı arınlı (uzun ayak, diyagonal ayak), dar kazı arınlı (tavan ayak, taban ayak), topuklu (göçertmeli topuklu, dolgulu topuklu, çapraz topuklu, travers ayak, arakatlı topuklu ayak), oda yöntemleri (oda-topuk yöntemi, tali katlı göçertme) ve blok yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bunlar içinde en yaygın uygulama alanı bulan uzun ayak işletmeciliğidir ve ilerletimli veya dönümlü

ve göçertmeli veya dolgulu uzun ayak olarak uygulanmaktadır. Ülkemizde taşkömürü üretiminin tamamı TTK tarafından yeraltı işletmeciliği şeklinde yapılmaktadır. Üzülmaz, Kozlu, Karadon ve Amasra Bölgeleri'nde ilerletimli ve dönümlü uzun ayak ile diyagonal ayak yöntemi, dilimli ayak yöntemi, basamaklı diyagonal ayak ve kara tumba yöntemleri, Armutçuk Bölgesi'nde ise göçertmeli travers ayak ile dolgulu travers ayak yöntemleri uygulanmaktadır.

Yeraltı kömür madenciliğinde tam mekanize üretime geçilmesiyle, üretimin artırılması, maliyet içindeki işçilik payının azalması ve genel maliyetin düşürülmesi, verimlilik ve emniyetin artırılması sonucunda yeraltı kömür üretiminin ülke ekonomisine katkısının artırılması hedeflenmiştir [2].

### **2.10 Türkiye Kömür Pazarı**

Ülkemiz linyit kömürü bakımından dünyada zengin ülkeler arasında yer almakta olup rezervlerin daha da artması beklenmektedir. Ülkemizdeki linyit kömürünün üretim maliyetleri rakip kaynaklara göre daha düşük olup, enerji arz güvenliğine katkısı bakımından önem taşımaktadır [5].

### **2.11 İthalat ve İhracat**

Türkiye'de kömür ithalatına ilişkin resmi rakamlar yıllar itibariyle ülkeye girmekte olan miktarın artış gösterdiğine işaret etmektedir. 2004 yılı ithalat rakamı 2.149 milyon dolar iken, bu rakam 2005 yılında 2.500 milyon dolara yükselmiştir. Yılların ilk çeyrekleri itibariyle durum incelendiğinde de 2005 yılının ilk çeyreğinde 2004 yılına göre yüzde 11.1'lik, 2006 yılının ilk çeyreğinde ise 2005 yılının aynı dönemine göre yüzde 26'lık bir artış görülmektedir. Bu tablo, ülkemiz ekonomisinin genişlemesini sürdürmesi, yani, ülkede üretilmekte olan mal ve hizmetlerin miktarının artmaya devam etmesiyle beraber enerji ihtiyacının yıllar itibariyle artması doğal bir sonuçtur.

Resmi rakamların dışına çıkılarak yapılan değerlendirmeler ise aşağıdaki tablo ile karşılaştırılmasına neden olmaktadır. 2005 yılında ülkemize çeşitli ülkelere farklı özelliklere sahip kömür ithalatı gerçekleşmiştir. 6.8 milyon tonu ısınma sektörüne, 4.3 milyon tonu sanayi sektörüne, 4.6 milyon tonu demir-çelik fabrikalarına yönelik olarak 15.7 milyon ton kömür, 1.7 milyon ton da petrokok olmak üzere toplam 17.4 milyon ton ithalat gerçekleşmiştir. Buna göre Türkiye'ye ithal edilen kömürün

yaklaşık %39'u petrokok iken %26'sı demir-çelik fabrikaları, %25'i sanayi ve %10'u da ısınma amaçlıdır.

2006 yılının ilk altı ayı itibariyle de 4.05 milyon ton ısınma sektörüne, 2.59 milyon ton sanayi sektörüne, 2.17 milyon ton demir-çelik fabrikalarına, 1.06 milyon tonu da petrokok olmak üzere 9.87 milyon ton ithalat gerçekleşmiştir. Bu rakamlar dikkate alındığında, 2006 yılında ülkeye ithal edilen kömür miktarının 2005 yılına nazaran artış kaydedeceği iddia edilebilecektir. 2006 yılında ithal kömür piyasasında yine en önemli ithalatçı ülkenin Rusya Federasyonu (3.63 milyon ton), Rusya Federasyonunu sırasıyla 1.29 milyon ton ile Amerika Birleşik Devletleri, 1.24 milyon ton ile Kolombiya ve 1.05 milyon ton ile de Güney Afrika'nın izlediği görülmektedir [9].

## **2.12 Kömür Hazırlama Teknolojileri**

Türkiye'de mevcut kömür yıkama tesisleri (lavvar) değişik zamanlarda, kömür piyasasının taleplerine göre dizayn edilmiş tesislerdir. Kömür piyasasındaki talep değişimleri özellikle kömürün tane iriliği, kalorifik değeri ve dolayısıyla külü ile ilişkilidir. Bu nedenle, 1950'li ve daha sonraki yıllarda tesis edilmiş bazı kömür yıkama tesislerinin, zaman içinde meydana gelen talep değişimlerine cevap verebilmek amacıyla dizaynları değiştirilmiş veya devre dışı bırakılmışlardır.

Türkiye'de kömür yıkama tesislerinin kurulması ekonomik ihtiyaçlardan dolayı gerçekleştirilmiştir. Demir ve çelik fabrikalarının ihtiyacı olan hammaddeyi elde etmek için önce Zonguldak havzasında kömür yıkama tesisleri inşa edilmiştir. Linyit kömürü madenciliğinin 1980'li yıllardan sonra büyük gelişmeler göstermesi nedeniyle linyite sanayi ve ısınma sektörlerinden talep artmıştır. Ancak yoğun kömür kullanımı ile birlikte gündeme gelen hava kirliliği, linyitin yıkanması ihtiyacını doğurmuştur. Ayrıca giderek artan ithal kömür ile rekabet edebilmek için, yerli linyit kalitesinin artırılması ya da ısı değerinin yükseltilmesi ihtiyacı doğmuştur. Özellikle son 10 yıl zarfında hizmete alınan kömür yıkama tesislerindeki artış bu nedenlerden dolayıdır.

Zonguldak Taşkömür Havzası'nda kurulmuş olan Zonguldak Merkez Lavvarı, Armutçuk Lavvarı ve Çatalağzı Lavvarı, Türkiye'de ilk kömür yıkama tesisleri olma özelliğindedir. Daha sonra 1960'lı yılların sonlarına doğru Tunçbilek Lavvarı kurulmuştur. Bu tesislerdeki teçhizat, eski teknoloji ürünüdür ve bu nedenle verimlilikleri düşüktür.

1993 yılında hizmete alınan Tunçbilek-Ömerler lavvarı ise, son derece modern ve verimliliği yüksek bir tesistir. Daha sonra özel sektör tarafından inşa edilen mobil lavvarlar ise, kapasiteleri ve verimlilikleri daha düşük, ancak, talebe cevap verebilen tesislerdir [2].

### **2.12.1 Lavvarlar**

#### **2.12.1.1 Taşkömürü**

Türkiye'de taşkömürlerinin zenginleştirilmesi için 4 adet yıkama tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerde iri kömür yıkama 100-6 mm, ince kömür yıkama, 6-0.5 mm, 18-0.5 mm, 10-0.5 mm ve şlam kömür yıkama ise 0-0.5 mm boyutlarında yapılmaktadır.

1957 yılında kurulan Zonguldak merkez lavvarının girdi kapasitesi 1000 ton/saat' tir. Üç ünite olarak çalıştırılan tesisin iri ve ince devrelerinde jig (sığ) ve 0-0.5 mm şlamların kazanılması için flotasyon devreleri mevcuttur. 1975 yılında tesiste proses değişikliği yapılarak ince yıkama devrelerine ağır ortam siklonları ilave edilmiş ve 1994 yılında flotasyon devresi iptal edilerek, filtrasyon tesisi kurulmuştur.

Karadon Bölgesi kömürlerinin zenginleştirilmesi için Çatalağzı Lavvarı, Zonguldak Merkez Lavvarı'nın bir benzeri olarak iki ünite halinde tesis edilmiş ve Merkez Lavvarı'nda yapılan değişiklikler bu lavvarda da yapılmıştır. 220 ton/saat kapasiteli Armutçuk lavvarında 100-6 mm boyutlu kömürler jigde (sığ), ince kömürler sarsıntılı masada ve şlam kömürler ise flotasyonda zenginleştirilmektedir. Amasra lavvarında 100-10 mm iri kömürler ağır ortam tamburlarında, 10-0.5 mm kömürler ağır ortam siklonlarında, şlamları ise flatosyon sisteminde ayırma tabi tutulmaktadır. Tesisin girdi kapasitesi 210 ton/h'dır. Bu tesislerde, kullanılan yıkama cihazlarının genel yıkama hassasiyeti, gerek kapasite ve gerekse otomasyonu günümüz teknolojilerinin gerisinde kalmış olup, tesislerin rehabilite edilmesi gerekmektedir [7].

#### **2.12.1.2 Linyit**

1950'li yıllarda TKİ kömürlerine yönelik teknolojik araştırmalar çerçevesinde Soma-Merkez kömürlerinin yıkandığı lavvar 1952 yılında, Tunçbilek açık ve kapalı ocak kömürlerinin yıkandığı lavvar tesisi ise 1958 yılında kurulmuştur. Soma lavvar tesisi verimli çalışmadığından 1994 yılında devre dışı bırakılmıştır. Tunçbilek lavvarı, 1968 yılında tevsi edilmiş ve 1984 yılında da atık sular içindeki kömürlerin

kazanılması için arıtma tesisi devreye alınmıştır. 1993 yılında ise, Tunçbilek-Ömerler yıkama tesisi işletmeye alınmıştır [5].

### **2.12.1.3 Tunçbilek Lavvarı**

Açık ve kapalı ocaklardan gelen kömürlerin yıkandığı 700 ton/ saat kapasiteli tesis, 3 ayrı yıkama sisteminden oluşmaktadır. 1967 yılında kurulan iri kömür yıkama (18–150 mm) sistemi 2 x 200 ton/saat kapasitesinde olup zenginleştirme işlemi ağır ortam tamburlarıyla yapılmaktadır. İnce kömür jigi 150 ton/saat kapasiteli olup, 1958 yılında kurulmuştur. İnce kömür jigi ve ağır ortam siklonlarında 0.5-18 mm boyutlu kömürler yıkanmaktadır. Ayrıca, lavvardan atılan suların çevreye zararını önlemek ve içindeki 0.1-0.5 mm boyutlu malzemeyi kazanmak için, 1984 yılında arıtma tesisleri işletmeye alınmıştır. Tesisin bugünkü yıkama verimi %45 seviyesindedir. Tesisten elde edilen 18-150 mm temiz kömür, sanayi ve Tunçbilek-A santralına ve 0.1-0.5 mm şlam kömür ise Tunçbilek-B santralına verilmektedir [2].

### **2.12.1.4 Tunçbilek - Ömerler Lavvarı**

1992 yılında yapımına başlanan tesis, 18 ay gibi bir sürede tamamlanarak, 1993 yılında işletmeye alınmıştır. 0-1000 mm tüvenan kömürler 0-150 mm boyutuna düşürüldükten sonra tesise beslenmekte olup, tesis girdi kapasitesi 600 ton/saat'tir. Tesiste 18-150 mm boyutlu kömürlerin yıkandığı ağır ortam teknesi, 0.5-18 mm kömürlerin yıkandığı ağır ortam siklonları ve 0.1-0.5 mm kömürlerin zenginleştirildiği spiral devreleri mevcuttur. Tesis tamamen merkezi kontrol odasından çalıştırılmakta olup, yıkama devrelerindeki yoğunluk ayarları, tanklardaki su seviyeleri, elektrik devreleri, tesisin giriş ve yıkama devrelerinin kapasiteleri, nakil sistemleri tamamen izleme ve kontrol odasından otomatik olarak yapılabilmektedir. Tesisin yıkama randımanı %58'dir. Tesisten elde edilen 18-150 mm temiz kömürler ısınmaya, 0.5-18 ve 0.1-0.5 mm temiz kömürler sanayiye ve 0.5-150 mm mikstler termik santrale verilmektedir [2].

### **2.12.1.5 Mobil Lavvar**

Soma Merkez yeraltı ocağı kömürlerini yıkamak amacıyla 1952 yılında kurulan Soma Lavvarı'nın ekonomik ömrünü tamamlamış olması nedeniyle, Soma Havzası kömürlerinin yıkanması için, yap-işlet modeli ile Ekim 1994 tarihinde Soma Mobil Lavvarı tesis edilip devreye alınmıştır. 150 ton/saat' lik iri ve ince kömür devreleri

olan tesisin toplam kuruluş kapasitesi 300 ton/saat 'tir. Daha sonra, bu tesise paralel olarak aynı özellikte 150 ton/saat ek kapasite ilave edilmiştir. 18-200 mm boyutundaki kömürler iri devreye, 0.5-18 mm boyutundaki kömürler ince devreye ve -0.5 mm boyutlu kömür ise şlam siklonlarına gönderilerek zenginleştirilirler. Özel sektör üreticileri, genellikle 30 mm altındaki toz kömürlerin temizlenerek daha kaliteli olarak piyasaya sunulması amacıyla, jig sistemlerinde münferit olarak yıkama işlemi yapmaktadırlar.

Mobil yıkama tesisleri, gerek çevreye etkileri yönünden, gerek işçi yoğun sistemler olması ve gerekse yeni teknolojiler içermemesi nedeniyle yıkama randımanları düşük ve kömür kayıpları fazla olan sistemlerdir [2].

#### **2.12.1.6 Briketleme**

1954 yılında, 22.000 ton/yıl kapasiteli Ankara Briket Tesisi, linyit, taş kömürü ve kok tozunun değerlendirilmesi amacıyla kurulmuştur. Tesiste %10 zift ve %90 toz kömür karıştırılarak sıcak olarak briketlenmiştir. Tesis, ekonomik ömrünü doldurduğundan ve Ankara'da TKİ'nin kömür dağıtım biriminin kaldırılmasından sonra 1992 yılında devre dışı bırakılmıştır.

1969 yılında işletmeye alınan Erzurum Briket Fabrikası, Aşkale ve Oltu toz kömürlerinin değerlendirilmesi amacıyla kurulmuştur. 30.000 ton/yıl kapasiteli tesiste %10 zift ve %90 toz kömür karıştırılarak briket elde edilmektedir.

Özel sektörce, devletin briketlemeyi vergi indirimiyle teşvik etmesi sonucu 1982 yılında, 150.000 ton/yıl kapasiteli Vize (toz kömür) Briket Fabrikası tesis edilmiş ve bu tesiste Vize kömürleri zift, sülfid likörü gibi bağlayıcılarla briketlenmiştir. Ancak, maliyetlerin yüksekliği ve işletme sorunları nedeniyle tesis, 1985 yılında kapatılmıştır.

Taşkömüründe ise, 1939 yılında, Zonguldak'ta, 0-0.5 mm boyutlu yıkanmış kömürlerin zift bağlayıcı kullanılarak biriketlenmesi amacıyla, 134.000 ton/yıl kapasiteli briket tesisi yapılmıştır. Tesis, 1987 yılına kadar çalıştırılmış ve bu tarihten sonra devre dışı bırakılmıştır.

Briket tesislerinin ilk yatırım maliyetleri yüksek olup, ısıl işlem devresi en önemli yatırım kalemini oluşturmaktadır. Türk linyitlerinin katkılı ve katkısız briketlenmesi yönünde MTA, Üniversiteler ve yurt dışından bazı kuruluşlarca çeşitli araştırmalar yapılmış olmakla birlikte, yatırım maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle önemli bir gelişme sağlanamamıştır [2].



### **2.12.1.7 Koklaştırma, Gazlaştırma ve Sıvılaştırma**

Kok, taşkömürünün 1000 °C üzerinde havasız bir ortamda ısıtılarak uçucu maddelerini kaybetmesi neticesinde elde edilmektedir. Ülkemizde, Karabük, Ereğli ve İskenderun Demir Çelik Kok Fabrikalarında kok üretimi yapılarak sanayi ve ısınma amaçlı olarak tüketime sunulmaktadır. Zonguldak Merkez ve Çatalağzı lavvarı ürünleri 0.5-6 mm ve 0-10 mm boyutlu kömürler, demir çelik fabrikalarına verilmekte ve bu kömürlerin uçucu maddelerinin alınması neticesinde kok elde edilmektedir. Demir-çelik fabrikalarında kullanılan koklaşabilir taşkömürünün %60-%65'i dış kaynaklardan temin edilmektedir. Linyitler üzerinde yapılan koklaştırmaya yönelik araştırmalardan olumlu bir sonuç alınamamıştır.

Türkiye'de taşkömürü ve linyitlerin gazlaştırılması ve sıvılaştırılmasına yönelik endüstriyel çapta bir tesis bulunmamaktadır. Buna karşılık, amonyak üretiminde kullanılacak olan linyitler, azot sanayiinde kullanılan gazlaştırıcılarda gazlaştırılarak, sentez gazlar elde edilmektedir [2, 8].

### **2.13 Ürün Standartları**

Ülkemizde kömürler işlem gördükleri zenginleştirme yöntemlerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadırlar.

- a. Tüvenan Kömür: Hiç bir zenginleştirme işlemine tabi tutulmaksızın, ocaktan üretildiği şekilde piyasaya arz edilen kömürdür.
- b. Krible Kömür: Eleme işleminden geçirilerek boyutlandırılmış kömürdür.
- c. Lave Kömür: Elenmiş ve yıkama işlemine tabi tutulmuş kömürdür.

Kömürlerin kimyasal özellikleri, üretildikleri ocaklara göre farklılaştığı gibi, uygulanan zenginleştirme işlemlerine göre de farklılık göstermektedirler. Yıkanmış kömürlerin kalorifik değerleri, krible ve tüvenan kömürden daha yüksek, kül ve kükürt içerikleri ise daha düşüktür [4].



### 3. ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Kömür Zenginleştirme Yöntemleri yaş ve kuru yöntemler olmak üzere iki kısma ayrılır. Yaş yöntemler ağır ortam, jig, sallantılı masa, spiral, flotasyon ve manyetik ayırma olarak sınıflandırılırken kuru zenginleştirme yöntemleri de elle ayıklama, akışkan yatak sistemleri, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma, optik zenginleştirme olarak sınıflandırılır.

#### 3.1 Kuru Zenginleştirme

Kuru yöntemle kömür zenginleştirmenin gelişimine bakıldığında, bir çok aygıt ve yöntemi kapsadığı görülmektedir. Kömürlerin kuru olarak zenginleştirilmesi 1930-1990 yılları arasında popüleritesini korumuş ancak düşük ayırma yoğunlukları, ayırma etkinlikleri ve kapasiteleri dolayısıyla popüleritesini zamanla yitirmiştir. Ancak son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan su sıkıntısı, özellikle Avustralya'nın iç kesimlerindeki meyve-sebze üretim çiftliklerini zor durumda bırakmış ve bu bölgedeki çiftçilerin itirazı ile su kullanımı kısıtlandığından, bu bölgelerde çıkarılan kömürün kuru olarak zenginleştirilmesi gündeme gelmiştir. Bu probleme Çin'de de rastlanmıştır ve buradaki kömür üreticileri kuru kömür zenginleştirme yöntemlerine yönelmiştir.

Su sıkıntısı yaşayan ya da kış aylarında donma tehlikesiyle karşı karşıya kalınan bölgelerdeki kuru kömür zenginleştirmeye yönelik çalışmalar ve kuru kömür zenginleştiriciler üzerindeki yeni tasarımlar ve yaklaşımlar, kuru zenginleştirme sistemlerinin daha önce ifade edilen düşük kapasite ve düşük ayırma performansı gibi dezavantajlarını ortadan kaldırmıştır.

Aslında gerek işletim maliyetleri gerekse nihai ürün ve üretim sonrası oluşabilecek çevre problemleri birlikte düşünüldüğünde su sıkıntısı ve donma problemlerinin önlenmesinin yanı sıra, kuru kömür zenginleştirme yöntemleri bazı ilave avantajlar da sunmaktadır [10].

### Kuru zenginleştirmenin dezavantajları:

- Ayırma verimleri daha dūřüktür.
- İşlem kömür nem içeriğine duyarlıdır ve bazen ön kurutma gerekebilmektedir.
- Özellikle ince boyutlarda kuru kömürün elenmesi daha zordur.
- Kırma, eleme ve diğer ayırma işlemlerinde toz oluşmakta ve bu nedenle bu sistemlerin kapalı yapılması ve toz giderme ünitesi gerekmektedir.
- Genelde bu güne kadar geliştirilmiş olan aygıtlar düşük kapasitelidir.
- Kuru yöntemler için otomatik kontrol sistemlerinin daha da geliştirilmesi gerekmektedir [11].

### Kuru Zenginleştirmenin Avantajları:

- Sisteme su sağlamak ve tesisten çıkan kirli suyun arıtılması ve geri kazanımı için ünitelere gereksinim yoktur.
- İnce ve sulu tesis atıkları için atık havuzları gereksinimi ortadan kalkmaktadır.
- İşlem sırasında kömür nem oranı düşer.
- Özellikle genç kömürlerin zenginleştirilmesinde, yaş yöntemde kömür bünyesine oldukça fazla oranda nem girmekte ve bunun sonucu olarak, mineral maddenin azalmasıyla sağlanan avantaj, azalmakta hatta tamamen ortadan kalkabilmektedir.
- Yumuşak linyitlerde yaş yöntemle yıkama sonucu stokta bekleyen kömürde aşırı parçalanma ve tozlaşma olmakta, kuru yöntemle elde edilen üründe tozlaşma oranı daha düşük olmaktadır.
- Daha az tesis binası ve işletme gideri gerektirir.
- Su olmayan yörelerde tesis kurulmasına imkan yaratır.
- Kışın sert geçtiği yerlerde, yaş yöntemde oluşan donma problemleri yaşanmaz.[11].

### **3.2 Kuru Kömür Zenginleştirme Yönteminin Tarihçesi**

Kuru kömür zenginleştiricilerini; iri ve ince boyutta ayırma gerçekleştirenler olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. İri boyutta ayırma yapanlar;

Ayıklama

Döner Kırıcılar

Accelerator

Havalı Masa

FMC Separatör  
Havalı Jig  
FGX Ayırıcı  
Ağır Ortamlı Havalı Ayırıcı  
olarak gruplandırılabilir [12].

### 3.2.1 Ayıklama

Parça olarak kullanılan ve renk farkı ile kolay ayrılabilen tüm cevherlerde olduğu gibi kömürde de ayıklama ile zengileştirme uygulanmıştır. Ayıklama elle ve otomatik olmak üzere iki yolla yapılabilmektedir. Elle ayıklama günümüzde, düşük yatırım gideri nedeniyle, bazı işletmelerde hala uygulanmaktadır. Otomatik ayıklamada ise bu amaçla geliştirilmiş çeşitli aygıtlar mevcuttur.

Otomatik ayıklama 20. yüzyıl başlarından sonra araştırılmaya başlanmış bir yöntemdir. Çalışmalar, elektrik, x-ışını, optik tanımlama, elektromanyetik tanımlama gibi yöntemler üzerine olmuştur. Geliştirilmiş ve patent alınmış bir çok yöntem vardır. Ancak bunlar çeşitli sorunlar nedeniyle uygulamada yer bulamamışlardır. Şekil 3.1'de elle ayıklama tesisine örnek verilmiştir [12].



Şekil 3.1 : Elle Ayıklama Tesisi

### **3.2.2 Kırma ve Boyuta Göre Sınıflandırma**

Kırma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirmede döner kırıcılar kullanılmaktadır. Zenginleştirme daha çok iri boyutta kömür ve yantaşın kırılma farklılıklarından yararlanılarak gerçekleştirilen bir ayırma işlemidir. Burada dönen silindirik bir yapı içerisinde yuvarlanma ve ufalanma etkisine maruz kalan kömür içerisinde bulunan yantaş iri boyutlarda kalırken, kömür ufalanarak daha küçük boyutlara geçmekte ve silindirin alt kısmında bulunan elekler vasıtasıyla yantaştan ayrılmaktadır [10].

### **3.2.3 Accelerator**

Döner kırıcıların biraz daha gelişmişleri literatürde accelerator olarak tanımlanmaktadır. Burada, kömür kırma ünitesinde kontrollü kırma söz konusu olup, kömür cevheri sistem içerisindeki 2-3 farklı kısımda kırma işlemine tabii tutulmakta ve kırılan cevher ilgili ünite elendikten sonra iri boyutta kalan kısım bir sonraki daha etkin kırma ünitesine gönderilmekte ve orada da kırma eleme işlemi yapılmaktadır. Burada kırma işlemi darbe etkisi ile yapılmaktadır. Honaker ve diğ. (2007) yaptıkları çalışmada bu tür bir kırıcı ile yapılan kırma işlemleri sonucunda kömür içerisindeki kül içeriklerinin ince fraksiyonlara geçildikçe %96'dan %55 seviyelerine düşürüldüğünü ve bu tür kırıcılarla seçimli bir kırmanın sağlanabileceğini ifade etmişlerdir [13].

### **3.2.4 Gravite Esaslı Çalışan Havalı Ayırıcılar**

Kuru ayırma yöntemlerinin büyük çoğunluğu ayırma kuvvetlerini oluşturmak için hava akımını kullanmaktadır. Bu pnömatik yöntemler, havalı ağır ortam aygıtları, havalı masalar ve havalı jig olarak gruplandırılabilir. Bunların içerisinde en yüksek kullanım şansına havalı jigler sahiptir. 1930'ların başında Fraser hava-kum prosesinde havayı 12 meş altı kumu akışkanlaştırmak üzere kullanmış ve böylece ağır ortam ayırmasını oluşturmuştur. Bu ekipmanın çalışma prensibi 50-10 mm kömürün temizlenmesinde verimli olarak kullanılabilirdiği belirtilmektedir. Her 1 ton kömür için 3 ton civarında kum dolaştırılmakta ve ton başına yaklaşık 1.5 kg kum kaybı olduğu belirtilmektedir [10].

ABD ve Çin'de eş zamanlı olarak havalı ağır ortam ayırması üzerine çalışmalar ortaya konulmuş, ABD'deki çalışmalar daha çok laboratuvar ölçeğinde, dar tane sınıfında havalı manyetiteli ağır ortam ayırması üzerine olurken, Çin'de geliştirilen

aygıt ise laboratuvar ölçeğinden 50 mmx6 mm kömür için 50 ton/saat kapasiteye kadar çalışabilen bir aygıt olmuştur 50 ton/saat kapasiteli ünitenin 1.3'den 2 gr/cm<sup>3</sup> ayırma yoğunluğuna kadar %85 verimle çalıştığı belirtilmektedir [10].

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. 3-S masası şekil ve çalışma prensibi olarak Deister masalarına benzemektedir. Ancak farkı su yerine hava kullanılmasıdır. Çalışma prensibi gıda sektöründe taş ayıklayıcı olarak kullanılan Saxon cleaner'a 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 eğimin tersi yönünde taşınarak masadan uzaklaştırılmaktadır. Elek yüzeyi üzerine monte edilen çitalar, artığı yönlendirmek için kullanılmaktadır. Havalı masada besleme malı kalitesi stabil olmalı, dar tane aralığında besleme yapılmalıdır. Çalışma şartlarının hassaslığı gereği kapasitesi düşüktür. Şekil 3.2'de havalı masaya örnek resim verilmiştir [12].

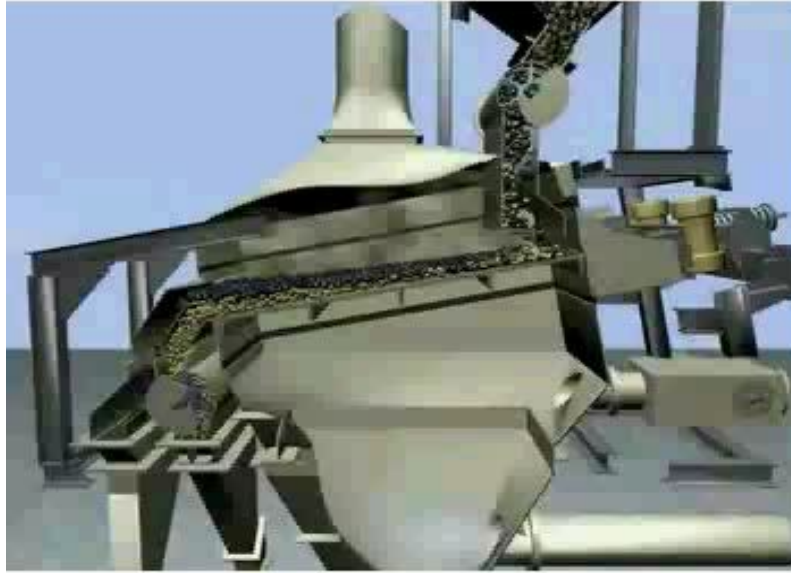


**Şekil 3.2 : Pnömatik Osilasyonlu Havalı Masa**

Gravite esaslı çalışan havalı ayırıcılardan üçüncü grubu havalı jigler oluşturmaktadır. Havalı jiglerin ilki sayılabilecek “Stump AirFlow Jig” 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 50 mmx0 besleme için 135 ton/saat kapasiteye ulaşmıştır. Kapasitenin yüksekliği nedeniyle kuru yöntemler içerisinde en popülerleri havalı jigler olmuştur. Ancak, daha düşük küllü kömür eldesinin hedeflenmesi nedeniyle, yaş yöntemlere geçiş olmuş ve ABD’ de son havalı jig 1990 da devre dışı bırakılmıştır. Havalı jiglerin gelişmiş bir modeli AllAir jigdir. 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. Şekil 3.3’te Allair jiginin kesit resmi verilmiştir [14].



**Şekil 3.3 : Allair Havalı Jigi Şematik Görünümü**



### 3.2.5 FMC Separatör

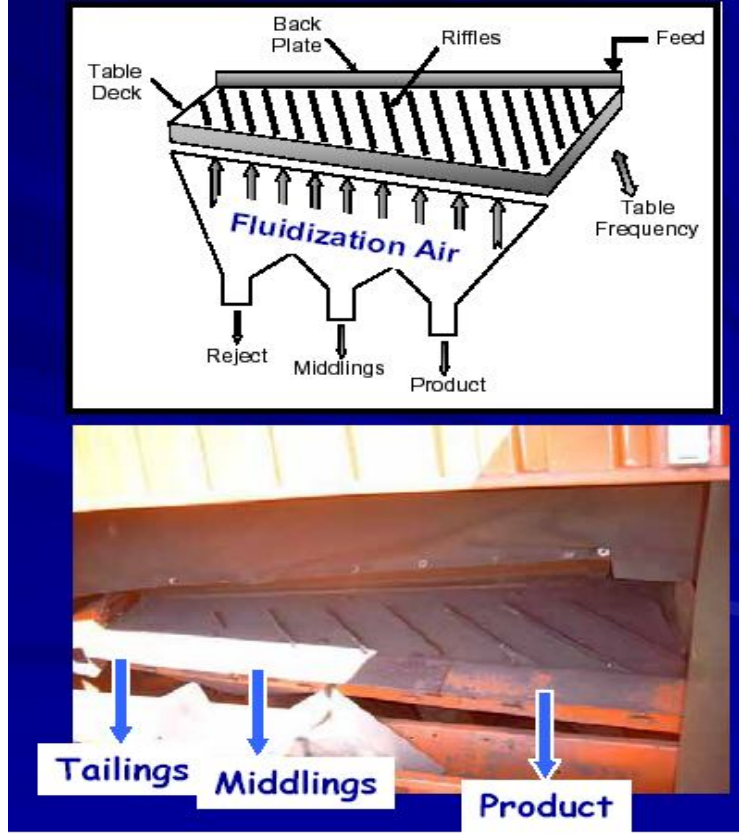
FMC separatörü ise bu günkü FGX cihazının daha basit bir şekli olarak tanımlanabilir. Bu tür ayırıcıda, eğimli bir masa yüzeyine beslenen kömür numunesi masa yüzeyi altından verilen pulsasyonlu hava etkisi ile tabakalandırılmakta (ağır alt, hafifler üst kısımda) ve numune hareket yönüne paralel yönde verilen gitgel hareketi ile masa yüzeyi boyunca hareket etmekte, bu esnada akışa dik olarak uygulanan git gel hareketi ile de tabakalanmış kömür numunesi içerisindeki temiz kömür, masanın kısa yüzeyi boyunca alınmaktadır. Masanın uç kısmından ise paralel yöndeki gitgel hareketinden çok daha fazla etkilenen ağır kısmın yer aldığı şist alınmaktadır. [15].

### 3.2.6 FGX Ayırıcı

FGX ayırıcısı ise son yıllarda Çin’de geliştirilmiş olan kuru zenginleştirme cihazıdır. Bu cihazda, FMC cihazında belirtilen ayırma yöntemi söz konusudur. Ancak masa yüzeylerine bıçaklar yerleştirilmiştir. FGX cihazı ile 6 farklı rölatif yoğunluğa sahip ürünlerin alınması söz konusudur. Şekil 3.4 ve 3.5’te FGX ayırıcısı ünitesi ve masa yüzeyleri gösterilmektedir [15].



Şekil 3.4 : FGX Ayırıcısı Ünitesi

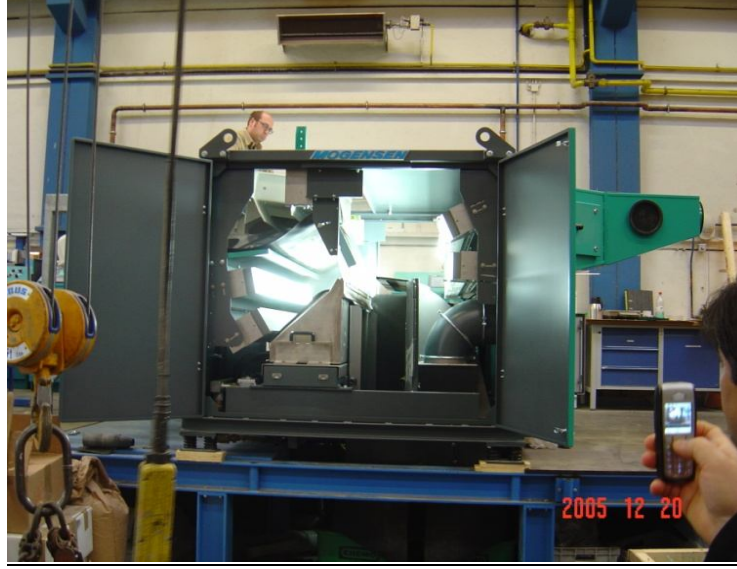


Şekil 3.5 : FGX Ayırıcısı Şematik Görünümü ve Masa Yüzeyi

FGX cihazı, -75+6 mm boyutlu kömürleri zenginleştirebilmekte, -6 mm fraksiyon ise ayrı olarak beslenerek zenginleştirilmektedir. Ancak, iri fraksiyonda ayırma yapıldığında, etkin bir ayırma için beslenenin %10-20'lik bir kısmının ortam malzemesi olarak tutulması gerektiği belirtilmiştir. FGX cihazının kapasitesi saatte 10 tona kadar çıkabilmektedir.

### 3.2.7 Optik Ayırıcılar

İri boyutta ayırma yapan kuru zenginleştiricilere bir başka örnek optik ayırıcılardır. Optik ayırıcılar da beslenen numune içerisindeki kömür ve yantaşın renk olarak bilgisayarlar da algılanması ve yantaşın kameralar tarafından tespit edilip, üfleme ile akış içerisinde uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Optik ayırıcılarda 50-150 mm boyutundaki kömür numunesi külünden ayrılabilen olup, tesis kapasiteleri 50-100 ton/saat'e ulaşmaktadır [16].



**Şekil 3.6 : Optik Ayırma Uygulaması**

### **3.3 İnce Boyutlu Kuru Kömür Zenginleştiriciler**

İnce boyutlu kömürlerin zenginleştirilmesine yönelik olarak birçok araştırma enstitüsü ve ticari kuruluşlar tarafından geliştirilen teknolojileri

- Aerodinamik sınıflandırıcılar
- Elektrodinamik ayırıcılar
- Manyetik ayırıcılar

olmak üzere gruplandırabiliriz .

#### **3.3.1 Aerodinamik Ayırıcılar**

Aerodinamik ayırıcılar, boyutlandırılmış beslenen malzemenin rölatif özgül ağırlığı prensibinden yararlanılarak, bir rüzgâr tüneli içerisinde zenginleştirildiği sistemlerdir. Ağır olan atıklar kısa yörüngelerde hareket ederlerken, hafif taneler uzun yörüngelerde hareket etmektedirler. Bu şekilde farklı bölmelerde toplanırlar. Beslenen malzeme dar boyut gruplarında olması gerektiğinden, sistem çok fazla sayıda sınıflandırıcı gerektirmektedir. Rüzgâr tünelleri boyutlandırılmış malzemeleri aynı anda almak için hücreler içerisinde ayarlanmıştır.

Beslenen malzeme içerisindeki her bir fraksiyon kendine ait olan ve malzeme boyutuyla orantılı olarak farklı hızda laminer hava akımı üreten birimlere beslenmektedirler. İnce malzeme içerisinde çıkış havası, siklonlarda ve toz tutucularda temizlenmektedir. Bu prosesde öngörülen problem beslenen malzemenin

çoklu boyutlarda elenmesi ve elenen bu fraksiyonların ve ürünlerin kontrol altında tutulmasıdır. Toz kontrolü, toplanması ve atılması da aynı zamanda bazı problemlere yol açabilir [10].

### **3.3.2 Manyetik Ayırıcılar**

Manyetik duyarlılık farkından yararlanarak kömür kül oranının azaltılması üzerine bir çok araştırma yapılmış ancak henüz endüstriyel uygulama şansı bulamamıştır. Manyetik ayırma ile kül oranının düşürülmesi çalışmalarında iki yol izlenmiştir. Birinci yöntemde bazı ön hazırlıklardan sonra doğrudan manyetik alanda kömürün kül oranı düşürülmeye çalışılmıştır. İkinci yol ise kömürün ya tamamen ısıtma işlemine tabi tutulması (karbonizasyon), ya da mikro dalga ile seçimli mineral madde etkileşiminden sonra manyetik ayırma işlemidir.

Birinci yöntemde, mineral maddelerin organik yapılı kömüre nazaran daha fazla manyetik duyarlılığa sahip olmasından yararlanılmaktadır. İnce kömür bir akım halinde güçlü bir manyetik alandan geçirilirken, mineral maddelerin bir kısmı manyetik alana doğru yönlendirilerek kömürden ayrılabilir. Bu teknoloji ticari olarak kullanım şansı bulamamıştır. Manyetik ayırmanın kullanıldığı farklı bir metod olarak MagMill prosesi verilebilir. Oder ve arkadaşları ile Oder'in (2000, 2002) yapmış olduğu araştırmada pirit ve bazı mineral maddelerin öğütücü ve kuru manyetik ayırıcıdan oluşan bir sistemde ayrılması üzerine araştırmalar yapılmıştır. 90 kg/saat'lik kapasiteli bir prototip sistemde, hava taşımalı bir modifiye çekimli değirmen ve manyetik ayırıcı kullanılmışlardır. Değirmen içerisinde sürekli olarak sert malzemelerin iç dolaşımında ayrıldığı bir düzende çalışmaktadır. Mineralce zengin akım sisteme eklenmiş bir manyetik ayırıcıya gönderilmekte, paramanyetik mineraller ayrıldıktan sonra, manyetik olarak temizlenmiş akım tekrar değirmene dönmektedir. Manyetik ayırmada verimi artırabilmek için çeşitli araştırmacılar mikrodalga ile çalışmalar yapmışlardır. Mikrodalga'nın pirit üzerine selektif ısıtma sağlaması ve kısa sürede, piritin manyetik monoklinik pirotite dönüşmesi yöntemin sağladığı avantajdır. Bu işlemden sonra da manyetik ayırmaya tabi tutularak kömürün desülfürizasyonu tamamlanmaktadır. Bazı araştırmacılar ise yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıları, kuru kömürün yanında, yağ olarak da denemişlerdir. Maxwell ve Kelland söz konusu manyetik ayırıcıların sulu ortamda başarılı bir şekilde piriti ayırabildiğini ancak, kuru yöntemle ayırmanın çok zor olduğunu belirtmişlerdir [16, 17].

### 3.3.3 Elektrostatik Ayırma

Kömür ve yantaşın elektriksel özellik farklarından yararlanarak kömür külünü azaltabilmek amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu amaçla elektrodinamik ve elektrostatik ayırıcılar denenmiştir. Elektrodinamik ayırıcılar -2 mm kömürler için uygun olurken, elektrostatik ayırma ise -0.25 mm kömüre uygun olmaktadır. Elektrodinamik ayırıcılarla çalışmalar -3 mm ile 0.1 mm aralığında sürdürülmüştür. Vitritniçe zengin kömürlerde oldukça iyi ayırımlar sağlanırken, daha genç kömürlerde de belli bir başarı sağlandığı belirtilmektedir. Kömürün dar tane aralığında sınıflandırılması, şlamdan arındırılması ve havada kuru hale getirilmesi gerekmektedir. Pratikte bu aşamalar çok pahalı ve zor işlemler içermektedir.

Elektrostatik ayırmada, ayırma kademesinden önce, tanecikler elektrostatik olarak mutlaka yüklenmelidir. Kömürdeki organik kökenli fazlardan mineral maddelerin ayrılması, bu iki fazın farklı tip ayırıcılarda farklı şekilde şarj olma ve şarjı taşımalarına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu şekilde iki farklı elektrostatik yöntem mevcuttur. Bunlardan birisi elektriksel direnci kullanırken diğeri yüzey yapısındaki elektriksel farklılıkları kullanmaktadır. Tanecikleri yüklemek için kullanılacak değişik metodlar mevcuttur. Bunlar; iletken yüklemesi, iyon bombardımanı ve sürtünme ile yüklenme (triboelektrifikasyon)'dir. Şarj metodundan bağımsız olarak, kazanılabilen maksimum yük yoğunluğu ve tanecik yüzey alanı tanecik üzerinde oluşan yük miktarını sınırlandırmaktadır. Elektrostatik ayırmanın başarılı olabilmesi için taneciğe etki eden elektrostatik güçlerin yerçekimi ve taneler arası etkileşim kuvvetlerini yenmesi gerekmektedir. Elektrostatik ayırıcılarda toz kömür bir elektrik alandan geçirilir ve burada farklı yüklenmeler meydana gelir. Negatif ve pozitif yüklenmiş tanecikler zıt olarak yüklenmiş elektrodalara doğru yönelirler. Ürünler bölücülerle birbirinden ayrılır. Bu yöntemde sonuçlar oldukça kötüdür ve ticari uygulama şansı görülmemektedir [12].



## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1 Amaç

Yaş yöntemle zenginleştirilen Zonguldak taşkömürünün kuru zenginleştirme yöntemleri ile zenginleştirmeye uygun olup olmadığının araştırılması amaçlanmaktadır.

### 4.2 Yöntem

Deneysel çalışmalar, Zonguldak bölgesinden gelen taşkömürleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda; öncelikle çalışmalara konu olan kömür numunesi üzerinde, boyut ve standart kömür analizleri yapılarak, kömürün yapısı incelenmiş daha sonra, yüzdürme batırma testleri gerçekleştirilerek, yıkanabilirlik özellikleri hakkında bilgi edinilmiştir.

Karakterizasyon ve yıkanabilirlik testlerini takiben kömür zenginleştirme deneylerine geçilmiştir. Deneysel çalışmalarda izlenen yol ve çalışılan boyutlar ve ilgili cihazlar Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kömür numunesi, ayırma ekipmanları ve uygulanan yöntemler sonraki bölümlerde detaylı olarak verilmektedir.

#### 4.2.1 Kül analizi

Kül miktarı tayin edilecek numuneler için kullanılacak krozeler iyice temizlenip etüvde (105 °C) yarım saat bekletilir. Desikatörde soğutulan krozelerin boş ağırlıkları tartılır. Terazı sıfırlanıp üzerine 1 gr numune konularak 850 °C’ye ayarlanmış kül fırınına verilir ve fırın sıcaklığı 850 °C’ye geldiğinde 2 saat bekletilir.

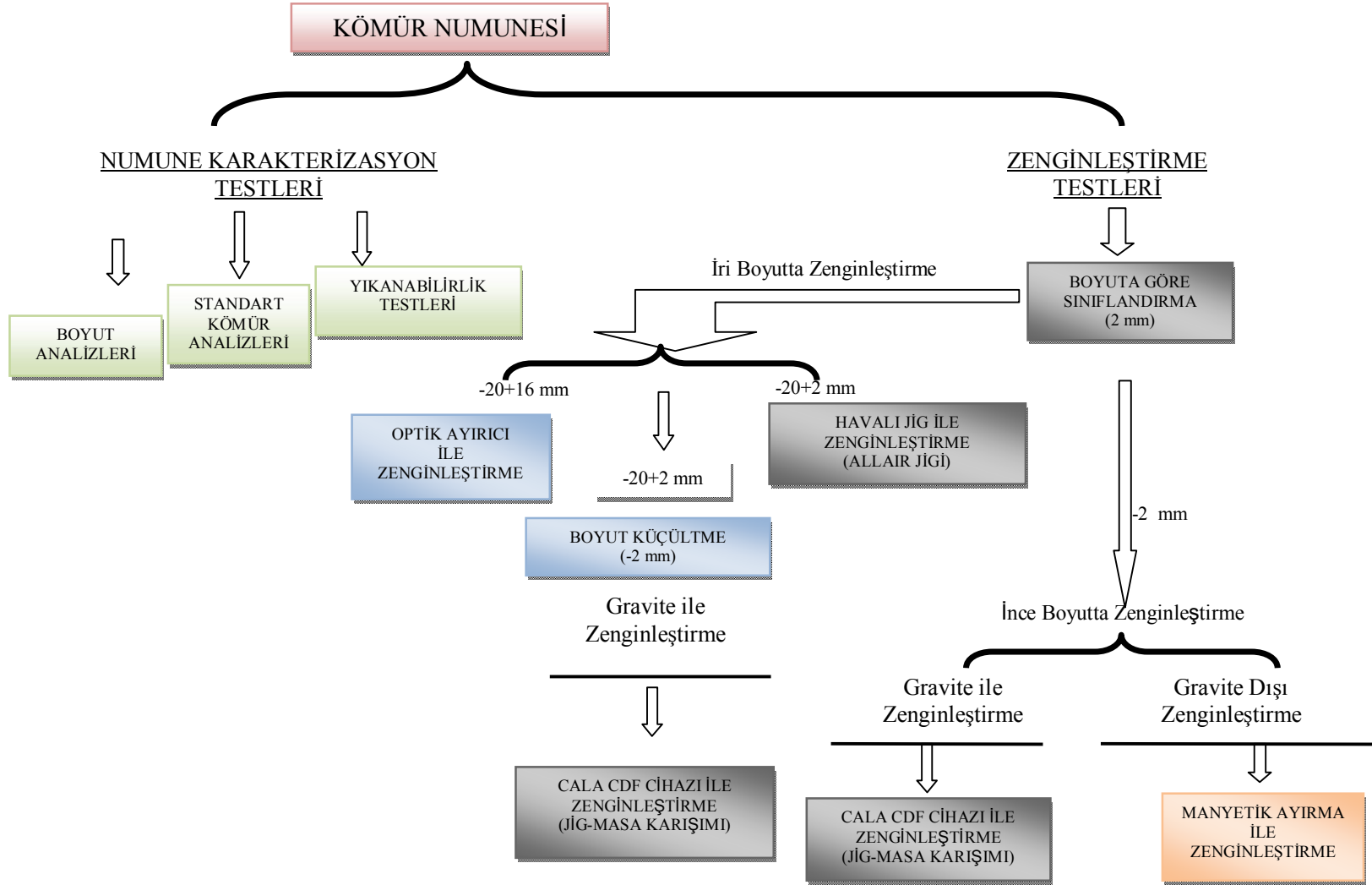
Krozeler soğuduktan sonra tartımları yapılır. Bütün bu işlemlerden sonra numunenin kül içeriği aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$\% \text{ Kül} = [(A-B)/C] \times 100$$

A = (Kroze + Kül) ağırlığı

B = Boş kroze ağırlığı

C = Numune ağırlığı



**Şekil 4.1:** Deneysel Çalışmalarda İzlenen Yol ve Çalışılan Boyutlar ve İlgili Cihazlar



#### **4.2.2 Uçucu Madde Analizi**

Uçucu madde analizi için fırına konulup 750 °C'de 2 saat bekletildikten sonra 30 dakika desikatörde tutulup soğumaları sağlanan krozelerin daraları alınır. Bu krozelerin her birine etüvde 2 saat bekletilen kömür numunesinden yaklaşık olarak 1'er gram tartılıp üzerleri platin kapakla kapatıldıktan sonra 950 °C'deki fırında 7 dakika bekletilir. Fırından alınan krozeler desikatörde 30 dakika tutulup soğutulduktan sonra yeniden tartılır. Yapılan iki tartım arasındaki fark uçucu madde miktarını verir.

#### **4.2.3 Sabit Karbon Analizi**

Kömür içindeki hiçbir elemana bağlanamayan karbon içeriğine sabit karbon denir. Bu miktar yaşlı kömürlerde %98'e çıkarken, genç kömürlerde %38'e kadar düşmektedir. Sabit karbon tayini daha önce bulunan değerlerden yararlanılarak hesaplama yoluyla bulunabildiği gibi, karbon analizi yapılarak da belirlenebilir.

$$SK(\%) = 100 - (\text{kül} + \text{uçucu madde})$$

#### **4.2.4 Isıl Değer Analizi**

Kömürün ısıl değeri, 1 kg kömürün yakılması ile açığa çıkan ısı miktarıdır. Isıl değer tayini kömürün kalorimetrede yakılması sonunda elde edilir. 25-30 atmosfer basınç altında kömürün oksijenli bir ortamda elektrikle yakılması ve ortaya çıkan ısının belirli bir miktarda olan suyun sıcaklığını arttırmasının ölçümünden bulunur.

### **4.3 Deneylerde Kullanılan Numunenin Özellikleri**

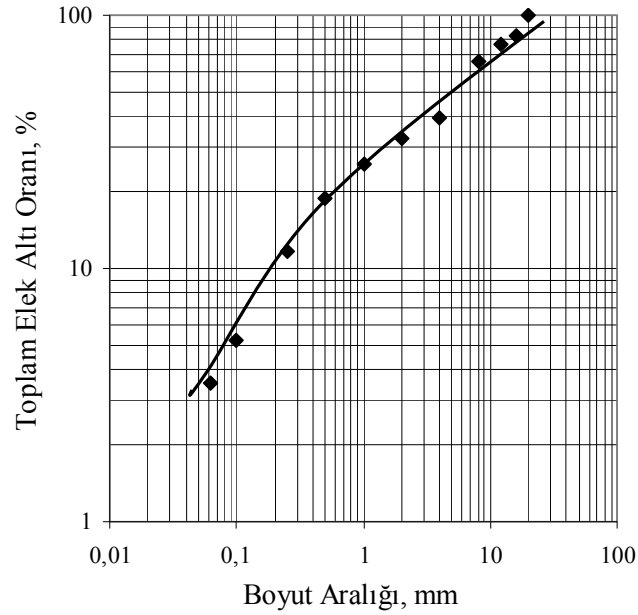
Deneylerde kullanılan numune Zonguldak ili taşkömürüdür.

#### **4.3.1 Numunenin Fiziksel Özellikleri**

Numunenin fiziksel özelliklerini belirlemede kullanılmak üzere temsili numune eldesi için 400 kg'lık malzeme bir bölücü ile yaklaşık olarak aynı miktarlarda iki eşit kısma bölünmüştür. Numuneyi istenen miktarda daha küçük kısımlara bölmek için numune bölücüden, birbirini geçirmek üzere işleme devam edilmiştir. Bölücü ile istenilen miktara getirilen malzeme yaş elek analizi yöntemi ile elek analizine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.1'de yaş eleme sonucunda elde edilen elek analizi sonuçları ve Şekil 4.2'de tüvenan kömürün boyut dağılım eğrisi verilmiştir.

**Çizelge 4.1 : Tüvenan Kömürün Elek Analizi Sonuçları**

Elek Açıklığı (mm)	Miktar, %	$\Sigma$ E.A. Oranı, %	Kül, %
-20+16	17.0	100.0	25.1
-16+12	6.1	83.0	39.9
-12+8	11.0	76.9	48.4
-8+4	26.3	65.9	50.3
-4+2	7.1	39.6	50.4
-2+1	6.5	32.5	53.3
-1+0.5	7.2	26.0	55.0
-0.5+0.25	7.1	18.8	58.0
-0.25+0.1	6.5	11.7	56.0
-0.1+0.063	1.7	5.2	57.4
-0.063	3.5	3.5	65.2
Toplam	100.0		47.3



**Şekil 4.2: Tüvenan Kömürün Boyut Dağılım Eğrisi**

Fraksiyonel kül değerleri incelendiğinde iri boyutlarda kül içeriğinin nispeten düşük olduğu orta boyutlarda benzer kül içerikleri gözlemlendiği 2 mm altındaki kömür

kısımının ise kül içeriğinin yüksek olduğu, bunun da muhtemelen killi safsızlıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4.3.2 Numunenin Standart Analizleri

Çalışmalarda kullanılan taşkömürü numunesi üzerinde gerçekleştirilen standart kömür analizleri sonucunda; tüvenan kömür kül içeriğinin %47.3, kalorifik değerinin ise 4400 kcal/kg olduğu, düşük kalorifik değerinin yüksek kül içeriğinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Çizelge 4.2’de numunenin standart analiz sonuçları verilmektedir.

**Çizelge 4.2 : Numunenin Standart Analizleri**

Kül, %	47.3
Kalorifik Değer Kcal/kg	4400.0
Uçucu Madde Oranı, %	21.0
Sabit Karbon Oranı, %	31.7
Nem, %	25.0
Toplam Kükürt, %	0.62

#### 4.3.3 Yıkanabilirlik Testleri (Yüzdürme-Batırma Deneyleri)

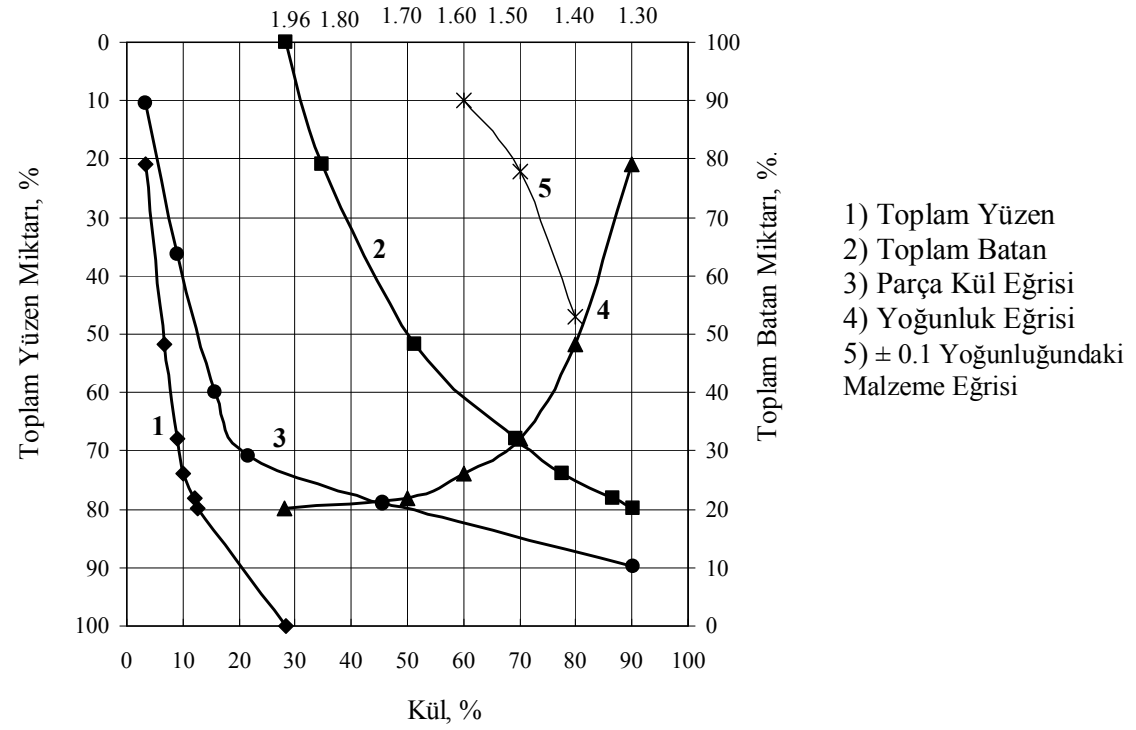
Kömürlerin yıkanabilme özelliklerinin incelenmesi yüzdürme-batırma adı verilen deneyler ve bu deneylerden alınan sonuçların değerlendirilmesi yolu ile yapılır. Uygun aralıklarla seçilen farklı yoğunluktaki ağır sıvıların hazırlanmasından sonra, kömür numunesi en düşük yoğunluktan başlayarak her bir ağır sıvıda yüzdürme-batırma işlemine tabi tutulmuştur. Kömür numunesi önce en düşük yoğunluklu ağır sıvı içerisine konulmuş, kömür numunesinde bulunan ve yoğunluğu bu sıvının yoğunluğundan daha az olan taneler yüzmüş, daha fazla olanlar batmıştır. Yüzenler bir kenara alınmış, batanlar ise bir üst yoğunluktaki ağır sıvıya beslenmiştir. Bu şekilde sırayla bütün yoğunluklarda aynı işlemler uygulanarak alınan numunelerde miktar tayini ve kül analizi yapılmıştır.

Yıkanabilirlik testleri daha etkin ayırım için -20+16 mm, -16+8 mm, -8+2 mm ve -2 mm boyut fraksiyonlarında gerçekleştirilmiş ve yüzdürme-batırma sonuçları derlenerek tablolar ve grafikler halinde sırasıyla Çizelge 4.3-4.6 ve Şekil 4.3-4.6’da gösterilmiştir. Fraksiyonlara ilave olarak tüvenana ait birleştirilmiş gösterimler Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, her ne kadar ayırım yapılan ortam su olsa da (özgül ağırlık 1 gr/cm<sup>3</sup>), yüksek PKO ve

engelli çöküş şartları nedeniyle yaş zenginleştirmede ayırma ortamı yoğunluğu genelde 1.50-1.60 gr/cm<sup>3</sup> arasında oluşmaktadır. Bir kömür numunesinin yıkanabilirliği değerlendirilirken ayırma işleminin güçlük derecesi genellikle yüzdürme-batırma testi sonucunda oluşturulan parça kül eğrisi ya da  $\pm 0.1$  yoğunluk aralığındaki malzeme oranı göz önüne alınarak değerlendirilmektedir [8]. Bu sebeple yüzdürme-batırma testleri sonucunda, 1.50-1.60 gr/cm<sup>3</sup> ayırma yoğunluklarında ayırma etkinliği  $\pm 0.1$  yoğunluk aralığındaki malzeme oranı baz alınarak değerlendirilmiş ve Çizelge 4.7'de verilmiştir.

**Çizelge 4.3 : -20+16 mm Boyutundaki Malzemenin Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları**

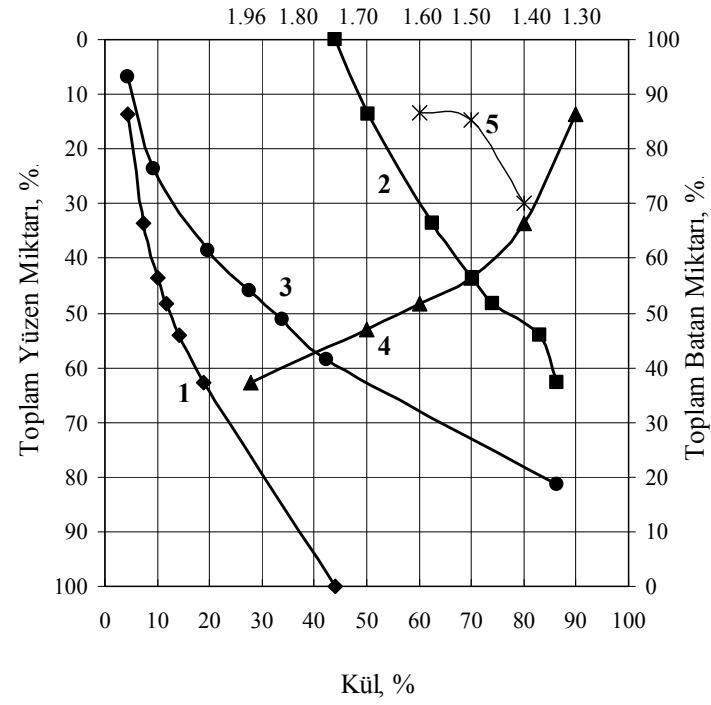
Yoğunluk Aralığı gr/cm <sup>3</sup>	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0.1 Yoğunluk Aralığındaki Malzeme Oranı %	
	Miktar %M	Kül %K	M*K	Miktar % ΣM	ΣM*K	Kül % ΣM*K/ΣM	Miktar %ΣM	ΣM*K	Kül % ΣM*K/ΣM		
-1.30	20.9	3.3	69.0	20.9	69.0	3.3	100.0	2825.7	28.3	1.30	-
+1.30 -1.40	30.9	9.1	281.2	51.8	350.2	6.8	79.1	2756.7	34.9	1.40	47.1
+1.40 -1.50	16.2	15.8	256.0	68.0	606.1	8.9	48.2	2475.5	51.4	1.50	22.1
+ 1.50 1.60	5.9	21.7	128.0	73.9	734.2	9.9	32.0	2219.5	69.4	1.60	10.0
+ 1.60 1.70	4.1	45.7	187.3	78.0	919.3	12.0	26.1	2091.5	75.2	1.96	-
+ 1.70 1.96	1.8	45.7	82.3	79.8	1001.6	12.6	22.0	1904.2	86.6		
+1.96	20.2	90.3	1824.1	100.0	2825.7	28.3	20.2	1824.1	90.3		
TOPLAM	100.0	28.3									



Şekil 4.3: -20+16 mm Fraksiyonunda Gerçekleştirilen Yüzdürme-Batırma Deney Sonucu

**Çizelge 4.4 : -16+8 mm Boyutundaki Malzemenin Yüzdürme-Batırma Denev Sonuçları**

Yoğunluk Aralığı gr/cm <sup>3</sup>	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0.1 Yoğunluk Aralığındaki Malzeme Oranı %	
	Miktar %M	Kül %K	M*K	Miktar % ΣM	ΣM*K	Kül % ΣM*K/ΣM	Miktar %ΣM	ΣM*K	Kül % ΣM*K/ΣM		
-1.30	13.7	4.3	58.9	13.7	58.9	4.3	100.0	4393.2	43.9	1.30	-
+1.30 -1.40	20.0	9.3	186.0	33.7	244.9	7.3	86.3	4334.3	50.2	1.40	30.0
+1.40 -1.50	10.0	19.7	197.0	43.7	441.9	10.1	66.3	4148.3	62.6	1.50	14.6
+ 1.50 1.60	4.6	27.7	127.4	48.3	569.3	11.8	56.3	3951.3	70.2	1.60	10.3
+ 1.60 1.70	5.7	36.0	199.0	54.0	768.3	14.2	51.7	3823.9	74.0	1.96	-
+ 1.70 1.96	8.8	42.3	372.2	62.8	1182.8	18.8	46.0	3624.9	83.1		
+1.96	37.2	86.3	3210.4	100.0	4393.2	43.9	37.2	3210.4	86.3		
TOPLAM	100.0	43.9									



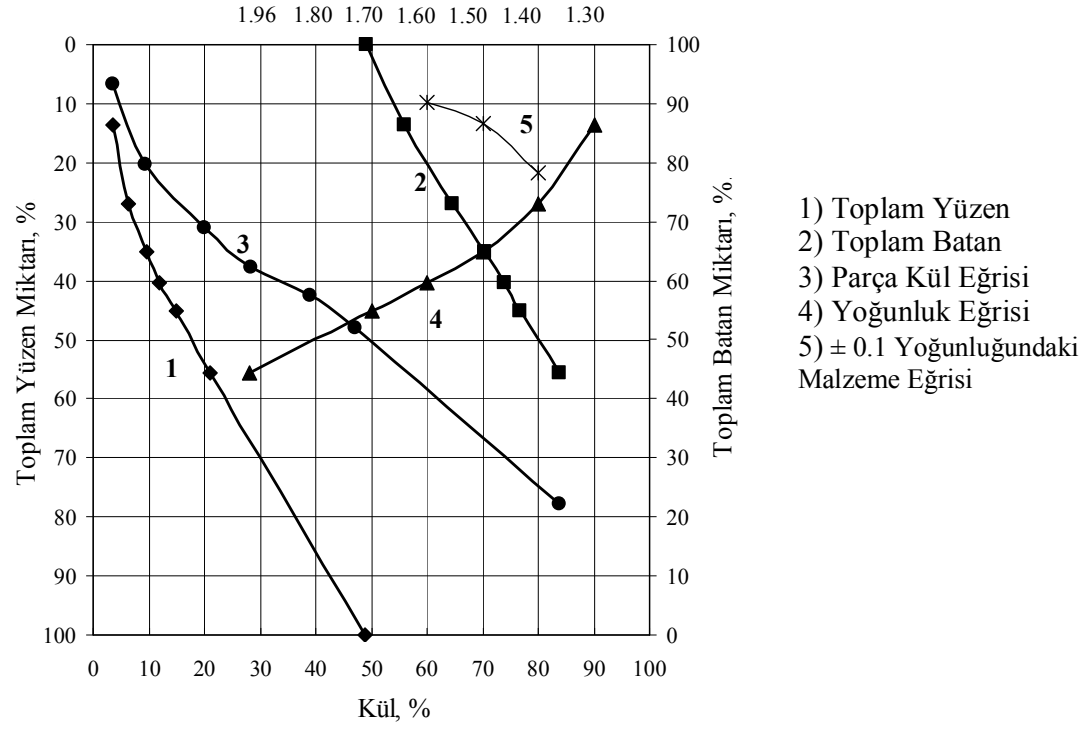
- 1) Toplam Yüzen
- 2) Toplam Batan
- 3) Parça Kül Eğrisi
- 4) Yoğunluk Eğrisi
- 5)  $\pm 0.1$  Yoğunluğundaki Malzeme Eğrisi

Şekil 4.4: -16+8 mm Fraksiyonunda Gerçekleştirilen Yüzdürme-Batırma Deney Sonucu



**Çizelge 4.5 : -8+2 mm Boyutundaki Malzemenin Yüzdürme-Batırma Deney Sonuçları**

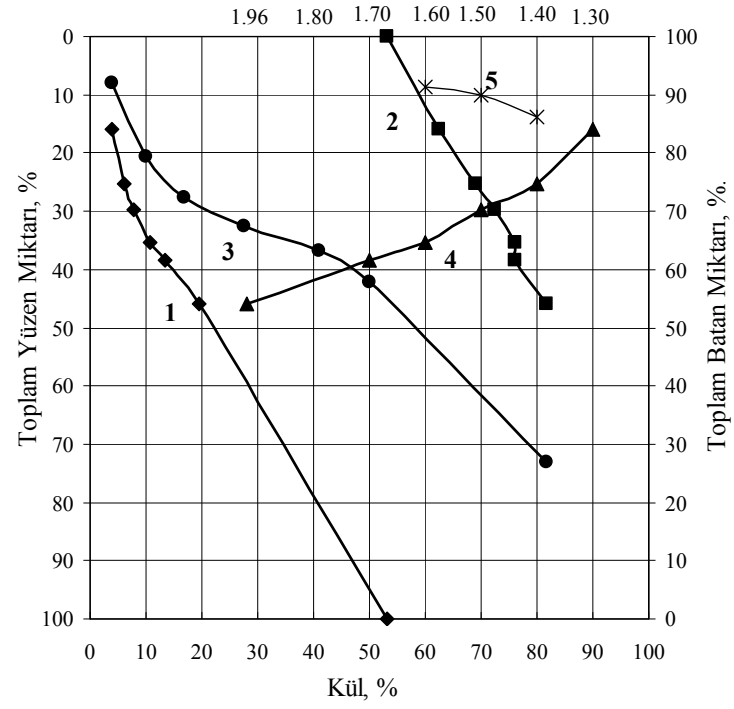
Yoğunluk Aralığı gr/cm <sup>3</sup>	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0.1 Yoğunluk Aralığındaki Malzeme Oranı %	
	Miktar %M	Kül %K	M*K	Miktar % ΣM	ΣM*K	Kül % ΣM*K/ΣM	Miktar %ΣM	ΣM*K	Kül % ΣM*K/ΣM		
-1.30	13.5	3.6	48.6	13.5	48.6	3.6	100.0	4897.6	49.0	1.30	-
+1.30 -1.40	13.4	9.3	124.6	26.9	173.2	6.4	86.5	4849.0	56.1	1.40	21.6
+1.40 -1.50	8.2	19.9	163.2	35.1	336.4	9.6	73.1	4724.4	64.6	1.50	13.4
+ 1.50 1.60	5.2	28.3	147.2	40.3	483.6	12.0	64.9	4561.2	70.3	1.60	9.9
+ 1.60 1.70	4.7	40.7	191.4	45.0	675.0	15.0	59.7	4414.0	74.0	1.96	-
+ 1.70 1.96	10.5	47.0	493.5	55.5	1168.5	21.1	55.0	4222.6	76.8		
+1.96	44.5	83.8	3729.1	100.0	4897.6	49.0	44.5	3729.1	83.8		
TOPLAM	100.0	49.0									



Şekil 4.5: -8+2 mm Fraksiyonunda Gerçekleştirilen Yüzdürme-Batırma Deney Sonucu

**Çizelge 4.6 : -2.0 mm Boyutundaki Malzemenin Yüzdürme-Batırma Denev Sonuçları**

Yoğunluk Aralığı gr/cm <sup>3</sup>	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0.1 Yoğunluk Aralığındaki Malzeme Oranı %	
	Miktar %M	Kül %K	M*K	Miktar % ΣM	ΣM*K	Kül % ΣM*K/ΣM	Miktar %ΣM	ΣM*K	Kül % ΣM*K/ΣM		
-1.30	15.9	3.9	62.0	15.9	62.0	3.9	100.0	5309.1	53.1	1.30	-
+1.30 -1.40	9.4	9.9	93.4	25.3	155.4	6.1	84.1	5247.1	62.4	1.40	13.9
+1.40 -1.50	4.5	16.8	75.6	29.8	231.0	7.8	74.7	5153.7	69.0	1.50	10.0
+ 1.50 1.60	5.5	27.5	151.3	35.3	382.3	10.8	70.2	5078.1	72.3	1.60	8.6
+ 1.60 1.70	3.1	43.0	135.0	38.4	517.3	13.4	64.7	4926.8	76.0	1.96	-
+ 1.70 1.96	7.6	50.0	380.0	46.0	897.3	19.5	61.6	4791.8	76.1		
+1.96	54.0	81.7	4411.8	100.0	5309.1	53.1	54.0	4411.8	81.7		
TOPLAM	100.0	53.1									

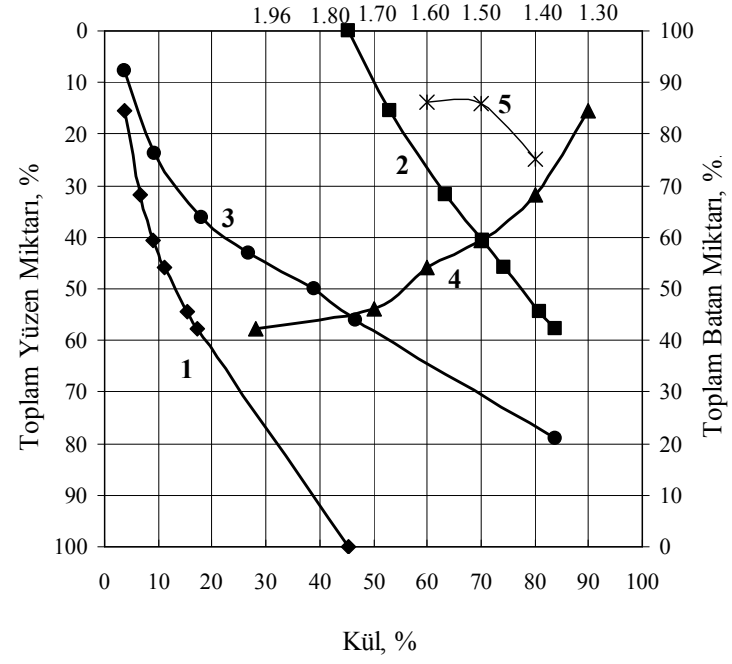


- 1) Toplam Yüzen
- 2) Toplam Batan
- 3) Parça Kül Eğrisi
- 4) Yoğunluk Eğrisi
- 5) ± 0.1 Yoğunluğundaki Malzeme Eğrisi

Şekil 4.6: -2.0 mm Fraksiyonunda Gerçekleştirilen Yüzdürme-Batırma Deney Sonucu

**Çizelge 4.7 : Kömür Yıkama Eğrilerinin Birleştirilmesi ile Oluşturulan Toplam Yüzen, Toplam Batan, Yoğunluk ve Parça Kül Verileri**

Yoğunluk Aralığı gr/cm <sup>3</sup>	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0.1 Yoğunluk Aralığındaki Malzeme Oranı %	
	Miktar %M	Kül %K	M*K	Miktar % ΣM	ΣM*K	Kül % ΣM*K/ΣM	Miktar %ΣM	ΣM*K	Kül % ΣM*K/ΣM		
-1.30	15.6	3.7	58.3	15.6	58.3	3.7	100.0	4541.8	45.4	1.30	-
+1.30 -1.40	16.2	9.4	151.5	31.8	209.8	6.6	84.4	4483.5	53.1	1.40	24.9
+1.40 -1.50	8.7	18.0	156.9	40.5	366.7	9.1	68.2	4332.0	63.5	1.50	14.0
+ 1.50 1.60	5.3	26.7	141.5	45.8	508.2	11.1	59.5	4175.2	70.2	1.60	13.9
+ 1.60 1.70	8.6	39.0	336.9	54.4	845.1	15.5	54.2	4033.6	74.4	1.96	-
+ 1.70 1.96	3.4	46.8	159.1	57.8	1004.2	17.4	45.6	3696.7	81.0		
+1.96	42.2	83.8	3537.6	100.0	4541.8	45.4	42.2	3537.6	83.8		
TOPLAM	100.0	45.4									



- 1) Toplam Yüzen
- 2) Toplam Batan
- 3) Parça Kül Eğrisi
- 4) Yoğunluk Eğrisi
- 5)  $\pm 0.1$  Yoğunluğundaki Malzeme Eğrisi

**Şekil 4.7:** Birleştirilmiş Yüzdürme-Batırma Deney Sonu

Çizelge 4.8'deki değerler incelendiğinde; deneysel çalışmalara konu olan kömür numunesinin orta güçlükte yıkanabilir bir malzeme olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte ince boyutlara geçildikçe ayırma etkinliğinin arttığı tespit edilmiştir.

1.5-1.6 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğu baz alınmadan genel olarak yıkanabilirlikler değerlendirildiğinde ise -20+16 mm fraksiyonunda ayırımın diğerlerine oranla daha kolay olduğu gözlenmektedir.

**Çizelge 4.8 : Kömür Numunesinin Fraksiyonlara Göre Yıkanabilirliği**

FRAKSİYON	±Yoğunluk Aralığındaki Malzeme Miktarı, %**	
	1,50 gr/cm <sup>3</sup>	1,60 gr/cm <sup>3</sup>
-20+16 mm	22.1 (ayırım çok zor)	10.0 (kolay)
-16+8 mm	14.6 (orta güçlükte)	10.3 (orta güçlükte)
-8+2 mm	13.4 (orta güçlükte)	9.9 (kolay)
-2 mm	16.2 (orta güçlükte)	8.6 (kolay)
BİRLEŞTİRİLMİŞ	14.0 (orta güçlükte)	13.9 (orta güçlükte)

\*\*±Yoğunluk Aralığındaki Malzeme Miktarı, 0-7 % ise ayırma çok kolay, 7-10 % ise ayırma kolay, 10-15 % ise orta güçlükte, 15-20 ise ayırma zor, >20 % ise ayırma çok zor [8].

#### 4.4 Kuru Zenginleştirme Deneyleri

Gravite ile kuru zenginleştirme, yaş zenginleştirmeye benzer sistemlerle gerçekleştirilmektedir. Yaş olarak jig ya da sarsıntılı masa ile yıkama yöntemleri kuru olarak da uygulanabilmekte ancak, ayırıcı ortam olarak su yerine hava ya da hava/ağır ortam birliktelikleri kullanılmaktadır. Bilindiği üzere sarsıntılı masa ya da jig ile zenginleştirmede tanelerin akışkan ortam içerisindeki çökme hızları farklılığından ve özgül ağırlık farkından yararlanılmaktadır. İlk olarak 1867 yılında Rittinger tarafından öne sürülen, daha sonra da Taggart tarafından konsantrasyon kriteri olarak ifade edilen çökme oranı,  $S_r$ , baz alınır;

$$S_r = \frac{d_L}{d_H} = \frac{\rho_H - \rho_F}{\rho_L - \rho_F} \quad (4.1)$$

Çökme oranı ayrılacak partiküller ( $\rho_H$ : ağır mineral,  $\rho_L$ : hafif mineral) ve ayırma ortamı özgül ağırlıkları ( $\rho_F$ ) ve tane büyüklükleri ( $d_H$ : ağır mineral,  $d_L$ : hafif mineral tane boyutu) ile ilgilidir. Kömür yoğunluğunun ortalama  $1.40 \text{ gr/cm}^3$ , şist yoğunluğunun  $2.60 \text{ gr/cm}^3$  olduğu düşünülürse çökme oranı ayırma ortamı hava olduğunda 1.86, su olduğunda 4 olmaktadır. Bu oranlar da doğrudan boyutla ilgili olduğundan boyut oranı kuru zenginleştirme de 2:1, yaş zenginleştirmede 4:1 olmaktadır. Dolayısıyla kuru uygulamalar da etkin sonuçlar alınması için dar boyut gruplarında çalışma zorunluluğu doğmaktadır. Bu sebeple kuru zenginleştirme uygulamalarında genellikle boyut parametresi açısından üst limit olarak 25 mm ve alt limit olarak 6.0 mm alınmakta ve iri boyutlarda genellikle jig uygulaması -6.0 mm boyut grubunda ise CDF havalı ayırıcı ve sarsıntılı masa gibi farklı ayırıcılar kullanılmaktadır [19].

Bu sebeple deneysel çalışmalarda gravite ile zenginleştirme açısından, iri boyutlarda Allair havalı jigi ince boyutlarda ise CDF havalı ayırıcısı kullanılmıştır.

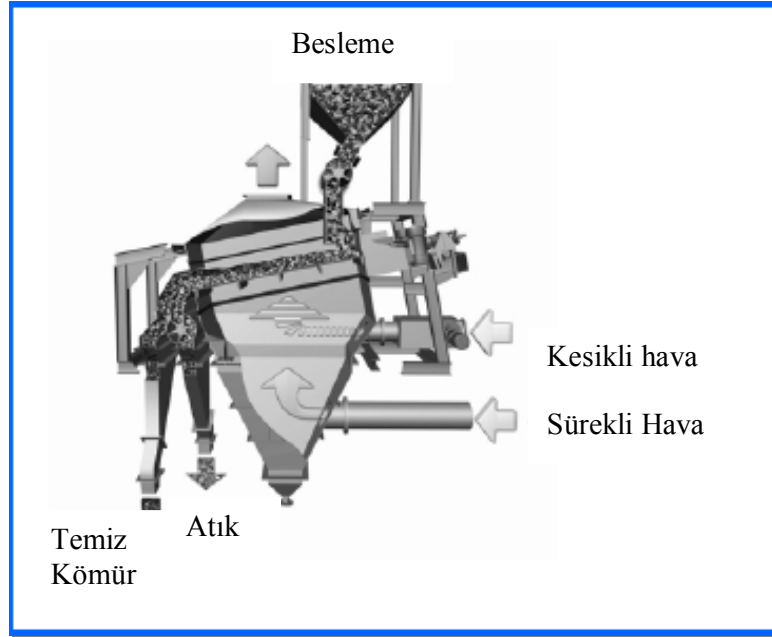
Bunun yanı sıra iri boyutlarda optik ayırmanın mümkün olup olmadığı ve ince boyutlarda CDF havalı ayırıcısına alternatif olarak manyetik ayırma işlemi uygulanmış ve sonuçlar bölümler halinde aşağıda sunulmuşt



#### 4.4.1 İri Boyutta Zenginleştirme (-20+2 mm)

##### 4.4.1.1 Allair Jigi İle Kuru Zenginleştirme

Şekil 4.8-4.9’ da resmedilen, Allair jigi ile yapılan deneylerde 2.-20 mm arasındaki malzeme kullanılmıştır. Jig kutusu içinde yatak oluşumunu sağlama amacıyla malzemenin %75’i 10-20 mm, %25’i ise 10-2. mm boyutundadır. Bu sistemde bir jig kutusu içerisinde bulunan elekli bir yüzey üzerine kömür numunesi beslenmekte ve jigleme işlemi fanlar vasıtasıyla, jig kutusu içerisinde yer alan eleğin alt kısmından verilen hava ile gerçekleştirilmektedir. Jigleme kutusuna hava, sabit akışkanlandırma havası ve pülsasyon havası olmak üzere iki şekilde verilmektedir. Cihazda çalışma parametreleri; sabit ve akışkanlandırma havası, elek titreşim frekansı, ürün çıkış noktalarındaki rotary gate hızlarından ibarettir. Ancak, cihaz üzerinde uzun süreler çalışmış olan operatörlerin tecrübeleri göz önüne alındığında, en etkin parametrenin rotary gate (ürün çıkış bölümü) hızı olduğu ifade edildiğinden, cihaz üzerinde sadece bu parametre denenmiş ve deney sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.8: Allair Jigin Kesit Resmi



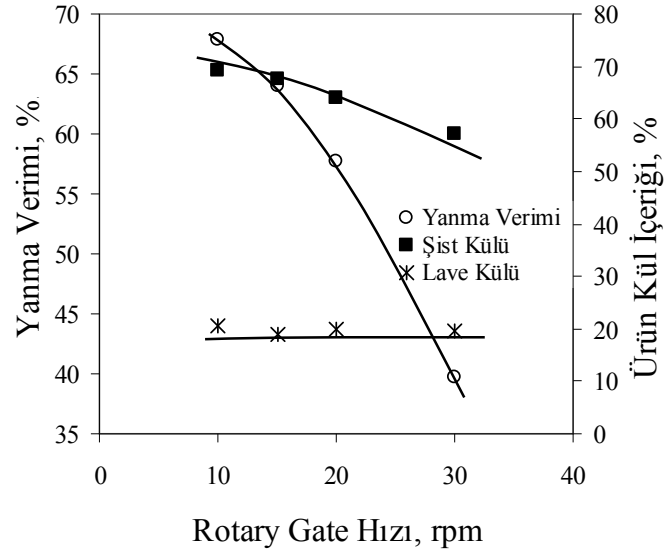
**Şekil 4.9:** Deneilerde Kullanılan Havalı Jig

**Çizelge 4.9 :** Havalı Jig Deneyi Sonuçları

Rotary gate hızı (rpm)	Ürünler	Ağırlık %	Kül %	Yanma Verimi %	Kalorifik Değer Kcal/kg	Uçucu Madde Oranı %	Sabit Karbon Oranı %
30	Lave	26.0	19.6	39.7	6612.5	30.0	50,4
	Şist	74.0	57.0	60.3	2833.7	19.0	24.0
	Beslenen	100.0	47.3	100.0	3816.1	21.8	30.8
20	Lave	38.0	20.0	57.7	6577.6	29.0	51.0
	Şist	62.0	64.0	42.3	2045.4	17.0	19.0
	Beslenen	100.0	47.3	100.0	3767.6	21.5	31.1
15	Lave	41.6	19.0	63.9	6623.7	30.0	51.0
	Şist	58.4	67.5	36.1	1522.9	16.0	16.5
	Beslenen	100.0	47.3	100.0	3644.8	21.8	30.8
10	Lave	45.0	20.6	67.8	6447.4	28.0	51.4
	Şist	55.0	69.2	32.2	1401.1	15.0	15.8
	Beslenen	100.0	47.3	100.0	3671.9	20.9	31.8

Çizelge 4.9'dan görüleceği üzere, farklı rotary gate hızlarında elde edilen konsantre ve artığın kül içeriklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu, rotary gate hızı değişiminin de temiz ürün kalitesini çok fazla etkilemediği görülmüştür. Ancak şist külleri ve yanabilir verimler hesaplandığında, rotary gate hızı azaldıkça atılan şistin kül içeriğinin yükseldiği (ki bu hatalı ayırma oranının-kaçığın azaldığını gösterir), görülmektedir. Rotary gate hızının 30 rpm olduğu durumda temiz kömüre ait toplam kükürt oranı %0.72 iken şiste ait toplam kükürt oranı %0.59'dur. Rotary gate hızının

10 rpm olduğu durumda ise temiz kömüre ait toplam kükürt oranı %0.99, şiste ait toplam kükürt oranı ise %0.30'dur. Şekil 4.10'da farklı hava hızlarının ayırma verimine ve ürün kalitesine etkisi görülmektedir.



**Şekil 4.10:** Farklı Hava Hızlarının Ayırma Verimine Ve Ürün Kalitesine Etkisi

-20+2.0 mm boyut grubunda yapılan allair jigi ile kuru kömür zenginleştirme işleminin etkinliğinin karşılaştırılması amacıyla aynı numuneye sulu ortamda jig uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir.

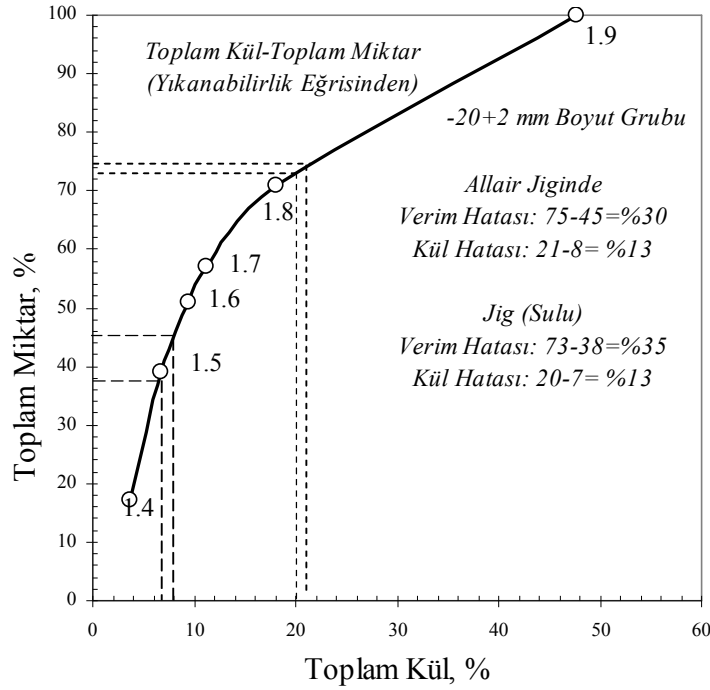
**Çizelge 4.10 :** Jig Deneyi Sonuçları

Ürünler	Ağırlık %	Kül %	Kalorifik Değer Kcal/kg	Uçucu Madde Oranı, %	Sabit Karbon Oranı, %
Lave 1	12.0	10.0	7560.0	32.0	58.0
Lave 2	26.0	25.0	5837.0	27.0	48.0
Mikst	18.0	38.0	4720.0	23.0	39.0
Şist 1	11.0	68.0	1095.0	15.0	17.0
Şist 2	33.0	77.0	840.0	12.0	11.0
Beslenen	100.0	47.4	3672.0	20.6	31.9

Çizelge 4.10'dan izleneceği üzere, jig numunesi ile miktarca düşük seviyelerde olsa da %10 küllü temiz kömür alınabilmektedir. Jig ile Allair havalı jiginin kıyaslanmasını daha doğru olarak yapabilmek amacıyla ayırmada kül ve verim

hatalarının verildiği, rotary gate hızının 10 rpm olduğu durumdaki sonuçlar dikkate alınarak çizilen Şekil 4.11’de görülen Miktar-Kül eğrisi oluşturulmuştur.

Şekil 4.11 incelendiğinde, allair jiginde elde edilen ürün kalitesi ve miktarı jig ile elde edilebilecek ürün kalitesine benzer çıkmıştır.



**Şekil 4.11:** Yıkanabilirlik Eğrisine Göre Havalı Jig Ve Sulu Jigin Karşılaştırılması

Havalı jig ile yapılan deneylerde en iyi sonuçlar rotary gate hızının 10 olduğu durumda alınmıştır. %45 ağırlıkta %20 kül içerikli lave elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 4.11’ de görülen yıkanabilirlik eğrisindeki sonuçlarla karşılaştırıldığında verim hatası %30, kül hatası ise %13 olarak bulunmuştur. Jigde ise verim hatası %35, kül hatası ise %13’tür. Jig ve havalı jigde benzer sonuçlar alınması allair jiginin etkin olarak çalıştığını, çok temiz ürün elde edilememesine rağmen uygun şistin atılabildiğini göstermektedir. Bu da literatürde sıkça tekrarlandığı gibi, kuru sistemlerin yüksek ayırma yoğunluklarında çalışmalarını dolayısıyla sadece atılabilir şisti uzaklaştırmada etkin olduğunu göstermektedir.

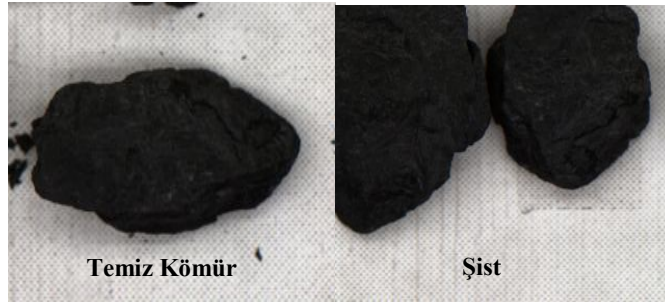
#### 4.4.1.2 . Optik Ayırma

Optik ayırma işlemi Şekil 4.12’de gösterilen sistemde gerçekleştirilmiştir. Optik zenginleştirme deneyinde kömür numunesinden konsantre ve artığı temsil eden iri boyutlu parçalar seçilmiştir. Bilgisayarın renk ve parlaklığı algılayabilmesi için tane

yüzeylerinin temiz olması gerekmektedir. Bu amaçla numuneler suyla yıkanarak yüzeyleri temizlenmiştir. Lave (temiz kömür) ve şist olarak seçilen numunelerin resimleri çekilerek cihaza konsantre ve artık olarak tanıtılmıştır (Şekil 4.13).



**Şekil 4.12:** Deneysel ortamda kullanılan optik ayırıcı



**Şekil 4.13:** Optik Zenginleştirme Cihazı İle Resmi Çekilen Kömür Numunelerinin Görünümü

Optik ayırıcılar da beslenen numune içerisindeki kömür ve yantaşın renk olarak bilgisayarlar da algılanması ve yantaşın kameralar tarafından tespit edilip, üfleme ile akış içerisinde uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Optik ayırma için numune seçiminde konsantre ve artık gözle ayırt edilebilirken çekilen fotoğraflarda konsantre ve artık arasında bir fark görülemez. Numuneler bant vasıtasıyla beslenmiştir. Ancak cihaz konsantre ve artığı aynı numune olarak algıladığından konsantre ve

artıklar aynı hücrede toplanmışlardır. Bu yüzden optik ayırma deneyinde başarı sağlanamamıştır.

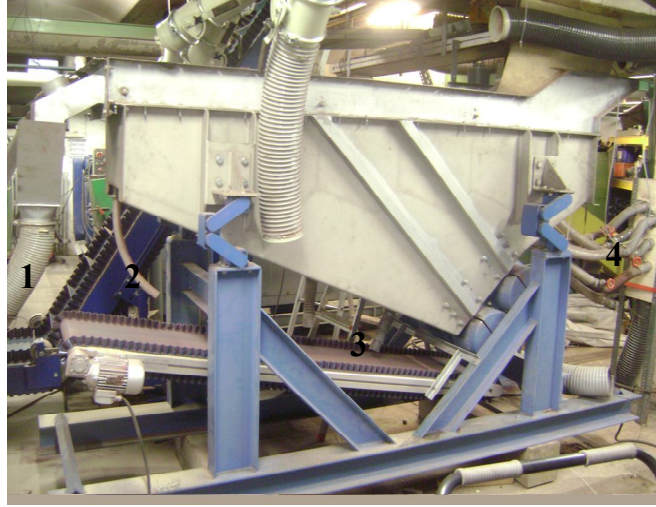
#### **4.4.2 İnce Boyutta Zenginleştirme (-2 mm)**

##### **4.4.2.1 Cala Havalı Ayırıcı (CDF)**

CDF, çalışma uzunluğu 2400 mm genişliği ise 405 mm olan ince boyutlu cevherler için kullanılan laboratuvar ölçekli havalı ayırıcı sistemidir (Şekil 4.14). Üç bölümden meydana gelmektedir. Birincisi; sürücü mekanizması yani malzemeyi sisteme taşıyan bantlardır. İkincisi; ürünleri alma bölmesi, üçüncüsü ise basınçlı hava ünitesidir.

Cala ile yapılan deneylerde 2.0 mm altındaki malzeme kullanılmıştır. Yaklaşık 60 kg malzeme deney sırasında oluşacak tozlanmayı önlemek amacı ile 100 mikronluk elekten elenerek tozdan arındırılmıştır.

60 kg malzeme bant konveyöre beslenir. Beslenen malzeme konveyörlerle masa yüzeyine gelir. Masa yüzeyinde 40 mikronluk üç tane elek bulunmaktadır. Bu eleklerle hava basıncını sağlayan 6 farklı hava borusu bulunmaktadır. Hava basıncı miktarı da bu hava boruları ile ayarlanmaktadır. Hava basıncının fazla olması malzemeyi istenenden daha fazla havalandırıp kayıplara neden olacağı için hava basıncı, malzemenin havalanma miktarı gözle ayarlanarak artırılır yada azaltılır. Cala' nın saatte harcadığı hava 3-7 m<sup>3</sup> tür. Toplam enerji tüketimi ise maksimum 6.6 kW'tır. Malzemenin cihaz içerisindeki bir turu tamamlaması 45 sn sürmektedir. Numune masa yüzeyine geldiği zaman oluşan hava akımının etkisi ile hafif olan kömür, konsantre çıkış bölmesinden alınır. Ağır olan şist ise eşiklerden geçerek alt bölmeden alınır. Şekil 4.15'de Cala'nın konsantre ve artık çıkış bölümleri görülmektedir. Malzemenin beslenmeye başladığı zamandan yaklaşık 5 dakika sonra ürün alma ünitelerinden temiz kömür ve şist 5'er saniye beklenecek şekilde alınmaktadır. Şekil 4.14'te görüldüğü gibi numaralandırılmış bölümlerde 1. bölüm temiz kömür alım bölümü, 2. ve 3. bölümler ise şistlerin alındığı bölümlerdir. 4 numaralı bölümde ise sisteme hava sağlayan borular bulunmaktadır [18].



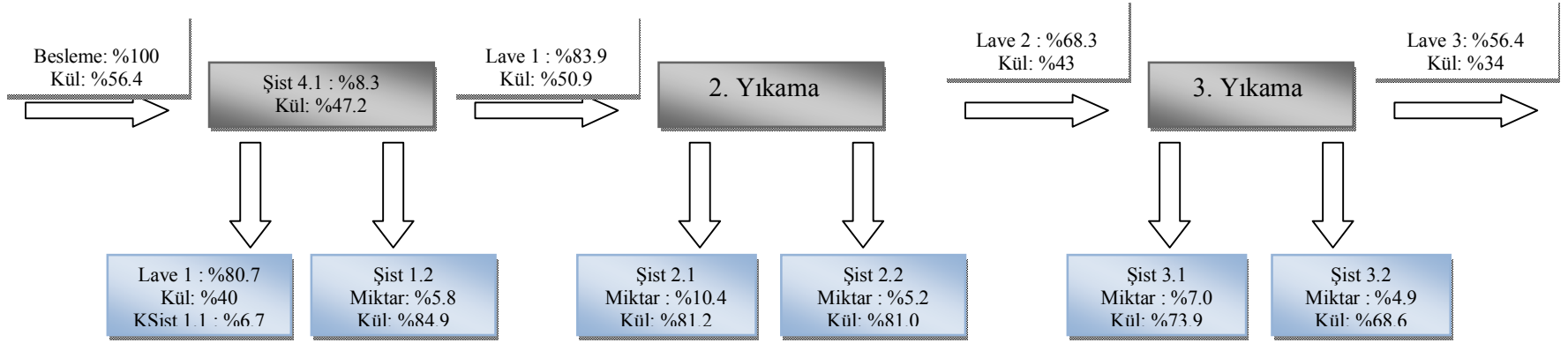
**Şekil 4.14:** Cala İnce Boyutlu Havalı Ayırıcı

Yukarıda özellikleri verilen CDF ayırıcısı kullanılarak uzman operatör tarafından ayarlanmış optimum çalışma şartlarında, -2 mm boyut grubundaki kömür numunesi kullanılmış ve deney sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir. CDF ile zenginleştirme deneylerinde öncelikle kaba ayırma ile yüksek küllü konsantre elde edilmiş ve elde edilen kaba konsantreler, Şekil 4.15’de gösterildiği gibi 3 aşamada temizlenmiştir. Çizelge 4.11’de gösterilen 1, 2 ve 3 nolu laveler temizleme aşamasından gelen ürünleri belirtmektedir.

**Çizelge 4.11 :** CDF Deneyi Sonuçları

Ürünler	Ağırlık %	Kül %	Kalorifik Değer Kcal/kg	Yanma Verimi %	Uçucu Madde Oranı %	Sabit Karbon Oranı %
Lave 1	83.9	50.9	3603.8	94.4	20.4	28.7
Şist 1	16.1	84.9	311.0	5.6	11.7	3.4
Beslenen	100.0	56.4	3073.6	100.0	18.9	24.6
Lave 2	68.3	43.0	4381.9	94.5	22.5	34.5
Şist 2	15.6	81.1	488.9	5.5	12.0	6.9
Beslenen	83.9	50.9	3658.0	100.0	17.6	29.3
Lave 3	56.4	34.0	5272.0	95.6	25.1	40.9
Şist 3	11.9	71.0	1451.4	4.4	15.4	13.6
Beslenen	68.3	43.0	4606.2	100.0	23.4	36.1

3. temizleme aşamasında elde edilen temiz ürün ve şist ürününün toplam kükürt değerleri; temiz ürün için %0.57 şist için % 0.46 olarak bulunmuştur.



**Son Ürünler**  
 Beslenen: %100  
 Beslenen Külü: %56.4  
 Lave: %56.4  
 Lave Külü %34  
 Şist : %43.6  
 Sist Külü: %80

Şekil 4.15: CDF Akım Şeması



Çizelge 4.11'den izleneceği üzere; kaba yıkama ve akabinde 2 kademe temizleme devresinde dahi temiz kömür külleri ancak %34 seviyelerine indirilmiştir. Yüzdürme batırma testleri sonucunda da fraksiyonlara bağlı olarak elde edilen parça kül eğrileri karşılaştırıldığında, tane boyutunun küçüldükçe parça kül eğrisi eğiminin arttığı ve ayırmanın zor olduğu ifade edilmiştir. CDF ile yıkama sonucunda, kül içeriklerinin %34 seviyelerine inmesi de bu boyut grubundaki malzemenin yıkanabilirlik karakteristiğinden kaynaklanmıştır. Ancak CDF ile yapılan yıkama sonunda çok yüksek kül içerikli şistlerin atılabilmesi söz konusu olmuştur. Yapılan yıkama işlemi sonucunda, beslenenin %43.6'sı %80 külle uzaklaştırılabilmiştir. CDF havalı ayırıcısının ayırma etkinliğinin kıyaslanması amacıyla 2mm altında sarsıntılı masa deneyleri yapılmıştır. Yaş sarsıntılı masa deney sonuçları Çizelge 4.12'de verilmiştir.

**Çizelge 4.12 : Yaş Sarsıntılı Masa Deneyi Sonuçları**

Ürünler	Ağırlık %	Kül, %	Kalorifik Değer Kcal/kg	Uçucu Madde Oranı, %
Lave 1	12.6	8.3	7720.7	30.0
Lave 2	17.5	11.0	7473.7	27.0
Mikst 1	24.2	49.0	3884.8	21.4
Şist 1	8.7	72.0	1201.9	13.8
Şist 2	26.1	86.0	479.5	9.5
Şist 3	10.9	87.0	136.9	10.0
Beslenen	100.0	53.0	3465.4	18.5

Çizelge 4.12'den izleneceği gibi; CDF havalı ayırıcı ile yapılan deneyde %56 ağırlıkta temiz kömür elde edilmiş ve kül içeriği %56'dan %34' e kadar düşürülmüştür. Yaş sarsıntılı masa ile yapılan ayırma sonucunda ise %30 ağırlıkta %10 kül içerikli temiz kömür elde edilmiştir. Atılan şist kalitesi açısından sarsıntılı masa ve CDF havalı ayırıcı benzer performans göstermiştir. Verim ve kül hatalarının karşılaştırılabilmesi açısından kül-verim grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir.





**Şekil 4.17:** Deneyleerde Kullanılan Manyetik Ayırıcı

-2+1 mm boyutlu kömür numunesinde farklı bant hızlarında yapılan deneylerde bant hızının 3.0 m/sn olduğu durumda %80 ağırlıkta kül içeriği %45 olan temiz kömür , bant hızının 5.5 m/sn olduğu durumda %67 ağırlıkta kül içeriği %36 olan temiz kömür, bant hızının 6.5 m/sn olduğu durumda ise %70 ağırlıkta kül içeriği %39 olan temiz kömür elde edilmiştir. Şekil 4.18’ de bant hızına bağlı olarak kömür numunesinin yanabilir verimleri verilmiştir.

**Çizelge 4.13 :** Ön Hazırlık Deneyleerine Göre -2+1 mm Boyutlu Kömür Numune İçin Farklı Bant Hızlarında Yapılan Manyetik Ayırma Deneyle Sonuçları

Bant hızı, m/sn	Ürünler	Ağırlık %	Kül %	Yanma Verimi, %
3.0	Lave	80.0	45.0	94.0
	Şist	20.0	86.0	6.0
	Beslenen	100.0	53.2	100.0
5.5	Lave	67.0	36.0	90.2
	Şist	33.0	86.0	9.8
	Beslenen	100.0	52.5	100.0
6.5	Lave	70.0	39.0	89.3
	Şist	30.0	83.0	10.7
	Beslenen	100.0	52.2	100.0
7.0	Lave	68.0	44.0	80.3
	Şist	32.0	71.0	19.7
	Beslenen	100.0	52.6	100.0

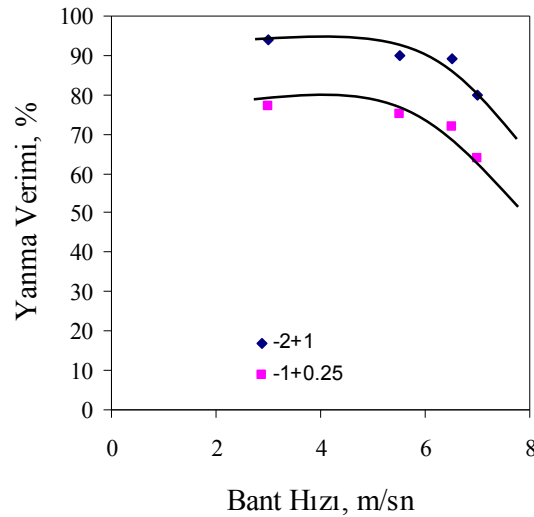
Ön hazırlık deneyleeri aynı zamanda -1+0.25 mm boyutlu kömür numunesi içinde yapılmıştır. Çizelge 4.14’te farklı bant hızlarına göre yapılan manyetik ayırma deneyle

sonuçları verilmiştir. Şekil 4.18’de ise farklı bant hızlarına bağlı olarak kömür numunesinin yanabilir verimleri verilmiştir.

**Çizelge 4.14 :** Ön Hazırlık Deneylerine Göre -1+0.25 mm Boyutlu Kömür Numunesi İçin Farklı Bant Hızlarında Yapılan Manyetik Ayırma Deney Sonuçları

Bant hızı, m/sn	Ürünler	Ağırlık %	Kül %	Yanma Verimi,%
3.0	Lave	52.0	33.0	77.4
	Şist	48.0	79.0	22.6
	Beslenen	100.0	55.0	100.0
5.5	Lave	48.0	31.4	75.8
	Şist	52.0	80.0	24.2
	Beslenen	100.0	56.6	100.0
6.5	Lave	60.0	47.0	72.6
	Şist	40.0	70.0	27.4
	Beslenen	100.0	56.2	100.0
7.0	Lave	62.0	55.0	64.1
	Şist	38.0	59.0	35.9
	Beslenen	100.0	56.5	100.0

Ön hazırlık deneylerine göre bant hızının 5.5 m/sn olduğu durumda %48 ağırlıkta %31.4 kül içerikli temiz kömür elde edilmiştir. Bu nedenle deneyler bant hızının 5.5 m/sn olduğu durumda yapılmıştır.



**Şekil 4.18:** Farklı Bant Hızlarının Yanabilir Verime Etkisi

## Manyetik Ayırma Deneyleri

Ön hazırlık deneyleri sonucunda belirlenen bant hızına göre -2+1 mm ve -1+0.25 mm boyut gruplarında deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları çizelge 4.15' te verilmektedir.

**Çizelge 4.15 :** Farklı Boyut Aralığındaki Malzemenin Manyetik Ayırma Deney Sonuçları

Boyut, mm	Ürünler	Ağırlık %	Kül %	Kalorifik Değer Kcal/kg	Uçucu Madde Oranı, %	Sabit Karbon Oranı, %
-2+1 mm boyutu	Şist 1	28.0	85.0	889.0	12.0	3.0
	Şist 2	12.0	82.0	998.0	13.0	5.0
	Şist 3	10.0	75.0	1256.0	15.0	10.0
	Lave	50.0	25.0	6097.9	27.0	48.0
	Beslenen	100.0	53.6	3442.7	20.0	26.5
-1+0.25 mm boyutu	Şist 1	53.0	78.0	1053.0	12.0	10.0
	Şist 2	8.0	58.0	2152.1	18.0	24.0
	Şist 3	7.0	60.0	2052.7	16.0	24.0
	Lave	32.0	20.0	6577.0	27.0	53.0
	Beslenen	100.0	56.5	2978.5	17.6	25.8

Farklı boyut gruplarına göre yapılan manyetik ayırma deneylerine göre -2+1 mm boyutunda %50 ağırlıkta kül içeriği %25 olan temiz kömür elde edilirken, -1+0.25 mm boyutunda %32 ağırlıkta kül içeriği %20 olan temiz kömür elde edilmiştir. Yanabilir verim hesaplandığında ise -2+1 mm boyutunda yapılan deneyde %71, -1+0.25 mm boyutunda yapılan deneyde ise %49 olarak bulunmuştur.

-0.25 mm boyutunda yapılan manyetik ayırma deneylerinde Carpco marka laboratuvar ölçekli Yüksek Alan Şiddetli tamburlu manyetik ayırıcı kullanılmıştır. Tambur hızı 0-300 rpm, tambur çapı:127 mm, tambur eni: 50 mm, kapasitesi ise 100 kg/saat' tir. Titreşimli besleme ünitesi mevcuttur. Tambur dönüş hızı manyetik alan şiddeti ve besleme hızı ayarlanabilmektedir. Üç farklı ürün alınabilmektedir. Çizelge 4.16'da 0.25 mm boyut aralığındaki malzemenin manyetik ayırma deney sonuçları Şekil 4.19'da ise deneylerde kullanılan manyetik ayırıcı verilmiştir.

**Çizelge 4.16 :** -0.25 mm Boyut Aralığındaki Malzemenin Manyetik Ayırma Deney Sonuçları

Ürünler	Ağırlık %	Kül %	Kalorifik Değer Kcal/kg	Uçucu Madde Oranı %	Sabit Karbon Oranı %
Şist 1	35.0	85.0	885.0	13.0	2.0
Şist 2	10.0	83.0	993.0	13.0	4.0
Şist 3	13.0	80.0	1099.0	11.0	9.0
Lave 1	22.0	24.0	6160.0	30.0	46.0
Lave 2	20.0	26.0	6055.0	29.0	45.0
Beslenen	100.0	58.9	3118.1	19.7	21.3



**Şekil 4.19:** Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırıcı

-0.25 mm boyutunda yapılan manyetik ayırma deneyinde %42 ağırlıkta %25 kül içerikli kalorifik değeri yaklaşık 6000 Kcal/kg olan temiz kömür elde edilmiştir.

#### **4.5 Boyut Küçültmenin Kuru Ayırmaya Etkisinin İncelenmesi**

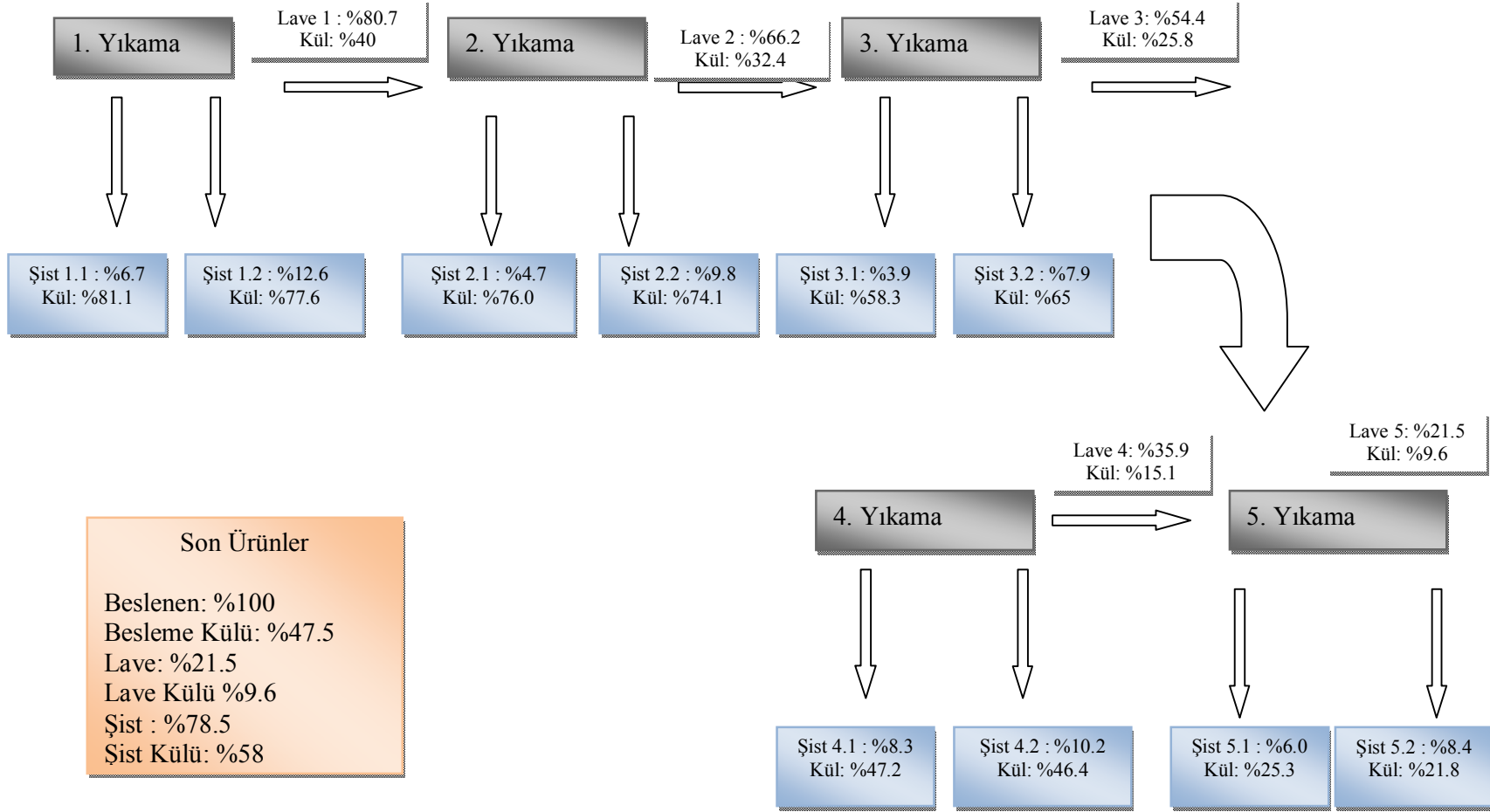
Boyut küçültmenin yıkanabilirlik üzerindeki etkisini görebilmek ve ayrıca havalı jig ile CDF havalı ayırıcının performansını karşılaştırmak amacıyla, -20+2 mm boyut grubundaki kömür numunesi 2 mm altına kırılmış ve CDF cihazına beslenmiş ve ayırma tabii tutulmuştur. Bu ayırmada elde edilen kaba konsantreler sürekli olarak sisteme geri beslenerek temizlenmiş ve temizleme işlemi 4 kez tekrarlanmıştır. Boyut

küçültme sonrasında CDF ayırıcıda gerçekleştirilen ayırma sonucunda elde edilen ürünlerin özellikleri Çizelge 4.17’de verilmiştir.

**Çizelge 4.17 :** -20+2 mm Boyutundaki Malzemenin 2 mm Altına Kırılarak Yapılan Cala Havalı Ayırıcı Denei Sonuçları

Ürünler	Ağırlık, %	Kül,%	Yan.Verim, %
Lave 1	80.7	40.0	92.0
Şist 1.1	6.7	81.1	2.70
Şist 1.2	12.6	77.6	5.3
Beslenen	100.0	47.5	100.0
Lave 2	66.2	32.4	92.5
Şist 2.1	4.7	76.0	2.5
Şist 2.2	9.8	74.1	5.0
Beslenen	80.7	40.0	100.0
Lave 3	54.4	25.8	90.2
Şist 3.1	3.9	58.3	6.0
Şist 3.2	7.9	65.0	3.80
Beslenen	66.2	32.4	100.0
Lave 4	35.9	15.1	75.5
Şist 4.1	8.3	47.2	13.0
Şist 4.2	10.2	46.4	11.5
Beslenen	54.4	25.8	100.0
Lave 5	21.5	9.6	63.8
Şist 5.1	6.0	25.3	19.0
Şist 5.2	8.4	21.8	17.2
Beslenen	35.9	15.1	100.0

Çizelge 4.17’de görüldüğü gibi, 2 mm altına kırılmış malzemenin CDF ile yıkanmasında, kaba ayırma devresinde elde edilen %40 kül içeriğine sahip konsantre temizleme aşamalarından geçerek kül içerikleri 3. temizleme sonunda %15.1 ve 4. temizleme sonunda ise %9.6 ya düşürülmüştür. 5. Kademe temizleme aşamasında elde edilen temiz ürünün kalorifik değeri; 8525 Kcal/kg, uçucu madde oranı; %33 ve toplam kükürt değeri % 0.61 olarak bulunurken, bu temizleme aşamasında elde edilen şist ürününün kalorifik değeri; 6018 Kcal/kg, uçucu madde oranı; %30ve toplam kükürt değeri % 0.63 olarak bulunmuştur. Şekil 4.20’de deneye ait akım şeması, elde edilen lave ve şiste ait mikroskop görüntüleri ise Şekil 4.20 ve 4. 21’de verilmiştir.

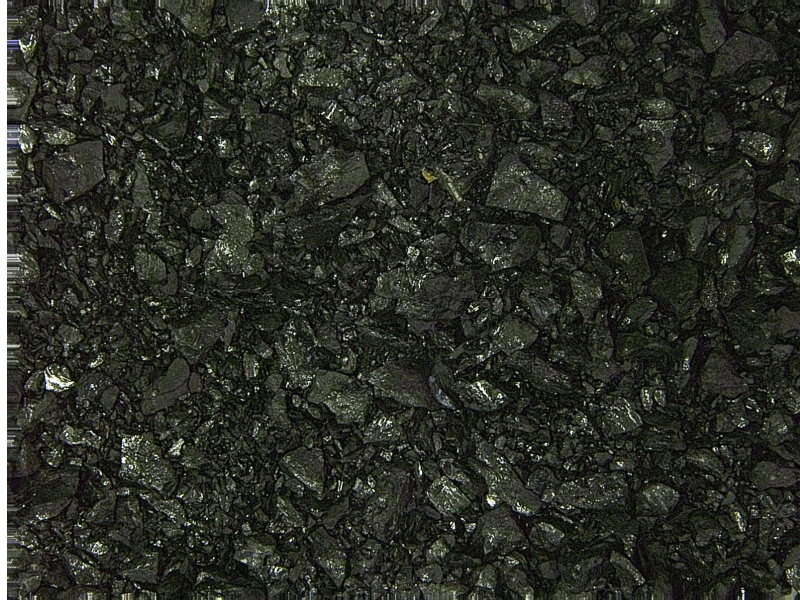


Şekil 4.20: CDF Akım Şeması





**Şekil 4.21:** CDF Şist Ürününün Mikroskoptaki Görünümü

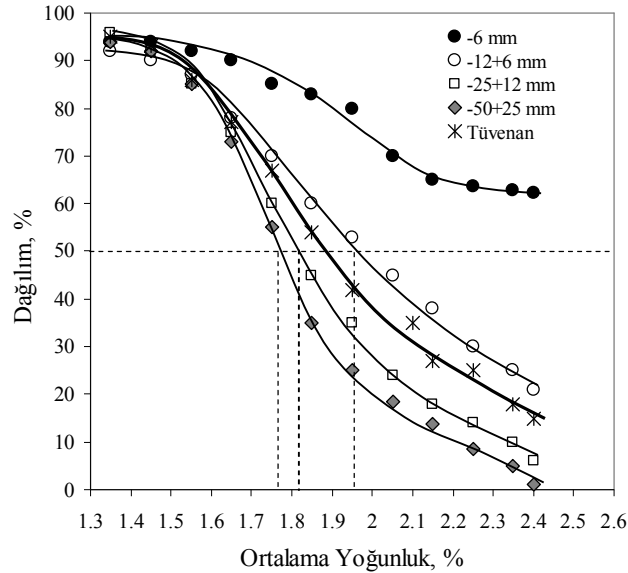


**Şekil 4.22:** CDF Lave Ürününün Mikroskoptaki Görünümü



## 5. YORUMLAR ve ÖNERİLER

Ocaktan üretildiği şekilde herhangi bir boyut küçültme işlemi olmadan (kömür proseslerinde genellikle boyut küçültme istenmez) yıkama devresine giden kömürler, genellikle iri boyutlarda statik ağır ortam (-150 mm), Baum ya da Batac jigleri (-150+1 mm), orta boyut gruplarında ağır ortam siklonları (kabaca -30 mm) ve ince boyutlarda (-1 mm) spiral veya sarsıntılı masalarda zenginleştirilmektedir. Kuru zenginleştirmede ise iri boyutlarda FGX (-150 mm), orta boyutlarda Allair Jigi (-50+6 mm), ince boyutlarda ise sallantılı masa veya CDF tipi havalı ayırıcılar (-6 mm) kullanılmaktadır. Kömür dağılımı içerisindeki -6.0 mm boyut grubu önemli olmakta ve her ne kadar FGX için çalışma boyutu -150 mm gösterilse dahi bu ayırıcılarda kömür içerisindeki -6 mm boyut grubunun %10'u aşmaması istenmektedir. Bunun sebebi ise 6 mm altındaki kömürün bu cihazlarla ayrımı oldukça zor olmasıdır (Rittinger tarafından önerilen çökme oranı formülü ile daha önce açıklanmıştı). Şekil 5.1, boyut gruplarına bağlı olarak FGX cihazında ulaşılan ayırma yoğunluklarını göstermektedir [13].

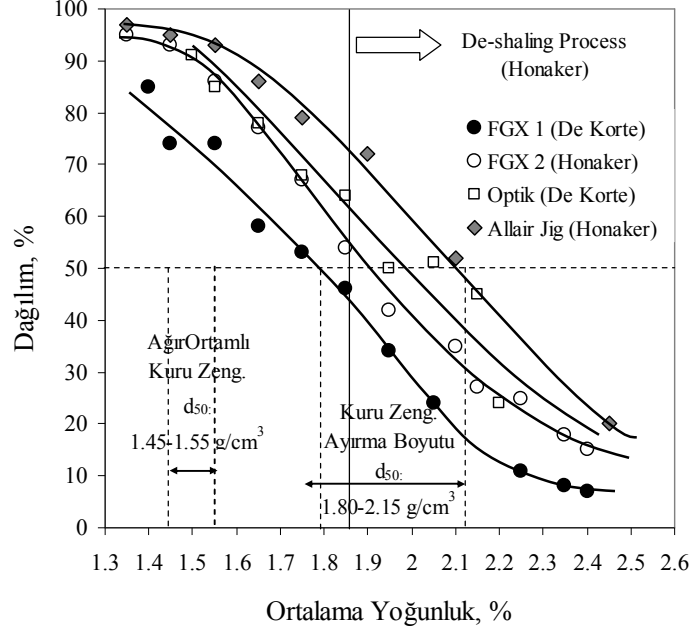


**Şekil 5.1 :** Boyut Fraksiyonlarına Bağlı Olarak FGX Cihazında Ulaşılan Ayırma Yoğunlukları

Dolayısıyla bu yüksek lisans tez çalışmasında -20 mm olan kömür numunesi, tek bir cihazda ayırmak yerine, -20+2 mm ve -2 mm olmak üzere 2 boyut grubuna ayrılmış ve iri boyut grubunda Allair havalı jigi ince boyutlarda ise daha önce bu boyutlarda etkin çalıştığı ispatlanan CDF cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Allair jigi ile işlemlerde temiz kömür kül içerikleri en iyi şartlarda %20 seviyelerine getirilmiş ve bu şartlarda yanabilir verim %68 seviyelerinde kalmıştır. Atılan şistin kül içerikleri ise %69-70 seviyelerinde olmuştur. Bu durum boyutun iri olmasından dolayı yeterli serbestleşmenin sağlanamamasından kaynaklanmış olabilir. Bu durumda -20+2 mm boyut grubundaki malzemenin -20+10, -10+4, -4+2 mm boyut gruplarında ayrı ayrı yıkama işlemine girmesi önerilmektedir. Nitekim kuru gravite yöntemlerinin uygulanmasında genellikle 2:1 boyut oranının korunması son derece önemlidir. Yaş yöntemlerde ise bu oran 4:1 seviyelerindedir. Şekil 5.1’de gösterildiği gibi, boyut aralığı arttıkça ayırma yoğunluğu düşmektedir. Kömürü orjinal boyut dağılımı ile fraksiyonlara ayırmadan besleme durumunda ayırma yoğunluğu yüksek değerlerde seyretmektedir. Oysa fraksiyonlara ayrıldığında, iri fraksiyonlar için daha düşük ayırma yoğunlukları elde edilebilmektedir. Bu sebeple, tüvenan kömürün direkt olarak beslenmesi yerine dar boyut gruplarında beslenmesi düşük ayırma yoğunluklarına ulaşılması açısından önemlidir.

Taşkömürü ve linyitler üzerinde bugüne kadar yapılmış olan çalışmalar sonucunda genel olarak kuru zenginleştirme işleminin nihai temiz kömür alımından ziyade temiz bir şist atımına yönelik proses olduğunu göstermektedir. Nitekim Şekil 5.2’de gösterildiği üzere, yaş zenginleştirmede  $1.45-1.55 \text{ gr/cm}^3$  olan ayırma yoğunlukları, klasik kuru zenginleştirme cihazları uygulandığında  $1.80-2.15 \text{ gr/cm}^3$  seviyelerine çıkmaktadır [13].



**Şekil 5.2 : Kuru Zenginleştirme Cihazlarının Ayırma Yoğunlukları**

Kuru zenginleştirme işleminde gözlemlenen yüksek ayırma yoğunluğu ancak ağır ortam kullanılması ile yaş zenginleştirmedeki seviyelere getirilmektedir. Nitekim Honaker ve arkadaşları kuru zenginleştirme işlemi sırasında oluşan ayırma yoğunluklarında sadece şistin atılabildiğini vurgulamaktadır (De-shaling process) [13]. Ancak atılan şistin miktarı da bu zenginleştirmenin önem derecesini doğrudan etkilemektedir. Üretim sonrasında, maden sahasından yıkama tesisine nakliye öncesinde kabul edilebilir oranda şistin atılması kömür üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden Zonguldak bölgesi taşkömürünün zenginleştirilmesinde her ne kadar tatmin edici oranda ve kalitede temiz kömür alınmasa da atılan şistin miktarı %40-50 seviyelerinde ve yaklaşık %80 kül içeriğinde olmaktadır.

Bu durumda, üretim sahası ile yıkama tesisi arasında genel olarak 10-15 km/lik bir mesafe olduğu, yakıt maliyetlerinin 0.75 TL/ton\*km olduğu ve yıllık üretimin de 1 milyon ton olduğu baz alınır; yaklaşık 0.5 milyon tonu üretim sahasında elenmiş olacaktır.

Eğer;

Üretim yer ile tesis arasındaki mesafe 15 km,

Yakıt maliyeti 0.75 TL/ton\*km

Olarak kabul edilirse, bu durumda nakliyeden elde edilecek yıllık tasarruf;

500.000 ton\*0.75 TL\*30 km (Gidiş-geliş)=11.250.000 TL

Kuru zenginleştirme işletme maliyeti 0,75 TL/t

$1.000.000 \times 0.75 \text{ TL} = 750.000 \text{ TL}$

Kuru zenginleştirmede hatalı ayırma sonrasında kömürün %10'unun hatalı ayrıldığı ve şiste karıştığı düşünülürse, Kömür fiyatı da 100 TL alınırsa

kömür kaybı=  $100 \text{ TL} \times 500.000 \text{ ton} \times 0.1 (\% 10) = 5.000.000$

Yıllık Kazanç= Nakliyede tasarruf-Kuru zenginleştirmedeki İşletme Maliyeti-Kuru Zenginleştirmedeki Kömür Kayıpları Maliyeti

Yıllık Kazanç=  $11.250.000 - 750.000 - 5.000.000 = 5.500.000 \text{ TL/yıl}$

Yani yılda 1 milyon ton kömür üretimi yapan bir şirket, ürettiği kömürün % 50'sini %80 kütle üretim sahasında atarsa, 0.5 milyon ton malzemeyi gereksiz yere yıkama tesisine taşımamış olacak ve bu durumda yıllık karı 5.500.000 TL olacaktır. Bu kar oranı içerisinde, nihai yıkama tesisinde su kullanımının da yarı yarıya düşeceği (genellikle jig ile ayırmada ton başına 200 litre su kullanılmaktadır) düşünülürse kar oranının daha da artması söz konusu olacaktır.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında uygulanan kuru zenginleştirme cihazları içerisinde, kabul edilebilir oranda yanma verimlerini sağlayacak şekilde çok düşük kül oranına sahip temiz kömür ürünleri alınmasa da, atılabilir artık yönünden kuru zenginleştirme cihazlarının iyi bir performans sergilediği saptanmıştır. Temiz kömür kalitesini arttırmak için, zenginleştirme cihazına beslenen malzemenin boyut oranının iyi ayarlanması ve 2:1 oranında tutulması önerilmektedir. Bununla birlikte 6 mm altındaki kömürün daha efektif şekilde yıkanması için çalışma parametrelerinin sık aralıklarda denenmesi de faydalı olacaktır.

Günümüzde gelişen yeni teknoloji ile sadece serbest taşların atılması bile termik santraller için büyük fayda sağladığından, kuru zenginleştirme yöntemleri tekrar önem kazanmaya başlamıştır. Küresel ısınmanın olumsuz sonuçlarından biri olan susuzluk probleminin her geçen gün sıkıntı yarattığı, dünyadaki su kaynaklarının azalmaya başladığı düşünülürse gelecekte kuru yöntemlere ilgi daha da artacaktır.

## 6. SONUÇLAR

1) Zonguldak Bölgesi'nden alınan ve yüksek lisans tez çalışmasında deney numunesi olarak kullanılan taş kömürü üzerinde öncelikle yaş elek analizi yapılmıştır. Elek analizi yapılan cevherin her bir fraksiyondaki kül içerikleri bulunmuştur. Yapılan analizler sonucunda tüvenan kömürün kül içeriği %47.3, kalorifik değeri 4400 Kcal/kg olarak bulunmuştur. Yıkanabilirlik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yüzdürme-batırma deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalara göre kömür numunesinin orta güçlükte yıkanabilir bir malzeme olduğu anlaşılmıştır.

2) Havalı jig ile yapılan deneylerde farklı rotary gate hızlarında elde edilen konsantre ve artığın kül içeriklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu, rotary gate hızı değişiminin de temiz ürün kalitesini çok fazla etkilemediği görülmüştür. En uygun rotary gate hızının 10 rpm olduğu belirlenmiştir. Rotary gate hızının 10 rpm olduğu durumda ise kül içeriği %20.6, kalorifik değeri 6447 Kcal/kg olan temiz kömür elde edilmiştir.

3) Optik Zenginleştirme deneyinde numuneden konsantre ve artığı temsil eden iri boyutlu parçalar seçilmiştir. Konsantre ve artık olarak seçilen numunelerin resimleri çekilerek cihaza konsantre ve artık olarak tanıtılmıştır. Optik ayırma için numune seçiminde konsantre ve artık gözle ayırt edilebilirken çekilen fotoğraflarda konsantre ve artık arasında bir fark görülebilmiştir. Numuneler bant vasıtasıyla beslenmiştir. Ancak cihaz konsantre ve artığı aynı numune olarak algıladığından konsantre ve artıklar aynı hücrede toplanmışlardır. İri boyutta yapılan optik ayırma işlemi şist ve kömürlerin yıkandıklarında dahi renklerinin birbirine çok yakın olması dolayısıyla mümkün olmamıştır. Optik ayırma işleminin genellikle aralarında bariz renk farkı olan minerallerin ayrılmasında kullanımı çok daha doğru olacaktır.

4) Manyetik ayırma ile zenginleştirmede malzeme -2+1 mm , -1+0.25 mm ve -0.25 mm olmak üzere üç farklı boyut grubuna ayrılarak deneyler yapılmıştır. Öncelikle farklı bant hızlarında ön hazırlık deneyleri yapılarak ideal şartlarda bant hızının belirlenmesi hedeflenmiştir. İnce boyutta yapılan manyetik ayırma işlemi ise gravite ayırma işleminden çok farklı kuvvetlerle (Manyetik duyarlık) gerçekleştirilmektedir.

Kullanılan manyetik ayırıcıda,manyetik duyarlılığa ilave olarak; serbest düşme, merkez kaç kuvveti ve gravite kuvvetleri de ayırmada etkendir. -2+1 mm boyutundaki numune ile yapılan deneyde %25 kül içerikli, kalorifik değeri 6098 Kcal/kg olan temiz kömür elde edilirken -1+0.25 mm boyut aralığında yapılan deneyde ise %20 kül içerikli temiz kömür elde edilmiştir. -0.25 mm boyut aralığında yapılan deneyde ise %24 kül içerikli kalorifik değeri 6160 Kcal/kg olan temiz kömür elde edilmiştir.

5) Cala Kuru Havalı Ayırıcı (CDF) ile yapılan zenginleştirme deneylerinde 2 mm altındaki kömür numunesi kullanılmıştır. CDF ile yapılan deneylerde kül içeriklerinin %34 seviyelerine inmesi bu boyut grubundaki malzemenin yıkanabilirlik karakteristiğinden meydana geldiği düşünülmektedir. Ancak, yine de temiz şist atılması yönünden CDF sisteminin etkin olduğu ve malzemenin %43.6'sının %80 kütle atılabilmesi açısından önemli bir ayırıcı olduğu tespit edilmiştir.

6) Boyut küçültmenin yıkanabilirlik üzerindeki etkisini görebilmek ve ayrıca havalı jig ile CDF havalı ayırıcının performansını karşılaştırmak amacıyla, -20+2.0 mm boyut grubundaki kömür numunesi 2 mm altına kırılmış ve CDF cihazına beslenmiş ve ayırma tabii tutulmuştur. 4 aşamada gerçekleştirilen temizleme işlemi sonunda kül içeriği %9.6, kalorifik değeri 8525 Kcal/kg olan temiz kömür elde edilmiştir.

7) Kuru zenginleştirme ile elde edilen sonuçları kıyaslamak amacı ile sulu ortamda sallantılı masa ve jig deneyleri yapılmıştır. Sarsıntılı masa ile zenginleştirmede %30 ağırlıkta kül içeriği %10 olan temiz kömür elde edilirken, jig ile zenginleştirmede %38 ağırlıkta kül içeriği %20 olan temiz kömür elde edilmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Kemal, M.**, 1991. Linyit kömürü değerlendirilmesi ve kullanımında Kömür Özelliklerinin Etkileri, Önal, G., Atesok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, YMGV, 270-282s
- [2] **D.P.T.**, 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Enerji Hammaddeler Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu. Ankara DPT:2605-ÖİK:616.
- [3] **TSAİ**, 1982. S.C., Fundamentals of Coal Beneficiation and Utilization, Elsevier, New York.
- [4] **Gökceğül G.** , 2007. Linyit Komuru Ara Urunun Flotasyon ile Zenginleştirilmesinin Arastirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Adana.
- [5] TKİ Genel Müdürlüğü Kömür Sektörü Raporu (Linyit), Ankara, 2009
- [6] <html://www.tki.gov.tr>, alındığı tarih 19.12.2009
- [7] Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü Sektör Raporu, (Taşkömürü), Mayıs, 2009.
- [8] **Atesok, G.**, 2009. Kömür Hazırlama ve Teknolojisi
- [9] **Özder A., Yörükoğlu M.**, Genel Enerji Politikaları İçinde Kömürün Yeri
- [10] **Arslan V.**, Kuru Komur Zenginleştirme Yontemleri , Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Bölümü, MADENCİLİK, Cilt 45, Sayı 3, Sayfa 9-18, Eylül 2006
- [11] **Van Houwelngen, J., Tako P.R de Jong** , Dry Cleaning of Coal: Review, Fundamentals and Opportunties
- [12] **Gülsoy Ö., Ergün L.**, Kuru Kömür Zenginleştirme Yöntemleri, Hacettepe Üniversitesi, 2007.
- [13] **Honaker, R.**, 2007. Coarse Dry Coal Cleaning, Workshop on Coal Beneficiation and Utilization of Rejects; Initiatives, Policies and Best Practices, Ranchi, India.
- [14] **C.H. Sampaio, W. Aliaga, E.T. Pacheco, E. Petter and H. Wotruba**2006. Coal beneficiation of Candiota mine by dry jigging, Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil and Technical University of Aachen, Germany
- [15] **Gongmin, L., Yunsong, Y.**, 2006. Development and application of FGX series compound dry Coal Cleaning System

- [16] **Oder, R.R, 2002**; An Evaluation of the AlphaPrototype MagMill™ for Dry Coal Cleaning”,Coal Preparation, **22**, 323–341. “
- [17] **Oder, R. R., Jamison R. E., ve E. D. Brandner**, 2000; “Dry Coal Cleaning with a Magmill”, SME Annual Meeting, Feb. 28-Mar. 1, Salt Lake City,Utah
- [18] **Weitkamper, L., Wotruba, H.**, Development and Performance of a New Seperator for the Dry Gravity Seperation of Fines, Technical University of Aachen, Germany
- [19] **Patil, D.P**, Development of dry fine coal processing technique, University of Kentucky

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Günser Güldan

**Doğum Yeri ve Tarihi:** İstanbul- 11.03.1983

**Lisans Üniversite:** Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

**Bitirme Tezi:** X-Ray Filmlerinden ve X-Ray Filmi Banyo Atık Çözeltilerinden Gümüşün Kazanımı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği, Cevher Hazırlama Ana Bilim Dalı

