



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONYA BÖLGESİNDEKİ LİNYİTLERİN YIKANABİLİRLİĞİ VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Şerife GÖKÇE ERDOĞAN

YÜKSEK LİSANS

OCAK, 2014

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Şerife GÖKÇE (ERDOĞAN)

Tarih: 19.02.2014

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONYA BÖLGESİNDEKİ LİNYİTLERİN YIKANABİLİRLİĞİ VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Şerife GÖKÇE ERDOĞAN
Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK

2014, 108 Sayfa

Jüri
Yrd. Doç. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK
Doç. Dr. Fetullah ARIK
Yrd. Doç. Dr. Ali ARAS

Bu çalışmada, Konya yöresinde bulunan linyit kömür damarlarının yıkanabilme özellikleri belirlenmiştir ve elde edilen bu verilerle de kullanılabilecek yıkama yöntemleri araştırılmıştır. Bunun için 100'er kg'lık numuneler; Ermenek (Karaman), Bayavşar (Bayavşar-Konya) ve Ilgın (Konya)'dan temin edilmiştir ve öncelikle Selçuk Üniversitesi laboratuvarına getirilerek, çok büyük boyutlu taneler elde kırma yöntemiyle istenilen boyuta getirilmiştir. Daha sonra eleme yöntemiyle -10+6,4 cm, -6,4+3,2 cm, -3,2+1,6 cm, -1,6+0,8 cm, -0,8+0,4 cm, -0,4+0,2 cm tane boyutlarında fraksiyonlara ayrılmıştır. Kömür zenginleştirme öncesi ve sonrası farkı karşılaştırabilmek için, ayrılan tüm numunelerden kimyasal analiz için küçük birer numune alınıp öğütülerek kimyasal analize tabi tutulmuştur. Diğer yandan; fraksiyonlara ayrılmış bütün numunelere ağır ortam zenginleştirme yöntemi uygulanmıştır. Bu işlem sonrası neminden de arındırılmış olan kömürlere tekrar kimyasal analiz uygulanmış ve aradaki fark karşılaştırılmıştır. Ayrıca tüvenan kömür örneklerinin termogravimetrik analizleri de gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: linyit, ağır ortam, kömür yıkanabilirliği, TGA

ABSTRACT

MSc THESIS

DETERMINATION OF WASHABILITY AND THERMAL PROPERTIES OF LIGNITES FROM KONYA REGION

Şerife GÖKÇE ERDOĞAN
THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assist.Prof.Dr. Tevfik AĞAÇAYAK

2014, 108 Pages

Jury
Assist.Prof.Dr. Tevfik AĞAÇAYAK
Assoc. Prof. Dr. Fetullah ARIK
Assist.Prof.Dr. Ali ARAS

In this study; the coal washing characteristics of the lignite coal seams in Konya region was conditioned and employable coal washing methods was investigated through data which was obtained from the tests. About 100 kg of samples were obtained from Ermenek, Beyşehir- Bayavşar and Ilgın-Çavuşçugöl regions and these samples were brought to Selcuk University laboratory firstly and by breaking very large grains desired size has been obtained. Then, -10+6,4 cm, -6,4+3,2 cm, -3,2+1,6 cm, -1,6+0,8 cm, -0,8+0,4 cm and -0,4+0,2 cm grain size fractions were achieved. In order to compare the difference in the behavior of coal before and after beneficiation, small samples gained by milling were separated in order to use in chemical analyses. On the other hand, fractionated heavy media beneficiation method was applied to all samples. After this process also chemical analyses were applied to moisture-free coal and the difference was compared again. also thermo-gravimetric analyses of original coal samples were done.

Keywords: Lignite, heavy media, coal washing, TGA

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada çok zorlanmama rağmen; bu zorlukları en asgari düzeyde aşmama yardımcı olan, tezimin bütün aşamalarında yanımda olan ve engin bilgilerinden yararlanmamı sağlayan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Tevfik AĞAÇAYAK'a, kömür üzerine yaptığım laboratuvar çalışmalarında kömürle ilgili eşsiz bilgilerinden yararlandığım sayım hocam Yrd. Doç. Dr. Ali ARAS'a, TGA cihazını kullanmamda, bu cihaz üzerinde yaptığım deneylere yardımcı olan ve hep yanımda olan Yrd. Doç. Dr. Hakan ÖZŞEN'e, çalışmanın başından sonuna kadar maddi manevi yardımlarını hiç eksik etmeyen, laboratuvar sorumlusu sayın İbrahim KÜÇÜK'e, Ilgın Kömür İşletmelerinde çalışmakta olan ve oradaki kömür numunelerini almak için gerek kepçeyle kömür damarından numune alımı, gerekse paketlenip getirilmesi ve analizlerinin yapılması aşamasında yardımcı olan sırasıyla sayın Mustafa ASLAN'a, Abdülkerim ŞEHNAZ'a, Yüksel ÇİFTÇİ'ye ve özellikle İbrahim TANIŞ'a, Beyşehir kömür numunelerini üniversite laboratuvarına getirmemde yardımı dokunan Volkan KARAKOLCU'na, Ermenek kömür numunelerini elde etmemde ve bugünlere gelmemde de çok büyük emeği bulunan sevgili abim Ahmet Erdal GÖKÇE'ye, iyi günde kötü günde bütün özverilerini kullanarak beni bugüne gelene kadar yetiştiren ve eğiten, araştırmalarım sırasında da manevi olarak yanımda olan annem Keziban GÖKÇE, babam Abdullah GÖKÇE'ye, ablalarım Nurgül YEŞİLDAĞ ve Sabriye YORULMAZ'a, eşsiz kişiliğiyle her şekilde yanımda olan tezi yazma aşamasında bana müthiş sabır göstererek fazlasıyla yardımı dokunan hayat arkadaşım, eşim Erdem ERDOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunar, minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Şerife GÖKÇE ERDOĞAN
KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET…… iv

ABSTRACT……... v

ÖNSÖZ…….. vi

İÇİNDEKİLER……. vii

SİMGELER VE KISALTMALAR……. xiv

GİRİŞ……. 1

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI…….. 3

2.1.Kömürle İlgili Genel Bilgiler…….. 3

2.1.1. Kömürün tanımı ve oluşumu …….. 3

2.1.2. Kömürlerin sınıflandırılması……... 4

2.1.3. Kömürlerin kimyasal özellikleri…… 4

2.1.3.1. Kömürün oksidasyonu……... 5

2.1.3.2. Kömürün damıtılması…… 5

2.1.3.3. Hidrojenasyon…… 5

2.1.3.4. Koklaşma……... 5

2.1.3.5. Çözücülerde erime……... 6

2.1.4. Kömürlerin petrografik özellikleri……. 6

2.1.5. Kömürlerin fiziksel özellikleri……... 7

2.1.5.1. Rutubet…….. 7

2.1.5.2. Strüktür ve kırılma…… 7

2.1.5.3. Sertlik…… 7

2.1.5.4. Mukavemet……... 7

2.1.5.5. Tane boyutu dağılımı…… 8

2.1.5.6. Öğünebilirlik……. 8

2.1.5.7. Özgül ağırlık …… 8

2.1.5.8. Açık havada dağılganlık……... 8

2.1.5.9. Aşındırıcılık…….. 8

2.1.5.10. Renk ve çizgi rengi…….. 9

2.1.5.11. Parlaklık…….. 9

2.1.6. Kömürün kullanım alanları…….. 9

2.1.6.1. Kömürün termik santrallarda kullanımı…… 9
2.1.6.2. Kömürün çimento sanayiinde kullanımı……... 10
2.1.6.3. Şeker sanayiinde kömür kullanımı……..... 10
2.1.6.4. Tuğla, seramik ve diğer sanayi kollarında kömür kullanımı…… 10
2.1.6.5. Kömürlerin gübre olarak kullanımı…….. 10
2.1.6.6. Kömürün ev yakıtı olarak kullanımı……... 11
2.1.6.7. Kömürün kimyasal hammadde olarak kullanımı…….. 12
2.1.6.8. Kömür atıklarının kullanımı…… 12
2.2. Kömür Hazırlama ve Zenginleştirme…… 13
2.2.1. Tüvenan kömürün hazırlanması……. 13
2.2.2. Kömürün zenginleştirilmesi……... 14
2.2.2.1. Yaş zenginleştirme yöntemleri……. 14
2.2.2.1.1. İri kömür zenginleştirme yöntemleri……... 14
2.2.2.1.1.1. Ağır Ortam Ayırması…….. 14
2.2.2.1.1.2.Ağır Ortam Siklonları…….. 18
2.2.2.1.1.3.Jigler…… 19
2.2.2.1.2. İnce kömür zenginleştirme yöntemleri…… 20
2.2.2.1.2.1.Oluklar……. 21
2.2.2.1.2.2.Kömür flotasyonu…… 21
2.2.2.2. Kuru zenginleştirme yöntemleri……... 25
2.2.2.2.1.Ayıklama……... 25
2.2.2.2.1.1.Elle Ayıklama…….. 25
2.2.2.2.1.2.Elektronik kömür seçicileri……. 26
2.2.2.3. Kömür zenginleştirme tesisleri akım şemaları…….. 26
2.2.3. Kömürün susuzlandırılması……. 27
2.2.3.1. Kömür susuzlaştırma yöntemleri…….. 28
2.2.3.1.1. Elekler…….. 29

2.2.3.1.2. Santrifüjler…….. 31
2.2.3.1.2.1.Tüp tipi santrifüjler…….. 31
2.2.3.1.2.2.Sepet tipi santrifüjler…… 32
2.2.3.1.2.3.Konveyör tip santrifüjler…….. 33
2.2.3.1.2.4.Disk tipi santrifüjler……. 33
2.2.3.1.3. Hidrosiklonlar…….. 34
2.2.3.1.4. Filtreler…… 34
2.2.3.1.4.1. Döner tambur filtre…… 35
2.2.3.1.4.2. Döner diskli filtre…… 36
2.2.3.1.4.3. Bantlı filtreler…….. 37
2.2.3.1.4.4. Basınç tipi filtreler…….. 37
2.2.3.1.5. Tikinerler……. 38
2.2.4. Kömürün kurutulması……. 39
2.2.4.1. Kömür kurutma sistemleri……... 39
2.2.4.1.1. Döner kurutucular……..... 39
2.2.4.1.2. Akışkan yataklı kurutucular……. 40
2.3. Kömürün Yıkanabilirliği…… 41
2.3.1. Kömürün yıkanabilme özelliği……. 41
2.3.2.Kömür yıkama eğrilerinin değerlendirilmesi……. 42
2.3.2.1 Yıkama eğrileri…….. 42
2.3.2.2. Mayer eğrisi…….. 45
2.4. Termogravimetrik Analiz ve Kömüre Uygulaması……... 46
2.4.1. Genel……. 46
2.4.2. Isıl analiz……... 46
2.4.2.1. Numunenin ısıl analiz için hazırlanması……... 47
2.4.3. Termogravimetri ve Diferansiyel (Türevsel) Termogravimetri…… 47
2.4.4. TG ile DTG‘nin kömüre uygulanması…….. 49

2.4.5. Kömürde termogravimetrik analiz uygulamaları…….. 50

3. DENEYLERDE KULLANILAN KÖMÜRLERİN BÖLGESEL JEOLOJİSİ VE COĞRAFİ DURUMU…….. 54

3.1. Konya – Bayavşar Kömür Havzası……... 54

3.1.1. Genel jeoloji……. 54

3.2. Konya (Ilgın)-Çavuşçugöl kömür havzası…… 55

3.3. Ermenek kömür ocağı……... 56

3.3.1. Ermenek linyit havzasının jeolojik yapısı…… 56

4. MATERYAL VE METOD…….. 58

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR…….. 60

5.1. Beyşehir– Bayavşar kömürüne ait ağır ortam zenginleştirme sonuçları…….. 60

5.2. Ilgın-Çavuşçugöl kömürüne ait ağır ortam zenginleştirme sonuçları……... 67

5.3. Ermenek-Karaman kömürüne ait ağır ortam zenginleştirme sonuçları…… 74

5.4. Zenginleştirme Öncesi ve Sonrası Kimyasal Analiz Değerleri…… 81

5.4.1. Beyşehir-Bayavşar kömürüne ait zenginleştirme öncesi ve sonrası kimyasal analiz değerleri…….. 81

5.4.2. Ilgın-Çavuşçugöl kömürüne ait zenginleştirme öncesi ve sonrası kimyasal analiz değerleri…….. 82

5.4.3. Ermenek-Karaman kömürüne ait zenginleştirme öncesi ve sonrası kimyasal analiz değerleri…….. 84

5.5. Kömür Örneklerinin Termogravimetrik Özelliklerinin Belirlenmesi…… 86

6.SONUÇLAR……... 90

KAYNAKLAR…….. 92

ÖZGEÇMİŞ…….. 94

ŞEKİLLER DİZİNİ

No Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye kömür havzaları ve potansiyel uygulamaları haritası…….. 4
Şekil 2.2. Ağır ortam ayırması ile zenginleştirme akım şeması…… 15
Şekil 2.3. Tekne (oluk) tipli ve iki ürünlü Dutch State Mines tekne yıkayıcısı……. 16
Şekil 2.4. Wemco ağır ortam tamburu……... 16
Şekil 2.5. Teska yıkayıcısı……. 16
Şekil 2.6. Drewboy Ayırıcısı……. 17
Şekil 2.7. İki ürün alınan Larcodem ayırıcısı…….. 18
Şekil 2.8. Üç ürün alınan Larcodem ayırıcısı…… 18
Şekil 2.9. Dynawhirlpool ayırıcısı……. 19
Şekil 2.10. Baum jigi……. 20
Şekil 2.11. Batak jigi…….. 20
Şekil.2.12. Titreşimli spiral…… 21
Şekil 2.13. Kolon flotasyonu……. 23
Şekil 2.14. Pennsylvania kömür zenginleştirme tesisi akım şeması…….. 24
Şekil 2.15. Jet ve Jameson flotasyon sistemleri……. 25
Şekil 2.16. Fotometrik ayırıcı…… 26
Şekil 2.17. Seç Madencilik kömür hazırlama tesisi akım şeması…….. 27
Şekil 2.18. Kavisli eleğin şematik görünüşü…….. 29
Şekil 2.19. Elliptex susuzlaştırıcısı…… 30
Şekil 2.20. Derrick eleğinin şematik görünüşü……. 31
Şekil 2.21. Tüp tipi santrifüjün şematik görünüşü……. 32
Şekil 2.22. Deliksiz sepet tipi santrifüjün şematik kesiti……... 33
Şekil 2.23. Konveyör tipi sepet santrifüjün şematik görünüşü…….. 33
Şekil 2.24. Disk tipi santrifüjün şematik kesiti…….. 34
Şekil 2.25. Sürekli çalışan döner tambur filtre…….. 36
Şekil 2.26. Döner diskli filtre…… 37
Şekil 2.27. Tikiner'in şematik gösterimi……... 38
Şekil 2.28. Döner kurutucu…… 40
Şekil 2.29. Akışkan yataklı kurutucu……. 41
Şekil 2.30. Yüzdürme-batırma deneylerinin en düşük yoğunluktan başlayarak yapılışına ait bir örnek…… 42
Şekil 2.31. Kömür yıkama eğrileri……. 43
Şekil 2.32. Mayer eğrisi……. 46
Şekil 2.33. Termogravimetri eğrisi…… 48
Şekil 2.34. Diferansiyel termogravimetri eğrisi……. 49
Şekil 2.35. Geliştirilen termogravimetrik metod ile yapılan kömürün kısa analizi……... 51
Şekil 2.36. ASTM ve TG metodlarıyla bulunan (a) nem, (b) uçucu madde, (c) bağlı karbon, (d) kül değerlerinin karşılaştırmalı grafikleri…… 52
Şekil 3.1. Sahanın Jeolojik Kesitleri…….. 54

Şekil 3.2. Ilgın Linyit İşletmesi yer buldu haritası…… 55
Şekil 3.3. Sahanın genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti…….. 57
Şekil 5.1. -10+6,4cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……... 61
Şekil 5.2. -6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……. 62
Şekil 5.3. -3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri…… 63
Şekil 5.4. -1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri ……... 64
Şekil 5.5. -0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri…… 65
Şekil 5.6. -0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri…… 66
Şekil 5.7. -10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…….. 67
Şekil 5.8. -6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……. 68
Şekil 5.9. -3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……. 69
Şekil 5.10. -1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……... 71
Şekil 5.11. -0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……... 72
Şekil 5.12. -0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……... 73
Şekil 5.13. -10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…… 74
Şekil 5.14. -6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……... 75
Şekil 5.15. -3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……... 76
Şekil 5.16. -1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……... 78
Şekil 5.17. -0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……... 79
Şekil 5.18. -0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……... 80
Şekil 5.19. Beyşehir üst kalori değerleri…… 81
Şekil 5.20. Beyşehir alt kalori değerleri…… 81
Şekil 5.21. Beyşehir kükürt (S) değerleri…….. 82
Şekil 5.22. Beyşehir kül değerleri……. 82
Şekil 5.23. Ilgın üst kalori değerleri…….. 83
Şekil 5.24. Ilgın alt kalori değerleri……... 83
Şekil 5.25. Ilgın kükürt (S) değerleri……. 83
Şekil 5.26. Ilgın kül değerleri…… 84
Şekil 5.27. Ermenek üst kalori değerleri…… 84
Şekil 5.28. Ermenek alt kalori değerleri…… 85
Şekil 5.29. Ermenek kükürt (S) değerleri…….. 85
Şekil 5.30. Ermenek kül değerleri……. 85
Şekil 5.31. Bayavşar (Beyşehir) kömürüne ait TG ve DTG eğrileri……. 86
Şekil 5.32. Ilgın (Çavuşçugöl) kömürüne ait TG ve DTG eğrileri…… 87
Şekil 5.33. Ermenek (Karaman) kömürüne ait TG ve DTG eğrileri……. 87

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kömürün içerdiği mineraller……. 6

Çizelge 2.2. Kömür yıkama verilerinin hesaplanış şekilleri……. 43

Çizelge 2.3. Ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarına göre kömürün yıkanma Kolaylığı…… 44

Çizelge 2.4. Mayer eğrisi verileri…….. 45

Çizelge 4.1. Çavuşçugöl kömür numunelerinin kimyasal analiz değerleri……... 58

Çizelge 4.2. Ermenek kömür numunelerinin kimyasal analiz değerleri……... 59

Çizelge 4.3. Beyşehir kömür numunelerinin kimyasal analiz değerleri……... 59

Çizelge 5.1. -10+6,4cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…….. 60

Çizelge 5.2. -6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…… 61

Çizelge 5.3. -3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…… 63

Çizelge 5.4. -1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…… 64

Çizelge 5.5. -0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…… 65

Çizelge 5.6. -0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…… 66

Çizelge 5.7. -10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……. 67

Çizelge 5.8. -6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…… 68

Çizelge 5.9. -3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…… 69

Çizelge 5.10. -1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…….. 70

Çizelge 5.11. -0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…….. 72

Çizelge 5.12. -0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…….. 73

Çizelge 5.13. 10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları……. 74

Çizelge 5.14. -6.4+3.2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…….. 75

Çizelge 5.15. -3.2+1.6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…….. 76

Çizelge 5.16. -1.6+0.4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…….. 77

Çizelge 5.17. -0.8+0.4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…….. 79

Çizelge 5.18. -0.4+0.2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları…….. 80

Çizelge 5.19. Kömür numunelerine ait reaksiyon bölgeleri……. 88

Çizelge 5.20. Kömür numunelerine ait tutuşma ve pik sıcaklıkları…….. 88

Çizelge 5.21. Kömür numunelerine ait analiz değerleri……... 89

SİMGELER VE KISALTMALAR

DTG: Diferansiyel termogravimetri

TGA: Termogravimetrik analiz

YKV: Yanabilir kısım verimi

ZÖ : Zenginleştirme öncesi durum

ZS : Zenginleştirme sonrası durum

1. GİRİŞ

Dünya ile hızlı bir entegrasyon sürecinde olan Türkiye Ekonomisi, hem sanayisini Avrupa Birliği içinde rekabet edebilir düzeye çıkarma, hem de dünya ticaretinde daha fazla pay alabilme gayreti içerisindedir. Bu durum özellikle elektrik enerjisi talebinde hızlı bir artışı beraberinde getirmekte ve dolayısıyla sanayinin en önemli girdilerinden biri olan elektrik enerjisinin teminini önemli kılmaktadır.

Ülkemizde elektrik üretiminde kurulu güç, çeşitli enerji kaynaklarına dayalı olarak toplam 63440 MW mertebesindedir (Enerji enstitüsü, 2014). Bu değerin 9500 MW'lık bölümü linyite dayalı termik santraller kapsamında olup bu değer toplam gücün yaklaşık olarak %30'una karşılık gelmektedir. Toplam kapasite 23000 MW'tur (EÜAŞ, 2013). Bilindiği üzere, ülkemiz fosil yakıtları arasında yegane güvenilir enerji kaynağı kömürdür. Bu nedenle, süreklilik ve güvenilirlik kıstasları açısından değerlendirildiği takdirde ülkemiz elektrik enerjisi üretiminde linyit kömürüne dayalı termik santraller özel bir önem ihtiva etmektedir. Dolayısı ile elektrik enerjisi üretimindeki verimlilikte gözlenen önemli kayıplar, bir yandan kömür kaynaklarından mümkün olduğunca fazla ve uzun vadede faydalanılmasını olumsuz yönde etkilemekte, diğer yandan birim enerji başına daha fazla parasal kaynağın sarf edilmesine yol açmaktadır (Demirci ve Elevli, 2004; Al, 2011).

Ülkemiz geniş alanlarda kömür yataklarına sahiptir. Bu kaynaklar da ocaktan çıkarıldıktan sonra genellikle zenginleştirme işlemine tabi tutulmakta ve daha elverişli kömür elde edilmektedir. Zenginleştirme işlemlerinin sonunda daha kaliteli kömür elde etmek için ise belli işlemler gerekmektedir (Al, 2011).

Bu çalışmada; Çavuşçugöl (Ilgın-Konya), Bayavşar (Beyşehir-Konya), Ermenek (Karaman) civarından temin edilen kömürlerin yıkanabilirliği incelenmiş olup, bu deneylerin öncesinde ve sonrasında kömürler; kimyasal analize tabi tutulmuştur. Burdan edinilen bilgiler bize tüvenan olarak ocaktan çıkarılan kömürlerin hangi yoğunlukta ağır ortam hazırlanacağına ve bunların ne şekilde zenginleştirileceğine ışık tutmaktadır. Zenginleştirme öncesi ve sonrası kömürlerdeki değişikliklerden bahsederken kısaca alt ısıl değeri ve üst ısıl değerini göz önüne alırsak: Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde alt ısıl değeri 1416 kcal/kg iken, zenginleştirme sonrası -16+8 mm tane fraksiyonunda; 4493 kcal/kg'a, üst ısıl değeri ise 4716 kcal/kg'a kadar yükselmiştir. Diğer bütün fraksiyonlarda olduğu gibi % kül ve % kükürt düşmüştür. Çavuşçugöl (Ilgın-Konya) kömürlerinde ise; baştaki alt ısıl değeri 2058 kcal/kg iken zenginleştirme

sonrası kömürlerden -100+64 mm tane fraksiyonunda; 4358 kcal/kg'a, üst ısıl değeri de yine aynı şekilde değişiklik göstererek 4602 kcal/kg'a yükselmiştir. Ermenek (Karaman) kömürlerinden ise zenginleştirme sonrası en fazla -4+2 mm tane fraksiyonunda yükselme olmuş ve alt ısıl değeri; 5778 kcal/kg, üst ısıl değeri; 6027 kcal/kg olarak ölçülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda edinilen bilgiler % kül, % kükürt gibi kömürün bünyesinde bulunan ve istenmeyen bazı maddelerin de bilgilerini vermiş bulunmaktadır. Ancak bir de tüvenan kömürlere termogravimetrik analiz uygulanmış ve kimyasal analiz sonucu edinilen bilgilerle karşılaştırılmıştır.

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kömürle İlgili Genel Bilgiler

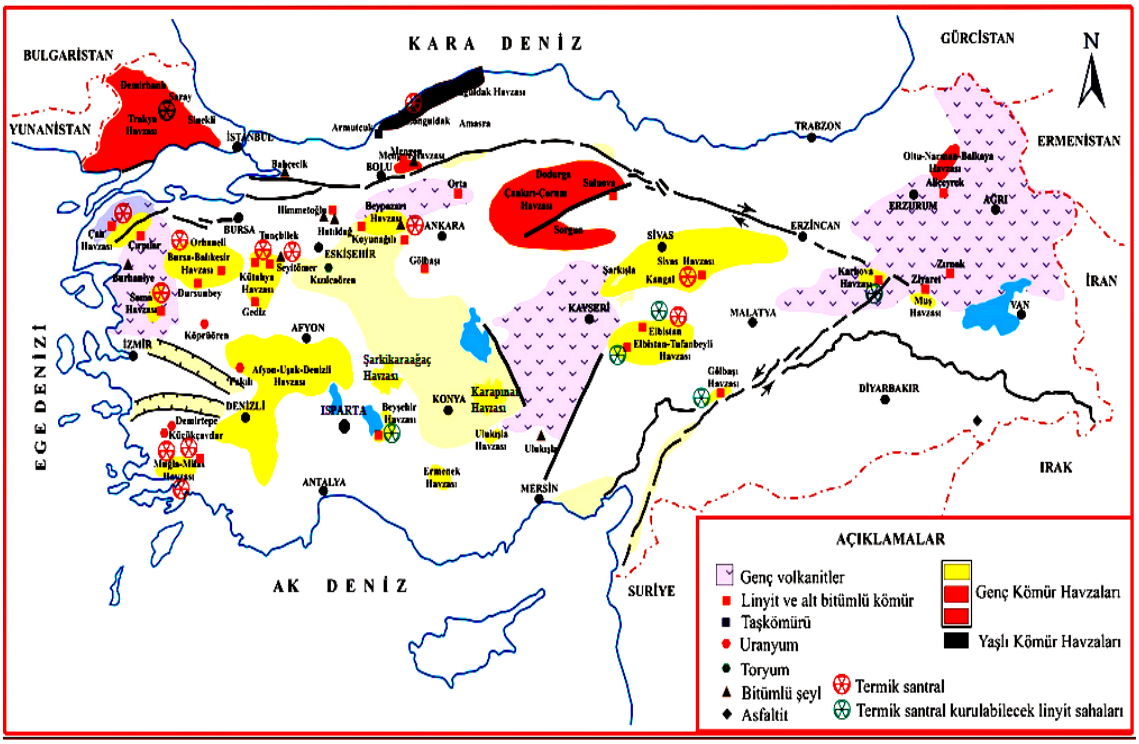
2.1.1. Kömürün tanımı ve oluşumu

Kömür yanabilen sedimanter organik bir kayaçdır. Kömür başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşmuş olup, diğer kaya tabakalarının arasında damar haline uzunca bir süre (milyonlarca yıl) ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda meydana gelmiştir. Bitkilerin kömüre dönüşümü sırasında meydana gelen olayları 2 grupta incelemek uygundur (Ateşok, 2009; Al, 2011).

1.Turbaların oluşumu

2.Turbaların kömüre dönüşümü

Bitkisel ve az oranda hayvansal organik artıkların, anaeorobik koşullar altında mantarlar, bakteriler, enzimler ve ayrışma ile serbestleşen veya yeniden oluşan organik bileşiklerin etkileriyle ayrışması, parçalanmasıyla ile oluşan organik tortul kütlelere turba adı verilir. Turbaların birbiri üzerine yığışmasıyla dehidratasyon, demetanizasyon ve dekarboksilasyon olarak tanımlanan süreçler sonucu değişime uğramasıyla organik tortul kayaç haline dönüşmesi ile kömür ve sapropelitler oluşur (Kavuşan, 2007; Al, 2011). Genellikle bitkisel organizmaların linyoselülozik kısımlarının birikerek çürümeden kalmasıyla oluşmaktadır.



Şekil 2.1. Türkiye kömür havzaları ve potansiyel uygulamaları haritası (Karadağ, 2011)

2.1.2. Kömürlerin sınıflandırılması

Kömürlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kömürlerin sınıflandırılmasında ve kömür kalitesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bir kömürün kalitesi, kömürün kalitesinin belirlenmesi amacıyla, pek çok uluslararası kuruluş, örneğin; ASTM (the American Society for Testing and Materials), ISO (International Organisation for Standardisation) ve başka ulusal kuruluşlar tarafından analiz standartları geliştirilmiştir ve halen bu çalışmalar devam etmektedir.

Ülkemizde kömürler; turba, linyit, taş kömürü ve antrasit olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflama, uluslararası kömür sınıflandırmalarıyla uyum göstermemektedir (Al, 2011).

2.1.3. Kömürlerin kimyasal özellikleri

Kömürün kimyasal özellikleri; kömürün oksidasyonu, kömürün damıtılması, hidrojenerasyon, koklaştırma ve çözücülerde erimesi konularında açıklanabilmektedir (Al, 2011).

2.1.3.1. Kömürün oksidasyonu

Yeryüzüne yakın olduğu için, atmosferik etkilere maruz kalan veya ocaklardan çıkarılıp bir süre stoklanan kömürler endüstride "oksidasyon" olarak bilinen bir seri fiziksel ve kimyasal değişimlere uğrarlar (Al, 2011).

2.1.3.2. Kömürün damıtılması

Kapalı kapta ısıtılan taşkömürü 100°C civarında bir takım gazlar ve buharlar vermeye başlar. Sıcaklık yükseldikçe damıtma da artar. 1400°C'de damıtma işlemi tamamlanır ve geride sadece kok kalır. Damıtma ürünleri sıvı ve gazdır. Sıvı olanlar iki gruba ayrılır:

1.İçinde amonyaklı suda eriyen aminler bulunan 'amonyaklı sular'

2.Katranlar

Gazların içinde de; hidrojen, CO_2, CO, CH_4 ve karbonlu yağ sınıfından doymamış karbonlu hidrojenler ve kokulu sınıftan bazı karbonlu hidrojenlerin buharı bulunmaktadır (Al, 2011).

2.1.3.3. Hidrojenasyon

19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren yapılagelen çeşitli deneylerde araştırmacılar, hidrojenasyon yolu ile kömürleri sıvı hale getirmeyi başarmışlardır. Hidrojenasyon olayının mekanizmasını araştıran yazarlar; bunun, kömürün termik olarak reaktif parçalara ayrılmasından ibaret olduğunu, bu ayırma işleminde de halojen oksitler gibi katalizörlerin işlemi kolaylaştırdığını öne sürmektedirler (Ateşok, 2009).

2.1.3.4. Koklaşma

Kömürleşmesi belirli bir düzeye erişmiş olan kömürler ısıtılınca önce yumuşarlar sonra şişerek gaz çıkartırlar ve daha sonra tekrar sertleşirler. Sertleşme sonucunda oluşan çok gözenekli, oldukça hafif ve gri renkli kütleye kok kömürü; kömürün kok haline geçmesi olayına da koklaşma denilmektedir.

Her kömür cinsi koklaşmaya elverişli değildir. Genellikle taşkömürleri seviyesinde olgunlaşmış kömürler ısı tesiriyle şişer ve koklaşırlar (Al, 2011).

2.1.3.5. Çözücülerde erime

Kömürler, bazı organik çözücülerde eriyerek değişik kimyasal özellikler gösteren bileşiklere ayrılırlar. Bu özelliklerinden kömürleri meydana getiren maddelerin incelenmesinde çok yararlanılmaktadır. Çözücü olarak en çok piridin kullanılmaktadır. Ekstraksiyon sonunda katı parafinler (C_{21} H_{44}, C_{27} H_{56} gibi), doymuş hidrokarbonlar (C_nH_{2n-2}) elde edilmektedir (İrican, 2005).

2.1.4. Kömürlerin petrografik özellikleri

Kömür homojen olmayan ve değişik bileşenlerden oluşan bir maddedir. Kömür maserallerden meydana gelir. Maserallerin kimyasal yapıları ve fiziksel özellikleri büyük değişiklikler gösterir ve bir kristal yapıya da sahip değildirler. Halbuki inorganik kayaçları oluşturan mineraller kristal yapıda ve kimyasal bileşimleri de belirlidir.

Maseralleri çıplak gözle görmek imkansızdır, ancak mikroskop yardımıyla ayrıntılı olarak incelenebilirler. Mikroskopta maseralleri ayırt edebilmek için; renk, ışığı yansıtma, şekil ve röliyef gibi bazı parametrelerden faydalanılır (Özpeker 1998).

Kömürler içinde 50-60 tür mineral gözlenmiştir. Bunlardan en önemli mineral grupları; killer, karbonatlar ve demir mineralleridir. Diğerlerinin bolluğu % 1'in altındadır. Bunlar Çizelge 2.1'de gösterilmektedir (Beker, 1998).

Çizelge 2.1. Kömürün içerdiği mineraller (Beker, 1998)

Mineral grupları	Mineraller
Kil	Montmorillonit, İllit, Kaolinit, Halloysit
Kükürt	Pirit, Markasit, Sfalerit, Galen, Kalkopirit, Pirotin, Arsenopirit, Millerit
Fosfat	Floraparit
Karbonat	Kalsit, Dolomit, Siderit, Ankerit
Klorür	Harit, Silvit, Bisofit
Silikat	Kuvars, Biotit, Zirkon, Turmalin, Garnet, Epidot, Ortaklas, Ojit, Topaz
Oksit ve Hidroksit Mineralleri	Hematit, Manyetit, Rutil, Limonit, Götit, Diyaspor

2.1.5. Kömürlerin fiziksel özellikleri

2.1.5.1. Rutubet

Kömürlerde bünye, yüzey ve molekül suyu olmak üzere 4 türlü rutubet bulunmaktadır. Bünye rutubeti kömürün yapısında yer alır ve inorganik maddelere bağlı bulunan sudan meydana gelir. Yüzey rutubeti, kömürde serbest halde bulunan, rutubetli havadan ve kömürün su ile temasından meydana gelir. Molekül suyu ise kömüre kimyasal olarak bağlanmıştır ve kömürün toplam rutubeti içindeki payı oldukça düşüktür (Al, 2011).

2.1.5.2. Strüktür ve kırılma

Kömürde madencilik işlemleri sırasındaki kırılmalar sonucu oluşan parçaların büyüklük ve şekilleri uygulanan kazı yöntemi ile birlikte kömür yatağının ana kırık, çatlak ve zayıf yüzeyler sistemine bağlıdır. Kömürlerin cinslerine göre çeşitli kırılma şekilleri vardır. Antrasit konkoidal bitümlü ve yarı bitümlü kömürler blok veya küp şeklinde, linyitler yassı ve düzensiz bir şekilde kırılırlar (Al, 2011).

2.1.5.3. Sertlik

Kömürün sertliği, kömürün ait olduğu sınıfa bağlı olup, karbon ve uçucu madde oranlarına göre değişiklik gösterir. % 85-90 oranında karbon içeren kömürler en düşük sertliğe sahiptirler. Sertlik ayrıca, uçucu madde oranı % 15'den % 40'a doğru çıktıkça artar (Al, 2011).

2.1.5.4. Mukavemet

Kömürün basınca karşı mukavemeti, madencilikte tahkimat için kullanılan kömür topukları ile kırma ve öğütme işlemlerinde önem taşır. Baskı mukavemeti kömürün türü ve petrografik yapısı ile ilgilidir. Kömürün sahip olduğu en düşük mukavemet uçucu maddenin % 20-25 olduğu oranlardadır (Al, 2011).

2.1.5.5. Tane boyutu dağılımı

Ocaktan çıkarılan tuvenan kömürlerin tane boyutu dağılımına çeşitli faktörler etki eder. Bu faktörler kömürün sertliği, mukavemeti, kırık ve çatlak sistemi gibi yapısal özelliklerinden ve uygulanan madencilik yönteminden gelir (Al, 2011).

2.1.5.6. Öğütülebilirlik

Öğünebilme özelliği özellikle kömürün toz yakıt olarak kullanılmak üzere öğütülmesi sırasında önem taşımaktadır. Öğütme için kullanılan aygıtların kapasitelerinin belirlenmesinde, öğütme için gerekli enerjinin saptanmasında ve tesis kontrolünde, öğünebilme özelliğinden yararlanılır (Al, 2011).

2.1.5.7. Özgül ağırlık

Ocaklardan çıkarılan kömürler farklı özgül ağırlıktaki parçaların karışımı halindedir. Tuvenan kömürdeki herhangi bir parçanın özgül ağırlığı, bu parçanın külüne, nemine, sabit karbon miktarına ve uçucu madde oranına bağlıdır (Ateşok, 2009).

2.1.5.8. Açık havada dağılganlık

Açık havada bırakılan bazı kömürler, ıslanma ve kuruma olaylarının etkisi altında dağılırlar. Dağılma derecesi kömür sınıfına bağlıdır (Ateşok, 2009). Düşük sınıflı kömürler, havaya maruz bırakıldığında gevşeme veya parçalara ayrılıp dağılmaya belirgin bir eğilim göstermekte olup ıslanıp ve kurutulduğunda veya güneş ışığına bırakıldıklarında linyitler kolaylıkla yumuşarken, alt bitümlü ve bitümlü kömürler bu durumdan az etkilenmektedirler (Temel, 2007).

2.1.5.9. Aşındırıcılık

Kömürün aşındırma özelliği ekonomik yönden önem taşımaktadır. Bu özellik kömür maddesinden ziyade kömürdeki artık maddelerden ileri gelmektedir. Bu nedenle madencilikte kömür bir aşındırıcı madde olarak kabul edilmektedir. Madencilik

işlemleri sırasında delme, kesme ve taşıma araçlarında meydana gelen aşınmalar, aşınan kısımların değiştirilmesini gerektirdiğinden masrafa neden olurlar (Ateşok, 2009).

2.1.5.10. Renk ve çizgi rengi

Kömürlerin rengi, açık kahverengiden koyu siyaha kadar değişmektedir. Linyitler açık kahverengi ile koyu kahverengi arasındadır. Üst sınıftaki kömürler ise siyahın açıktan koyuya kadar değişen çeşitli tonlarına rastlanır. Çizgi rengi ise bir kömür parçası ile pürüzlü bir porselen yüzey üzerine çizgi çekilerek elde edilir. Bitümlü kömürlerden daha düşük dereceli kömürlerin çizgi rengi sarı ile kahverengi arasında değişir. Bitümlü ve daha yüksek dereceli kömürlerin çizgi rengi ise kahverengi ve siyah arasındadır (Al, 2011).

2.1.5.11. Parlaklık

Parlaklık, ışığın bir madde yüzeyinden yansıma şiddetidir. Işığın kuvvetli yansıdığı yüzeyler "parlak", zayıf yansıdığı yüzeyler ise "mat" olarak tanımlanmaktadır. Kömürler mat veya parlak olabilmektedir. Antrasit genellikle parlaktır fakat mat kısımları da bulunmaktadır. Linyitler mat veya toprağımsı görünüşlüdürler. Bitümlü kömürler ise mat ile parlak arasında değişir (Ateşok, 2009).

2.1.6. Kömürün kullanım alanları

2.1.6.1. Kömürün termik santrallerde kullanımı

Dünyada elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynakların dağılımı dikkate alındığında; termik santralların payı % 64, hidroelektrik santralların payı % 19 ve nükleer santralların payı ise % 17'dir. Jeotermal, güneş, rüzgar ve dalga gibi temiz enerji kaynakları çevre dostu olmalarına karşın kendine özgü enerji dönüşüm sistemleri ve teknolojiler gerektirdiğinden ve bunun yanı sıra üretim kapasitelerinin düşük olması nedeniyle yeterli ilgiyi görememektedirler. Bu yüzden termik santrallar yatırım maliyetlerinin diğer sistemlere göre daha ucuz olması ve düşük kaliteli kömürlerin yakılmasına olanak sağlaması nedeniyle tüm dünyada elektrik üretiminde yıllardır tercih edilmektedir.

2.1.6.2. Kömürün çimento sanayiinde kullanımı

Bir kilogram klinker üretimi için 800 Kcal'lik enerji gereksinimi vardır. Bir ton çimento üretmek amacıyla kullanılan yakıt payı, fuel oil kullanıldığı takdirde, üretim maliyetinin yaklaşık yarısıdır. Bu pay, fueloil yerine kömür kullanıldığında yaklaşık % 50 azalmaktadır (Al, 2011).

2.1.6.3. Şeker sanayiinde kömür kullanımı

Şeker fabrikalarında kullanılan linyitler değerlendirilirken, kullanım yerine bağlı olarak, ısıl değeri 2500-4000 Kcal/kg ve 4000 Kcal/kg'dan büyük olanlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kömürün ısıl değerinin düşük olması, kazan kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle kazan içine fuel-oil de püskürtülmektedir (Al, 2011).

2.1.6.4. Tuğla, seramik ve diğer sanayi kollarında kömür kullanımı

Tuğla sanayiinde pişirme fırınlarında kullanılan linyit, toz hale getirildikten sonra değerlendirilmektedir.

Külün ergime derecesi yüksek olan kömürler seramik ve tuğla yapımında kullanılırlar. Bu kömürlerin yakın boyutlara elenmiş olması ve yüksek uçucu madde içermesi istenir. Kömürde kül, kükürt ve nem düşük, kül ergime sıcaklığı yüksek olmalıdır (Al, 2011).

2.1.6.5. Kömürlerin gübre olarak kullanımı

Kömür; karbon, hidrojen, azot, kükürt, potasyum ve fosfor gibi elementleri bünyesinde bulundurur. Kömürlerin toprak humusuna benzer bir yapıya sahip olması nedeniyle, gübre olarak kullanılabileceği çeşitli araştırmacılar tarafından gündeme getirilmiştir. Kömür gübresi, hem azot vermekte hem de bitki için azot kadar önemli olan karbonuyla bitkiyi beslemekte ve mikro elemanlarla zehirlenmesini önlemektedir (Al, 2011).

Yeni teknolojiyle ortaya çıkan ve toprakta kullanılan ve oldukça da verimli olan bir ürün keşfedilmiştir. Bu madde; Leonardit'tir. Humatların doğada en önemli kaynağı Leonardit'dir.

Leonardit, yüksek oranda Humik Asitler ile karbon, makro ve mikro besin elementleri içeren, kömür düzeyine ulaşmamış tamamen doğal organik bir maddedir. Oluşumu milyonlarca yıl öncesi bitki ve hayvan kalıntılarının sıcaklık, nem, basınç, oksidasyon ve çok özel jeolojik şartlar gerektirdiğinden tabiatta nadir olarak bulunur ve kalitesi bölgeden bölgeye değişiklik gösterir. İçerdiği yüksek oranda humik asitlerden dolayı önemli bir ekonomik değere sahiptir.

Leonardit'in bir maden olarak tanınması ve yaygın olarak kullanılmaya başlanması oldukça yenidir. Buna rağmen, şimdiden, bazı ülkelerin maden varlıkları listelerinde ve üretim tablolarında ayrı bir maden türü olarak yer almıştır.

Leonardit içerisindeki humik asitler şunlardır:

a) Humik Asit: pH'ı 2'den küçük olan asidik özellikteki sularda çözünmez. Daha yüksek pH derecelerindeki suda veya alkalik özellikteki çözeltilerde çözünebilir. Moleküler ağırlığı fazla olup uzun zincir molekül yapısındadır. Rengi koyu kahverengi ile siyah arasındadır.

b) Fulvik Asit: Bütün pH derecelerindeki (asidik veya bazik) suda veya çözeltilerde çözünebilir. Moleküler ağırlığı düşük olup, kısa zincir molekül yapısındadır. Rengi açık sarı ile sarı-Kahverengi arasındadır (Anon., 2010).

2.1.6.6. Kömürün ev yakıtı olarak kullanımı

Dünyada üretilen kömürün yaklaşık % 5'i ev yakıtı olarak kullanılmaktadır. Ev yakıtı olarak kullanılan kömürlerin yaklaşık % 60'ı doğrudan tüketilen tuvenan kömürler olup, % 40'ı ise kömür zenginleştirme tesislerinden üretilen ve lave olarak tanımlanan temiz kömür ürünleridir. Ülkemizde üretilen yaklaşık 70 milyon ton kömürün (linyit+taş kömürü), hava koşulları ve üretilen kömürün kalitesine bağlı olarak % 10-15'i ev yakıtı olarak kullanılmaktadır.

Ülkemiz linyit rezervleri incelendiğinde, önemli bir bölümünün ısıl değerinin 2000 Kcal/kg'dan az ve kül-kükürt içeriklerinin yüksek olduğu görülmektedir. Tuvenan olarak ev yakıtı kullanımında önemli miktarlarda çevre kirliliği oluşturduklarından, kömürlerimizin büyük bir çoğunluğunun kül, kükürt ve nem içeriklerinden arındırıldıktan sonra kullanılması zorunludur (Al, 2011).

2.1.6.7. Kömürün kimyasal hammadde olarak kullanımı

Kömürün demir ve çelik üretiminde hayati önemi vardır. Çelik üretiminin %70'inde kok ve kömür kullanılır. Taşkömürü sınıfına giren kömürlerin en önemli kullanım alanı kok yapımıdır. Yüksek fırınların belli başlı redüksiyon hammaddesi olan kok, endüstrinin en önemli maddesidir. Yüksek fırınlarda kullanılan kok, yüksek sıcaklık karbonizasyonu sonucunda üretilmektedir.

Kömürün gazlaştırılması ile hem yarı kok hem de gaz üretimi mümkün olabilmektedir. Ticari sistemlerde % 45 verim elde edilmektedir.

Kömürün, hava veya herhangi bir reaktanın olmadığı bir ortamda termal bozundurulması sonucu katı, sıvı ve gaz yakıtlar üretilebilir. Tüm termal dönüşüm işlemleri sonucu elde edilen gaz ürün karışımlarından, çeşitli süreçler yardımıyla petrol ürünlerine alternatif sıvı yakıtlar da üretilebilmektedir.

Kömür, aktif karbon üretiminde de kullanılmaktadır. Özellikle enerji üretmek amacıyla kullanıldığında çevreyi olumsuz yönde etkileyecek yüksek kükürt içerikli kömürlerin aktif karbon üretiminde kullanılarak değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin azaltılması yolunda olumlu bir adımdır (Al, 2011).

2.1.6.8. Kömür atıklarının kullanımı

Kömürlerin yıkanması ve kullanımı sonunda, yıkama tesisi artıkları ve yakma sonu artıkları olmak üzere iki tür artık elde edilmektedir. Yıkama tesislerinden elde edilen artıklar doğal halinde olup, genelde kil ve şistleri içerirler. Söz konusu bu artıklarda kil oranı fazla olduğu takdirde, kalitelerine bağlı olarak seramik ve tuğla endüstrisinde kullanılabilirler. Örneğin, Amasra bölgesi kömürlerinin tavan ve taban taşı genellikle ateşe dayanıklı refrakter kildir.

Termik santrallardan elde edilen pulverize kömür külleri çimento katkı malzemesi olarak kullanılır. Bunun yanında, bazı küllerin içeriği de önem taşıyabilir. Bazı linyit küllerinin uranyum içerdiği çeşitli araştırmacılar tarafından saptanmıştır. Mn, Cu, Zn, Co ve Mo gibi bazı metalleri içeren küller ise tarımda kullanılabilirler (Ateşok, 2009).

2.2. Kömür Hazırlama ve Zenginleştirme

2.2.1. Tüvenan kömürün hazırlanması

Tüvenan kömür hazırlama devresindeki en önemli gelişme, tüvenan kömürün ince boyutta kuru olarak elenmesi ve iri kömürün daha az toz oluşturacak şekilde kırılması konularında olmuştur. Özellikle, termik santralde kullanılacak ve ince kısmının kül oranı düşük tüvenan kömür, kuru olarak elenmekte ve elde edilen toz kömür yıkanan kömüre karıştırılarak, nem oranı daha düşük kömür elde edilmektedir.

Bu gaye için değişik elek tipleri kullanılsa da, öne çıkan elek tipi, "çok açılı elek", diğer adı ile banana elek olmuştur. Bu eleklerin tabanları, malzeme giriş kısmında 25-40° eğime sahip iken, malzeme çıkış kısmındaki eğim 5-6°'ye düşmekte ve bu sayede elek yüzeyi daha homojen yüklenmektedir. Kapasite ve ayırma hassasiyetleri yüksek, enerji harcamaları düşüktür. Banane elekler halen dünyanın önemli kömür hazırlama tesislerinde öncelikle kullanılmaktadır.

Güney Afrika Cumhuriyeti'nde ise, tüvenan kömür elemede, döner ızgaralı elekler kulanılmaktadır. Bu elekler, her biri mekanik olarak döndürülen ızgaralardan oluşmakta ve kömür dönen ızgaralar sayesinde, girişten çıkışa doğru taşınırken elenmektedir. Nemli kömürlerin elenmesini kolaylaştıran ve normal sarsıntılı eleklere göre 4-5 kat daha yüksek kapasiteye sahip olan bu eleklerin ilk yatırım ve işletme giderleri yüksektir.

İri kömür kırmada öne çıkan kırıcı tipi ise, çift merdaneli kırıcılar olmuştur. Bunlar, kömürü fazla toz üretmeden kırdıkları gibi, bıçaklar karşılıklı olarak birbirlerini temizledikleri için (killi kömürlerde), tıkanma problemleri de yoktur. Twin-scroll sizer ismi ile üretilen çift merdaneli kırıcı yaygın kullanım alanı bulmuştur.

Avusturalya'da yavaş dönen ve yüksek tork gücüne sahip çift merdaneli kırıcı üzerinde çalışılmaktadır. Bu kırıcılarda, parçalanma kömür-mineral madde sınırında gerçekleşmekte, yani selektif bir kırma yapılmaktadır. Döner kırıcı kullanımı, gittikçe azalmaktadır. Ancak, yeterli kömür hazırlama tesisi kurulamamış olan Hindistan'da ise, selektif kırma yapan döner kırıcı kullanılmaya devam edilmektedir (Kemal, 2006).

2.2.2. Kömürün zenginleştirilmesi

Oluşum koşulları, yapısı ve içerdiği safsızlıklara bağlı olarak kömür zenginleştirmesinde çok çeşitli zenginleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar çok basit yıkama teknikleri olabileceği gibi, tüketim alanının istekleri doğrultusunda daha karmaşık ve gelişmiş tekniklerde olabilmektedir.

Yıkama tesisine verilen ve tamamı 100 ve 150 mm altında olan kömür özelliklerine göre ya önceden elenerek ya da elenmeden yıkanır. Tesiste genellikle iri kömür yıkama için (6, 10 veya 18 mm üstü boyut grubu) ağır ortam üniteleri veya jigler; ince kömür için (6, 10 veya 18 mm boyut grubu 0,5 mm arası) siklonlar, feldispatlı jigler, sarsıntılı masalar ve sabit oluklar; çok ince (toz) kömür yıkama için flotasyon uygulanır.

Günümüzde, modern kömür zenginleştirme tesislerinde 150-0,5 mm arası kömür büyük kapasiteli havalı jiglerle; 0,5 mm altı kömür ise flotasyonla ve spirallerle zenginleştirilmektedir. Bu tesislerde yerleştirme hacmi ve maliyetler düşmekte, buna karşılık tesis kapasitesi artmaktadır (Al, 2011).

2.2.2.1. Yaş zenginleştirme yöntemleri

2.2.2.1.1. İri kömür zenginleştirme yöntemleri

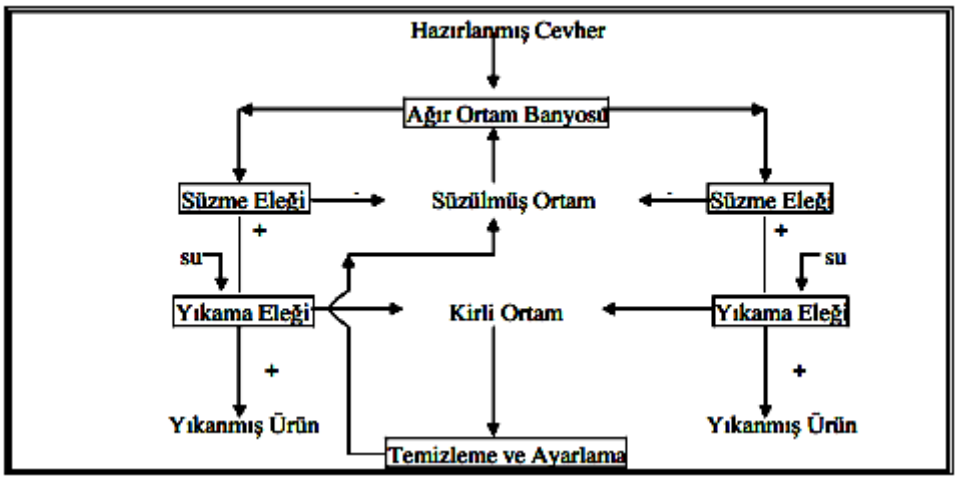
İri boyut kömür zenginleştirmesinde, üst boyut brüt eleğin açıklığına göre 150 veya 100 mm olarak seçilmekte ve genel olarak ağır ortam sistemi ve jiglerle zenginleştirilmektedir. Genellikle yıkaması güç olan kömürlerin temizlenmesinde ağır ortamla zenginleştirme tercih edilmektedir (Al, 2011).

2.2.2.1.1.1. Ağır ortam ayırması

Ağır ortam ayırması yöntemi, gravite yöntemleri arasında en basiti olup bu yöntem kullanılarak yapılan zenginleştirme işlemlerinde daha ekonomik olarak temiz kömür üretilmektedir.

Kömürü artığından ayırmak için ağır ortam sisteminde genellikle özgül ağırlığı 2,0'den küçük olan ağır ortamlar kullanılır. Ağır ortam süspansiyolarında kullanılan başlıca maddeler, ferrosilikon ve manyetittir. Özellikle manyetit kömür

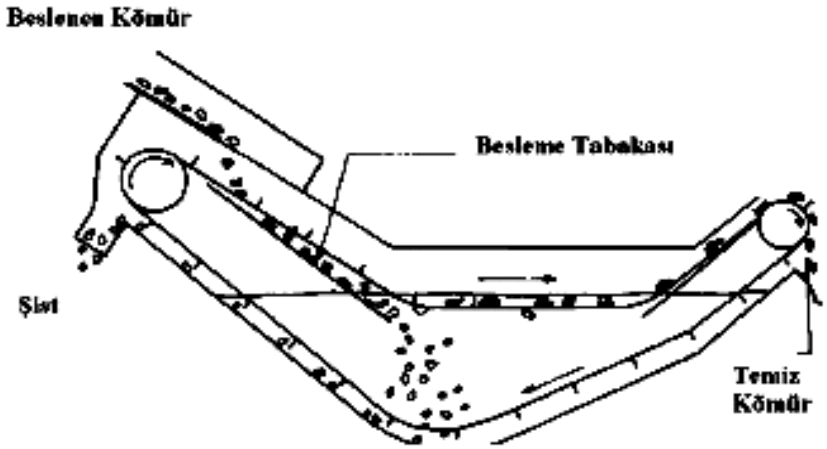
yıkama tesislerinin en önemli ağır ortam malzemesidir. İri boyutlu zenginleştirmede kullanılan manyetitin % 40'ı; ince boyutlu zenginleştirmede ise % 85'i 45 mikron altında bir dağılım gösterir. Şekil 2.2'de ağır ortam zenginleştirme işleminin genel bir akım şeması verilmiştir.



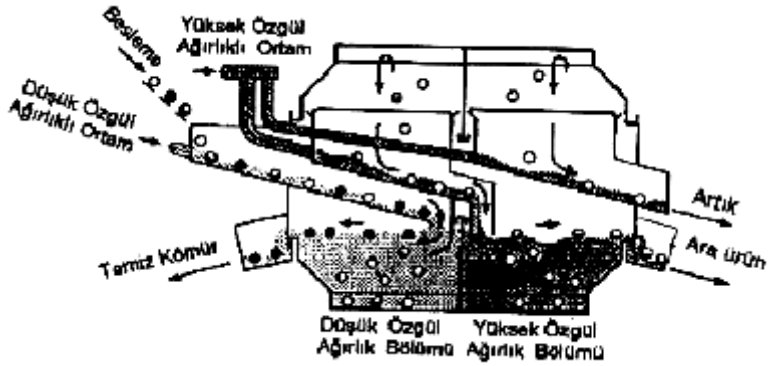
Şekil 2.2. Ağır ortam ayırması ile zenginleştirme akım şeması (Ateşok, 2009)

Şekil 2.2'den de görüldüğü gibi, malzeme ve ağır ortam, ağır ortam ünitesine devamlı beslenir. Yüzen kısım (lave) taşma yoluyla, batan kısımlarda (mikst, şist) banyo dibinden alınarak, birlikte gelen ağır ortamın ayrılması için, ayrı ayrı süzme eleklerine verilir. Eleklerin altına geçen ortam direkt olarak üniteye, elek üstü malzemesi ise yıkanmak üzere yıkama eleğine verilir. Yıkama eleğinden elde edilen elek altı kirli ağır ortam, temizleme ve ayarlama işlemine tabi tutulduktan sonra tekrar ağır ortam banyosuna verilir.

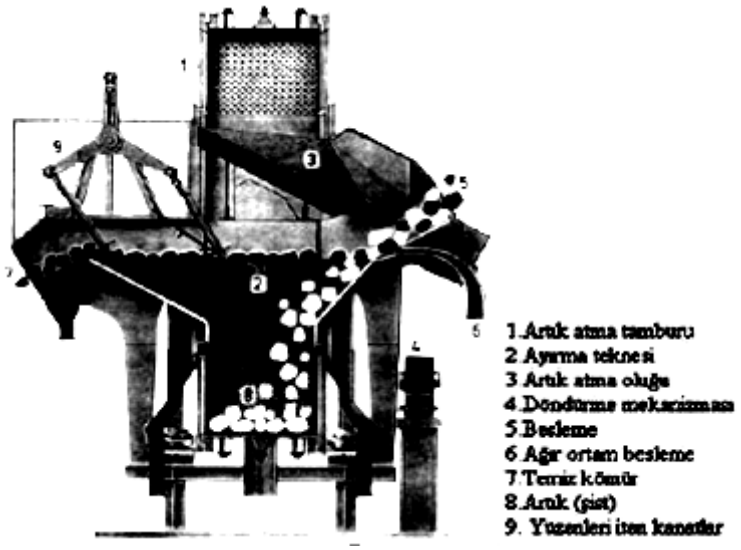
Endüstriyel çapta kullanılan ve genellikle üst boyutu 100 mm olan kömürlerin zenginleştirildiği ağır ortam ayırıcıları tekne (oluk), koni ve tambur şeklindedirler. Tekne tipi ayırıcıların kapasiteleri 100-900 ton/saat arasında değişmektedir. Şekil 2.3'te Dutch State Mines tekne yıkayıcısı görülmektedir. Wemco (Şekil 2.4), Tesca (Şekil 2.5) ve Drewboy (Şekil 2.6) gibi yıkayıcılar endüstriyel çapta kullanılan tambur tipli ağır ortam ayırıcılarıdır.



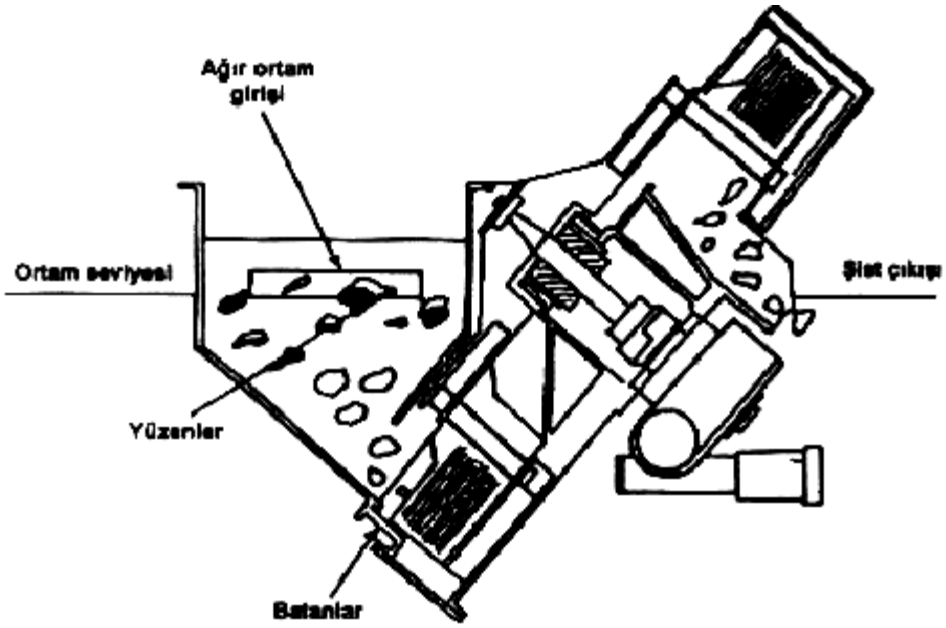
Şekil 2.3. Tekne (oluk) tipli ve iki ürünlü Dutch State Mines tekne yıkayıcısı (Ateşok, 2009)



Şekil 2.4. Wemco ağır ortam tamburu (Ateşok, 2009)



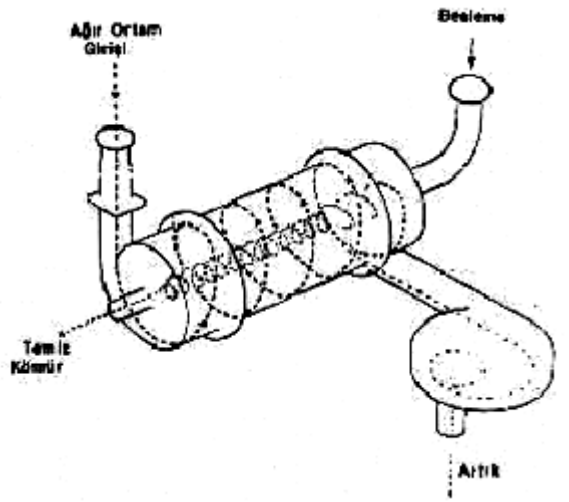
Şekil 2.5. Tesca yıkayıcısı (Ateşok, 2009)



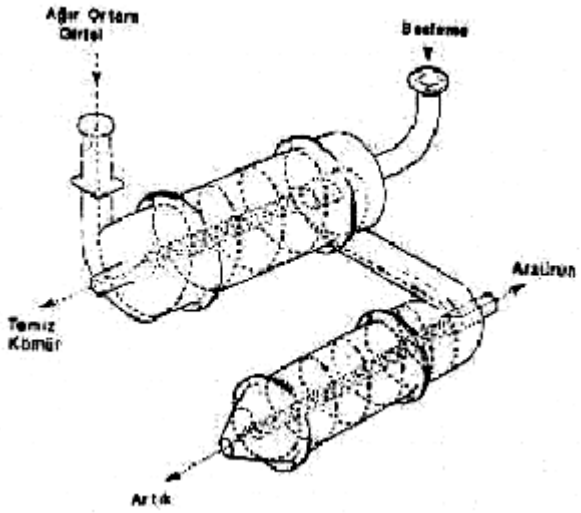
Şekil 2.6. Drewboy ayırıcısı (Kural, 1998)

Geniş bir boyut aralığında zenginleştirme yapabilen diğer bir ağır ortam aygıtı ise İngiliz patentli Larcodem ayırıcısıdır. Ağır ortam olarak manyetitin kullanıldığı ve santrifüj kuvvet etkisiyle ayırma yapabilen bu aygıt, jiglere alternatif olarak geliştirilmiştir. Şekil 2.7'de iki ürün alabilen Larcodem ayırıcısının şematik görünüşü verilmiştir. Geniş bir boyut aralığında zenginleştirme yapmakta ve kapasiteleri oldukça yüksek olmaktadır. –100+0,5 mm boyut aralığındaki kömüre 250 ton/saat kapasite ile zenginleştirebilen Larcodem ayırıcılarının performansı ve kontrol olanakları oldukça yüksektir.

Bunun yanı sıra yine tek ortam yoğunluğu kullanarak üç ürün alabilen (temiz kömür, ara ürün, artık) Larcodem sisteminde (Şekil 2.8) geliştirilmiştir. Bu sistemde, birinci hücreden alınan artık, ikinci hücreye teğetsel olarak beslenmekte ve oluşturulan ikinci bir girdapla (vorteks), yoğunluğu düşük olan taneler üst akımdan ara ürün olarak, yoğunluğu yüksek olan taneler ise alt akımdan artık olarak elde edilmektedir (Kural, 1998).



Şekil 2.7. İki ürün alınan Larcodem ayırıcısı (Ateşok, 2009)

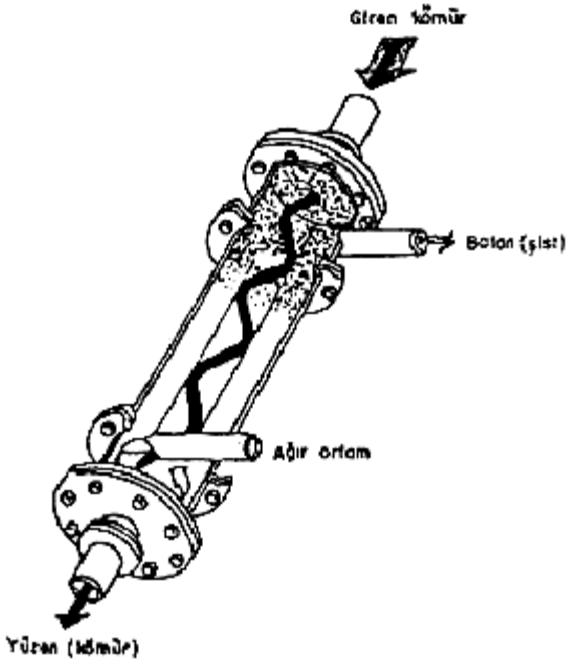


Şekil 2.8. Üç ürün alınan Larcodem ayırıcısı (Ateşok, 2009)

2.2.2.1.1.2. Ağır ortam siklonları

Diğer bir ağır ortam ayırıcısı, ağır ortam siklonlarıdır. Santrifüj kuvvetinin uygulandığı bu ayırıcılarda, ortam akışkanlığı düşürebildiği için, statik ayırıcılara nazaran daha küçük boyuttaki (-20+0,5 mm) kömürler yıkanabilmektedir. Ağır ortam siklonlarının çalışma prensibi, hidrosiklonlara benzemektedir. Kömür, ince öğütülmüş manyetitle hazırlanmış ağır ortam ile karıştırılarak, basınç altında siklona beslenmektedir. Eğik olarak çalışan ağır ortam siklonlarının, farklı çaplara sahip olanları vardır. Besleme kapasiteleri, ortalama 60 ton/saat'tir. Bu siklonlar ile 40-0,5mm boyutlu kömürleri yıkamak mümkün olabilmektedir. Son zamanlarda, daha geniş çaplı siklonların geliştirilmesiyle tane boyutu 50 mm'ye kadar çıkmıştır.

Dynawhirlpool ayırıcısı (Şekil 2.9) eğik vaziyette çalışan ağır ortam siklonudur. Giriş ve çıkışlar gövdenin her iki ucunda gövdeye teğet durumdadır. Bu ayırıcının kapasitesi saatte 100 ton'a ulaşabilmekte ve 50 mm'ye varan boyuttaki kömürü zenginleştirebilmektedir.



Şekil 2.9. Dynawhirlpool ayırıcısı (Ateşok, 2009)

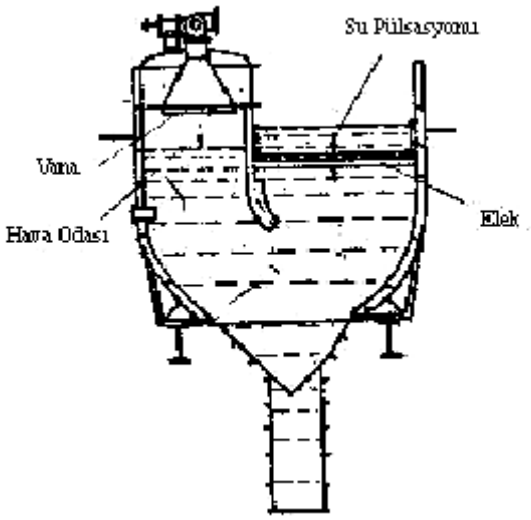
2.2.2.1.1.3. Jigler

İnce kömür kadar iri kömürün temizlenmesinde de çok yaygın olarak kullanılır. Jiglerde ortam olarak su kullanılır. Suyun pülsasyon hareketi piston veya hava vasıtasıyla sağlanır. Suyun hareketi ile kömür ve kömürle beraber olan artıklar yoğunluklarına göre tabakalaşır. Kömürde kullanılan jigler Baum ve Batak jigleridir.

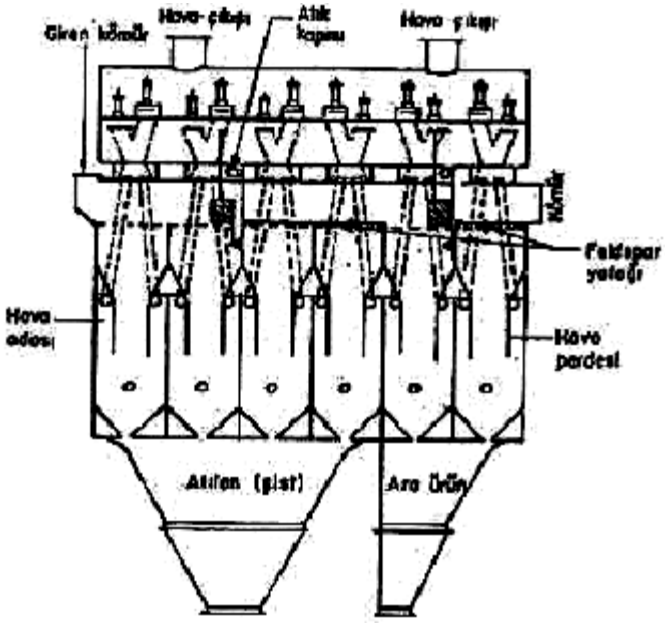
Baum jiginin (Şekil 2.10) maksimum kapasitesi, beslenen kömürün özelliklerine bağlı olarak 250 ton/saat civarındadır. Boyut aralığı ise –100+0,5 mm'dir. Genelde bu jigde lave, mikst ve şist halinde üç ürün alınır. İlk odada şist, ikinci odada ise dipten mikst ürünü alınır. Lave ise üstten alınır.

Batac jigi (Şekil 2.11) ise Baum jiginin geliştirilmiş ve kapasitesi arttırılmış tasarımıdır. Batac jiginin Baum jiginden en önemli farkı, tasarımda hava kompartımanı olarak ayrı bir kısım bulunmamasıdır. Bunun yerine eleğin altında seri halde konulmuş hava odaları vardır. Jigdeki hava vanaları elektronik kontrollü olup, hava giriş ve çıkışı

otomatik olarak kesilir. Batac jigi altı hücre ve üç kompartımandan oluşur. Her bir hücre iki adet hava odası içermektedir. Genelde ağır malzeme (şist) ilk oda sonundan, ara ürün (mikst) ikinci oda sonundan ve temiz ürün (lave) de son oda sonundan alınır. Endüstriyel çapta çalıştırılan en büyük batak jiginin kapasitesi saatte 540 tondur.



Şekil 2.10. Baum jigi



Şekil 2.11. Batac jigi (Ateşok, 2009)

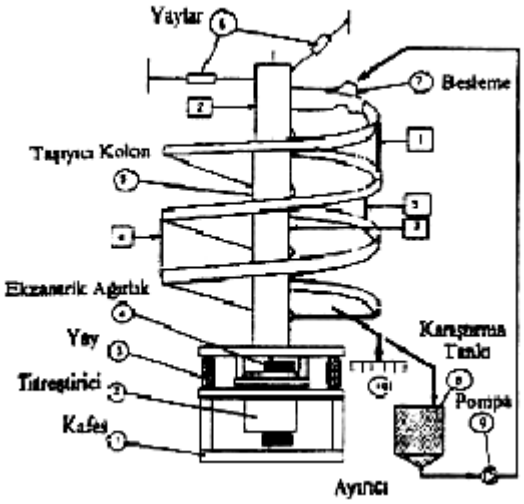
2.2.2.1.2. İnce kömür zenginleştirme yöntemleri

0,5 mm altındaki kömürlerin zenginleştirilmesinde oluklar ve flotasyon yöntemi kullanılır.

2.2.2.1.2.1. Oluklar

Kömür hazırlama tesislerinde kullanılan oluklar düz (Rheolaveur) veya dairesel (Reichert-Wickers) olabilir. Reichert-Wickers spiralleri son yıllarda, ince kömürün zenginleştirilmesinde en fazla kullanılan cihazlardan birisi olmuştur. Kömür için özel olarak hazırlanmış ve poliüretandan imal edilmiş 10-12 dönümlü spiraller 8-16 adetlik bataryalar halinde çalıştırılarak, dar bir alanda yüksek kapasitelere ulaşabilmektedir. Reichert-Wickers spiralleri için en uygun boyut 0,1 ile 0,4 mm arasıdır, Özellikle 0,5 mm boyutlu ince kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılırlar.

Ayrıca Mak (2011) tarafından, Nothingham üniversitesi ile yapılan ortaklaşa çalışmalar sonucunda – 0,5 mm boyutundaki malzemenin endüstriyel ölçekte zenginleştirilmesi amacı ile titreşimli spiraller geliştirilmiş (Şekil 2.12) olup yüksek pülp ile verimli bir ayrım sağlanabilmektedir. Titreşim uygulaması ile normal spirallere oranla üretim iki kez artmaktadır (Mak, 2011; Al, 2011).



Şekil 2.12. Titreşimli spiral

2.2.2.1.2.2. Kömür flotasyonu

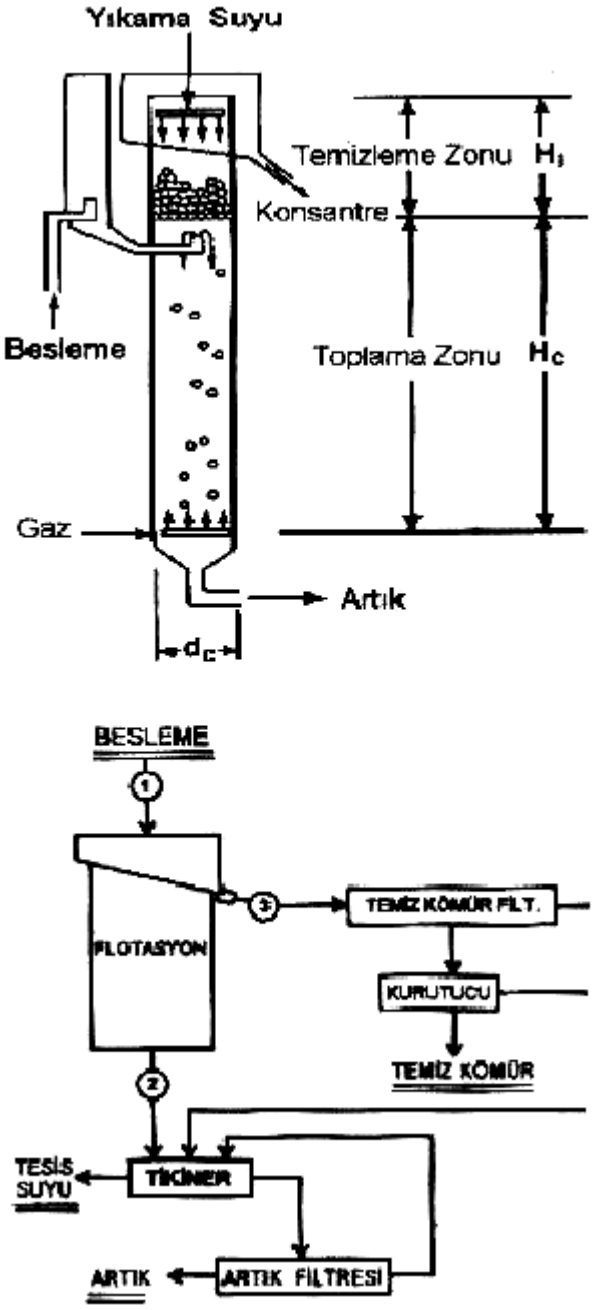
Flotasyon yöntemi 0.5mm altı kömürlerin temizlenmesinde uygulanmaktadır. Temiz kömür yüzeyinin hidrofob özellik göstermesi, yani kömürün doğal yüzebilirliğe sahip olması, kömür şist ve pirit ayrımını kolaylaştırmaktadır. Kömürün doğal yüzebilirlik özelliği kömürün kimyasal ve petrografik yapısına ve kömürleşme derecesine bağlıdır. En yüksek doğal yüzebilirlik % 89 C (kuru-külsüz) içeren kömürde

saptanmıştır. Bu değerin altında ve üstünde kömürün doğal yüzebilirliği azalmaktadır. Kömürleşme derecesi genç olan linyitler su alma ve yoğunlaşma özelliği gösterirler. Bu nedenle flotasyon işlemleri taşkömürü ve antrasitlerde yaygındır.

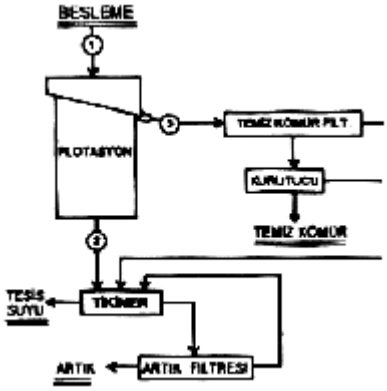
Bugün özellikle flotasyon teknolojisindeki gelişmelerle 0,045 mm altı kömürlerden süper düşük küllü (% 4'ün altında) temiz kömürler üretmek mümkün olmaktadır. Günümüzde en çok kullanım alanı bulan yeni flotasyon sistemleri; Kolon ve Jet(Jameson) flotasyon sistemleridir.

Kolon Flotasyonu (Şekil 2.13): Kolon flotasyonunu klasik (pervaneli) flotasyondan ayıran en önemli özellik, hücre şeklinin yanı sıra mekanik karıştırma sisteminin olmamasıdır. Ayrıca, bu sistemde, flotasyon köpüğü yıkama suyu verilerek yıkanmaktadır.

Endüstride kullanılan flotasyon kolonları, 9-15 m yükseklikte ve 0,5-0,4 m çaplıdırlar. Bazı tesislerde bu çap 4 m'ye kadar çıkmaktadır. Pülp beslemesi tabandan itibaren hücre yüksekliğinin 2/4'üne kadar yüksekten yapılmaktadır. Pülp, bu besleme noktasından aşağıya doğru inerken, yukarıya doğru hareket eden kabarcık ile karşılaşmaktadır. Taneciklerin kabarcığa yapıştığı bu bölgeye toplama bölgesi denmektedir. Köpük ürününün yıkandığı bölüm ise temizleme bölgesidir. Şekil 2.14'de, kolon flotasyonu ile ince kömürün zenginleştirildiği Pennsylvania Kömür Zenginleştirme Tesisi'nin akım şeması verilmektedir (Al, 2011).



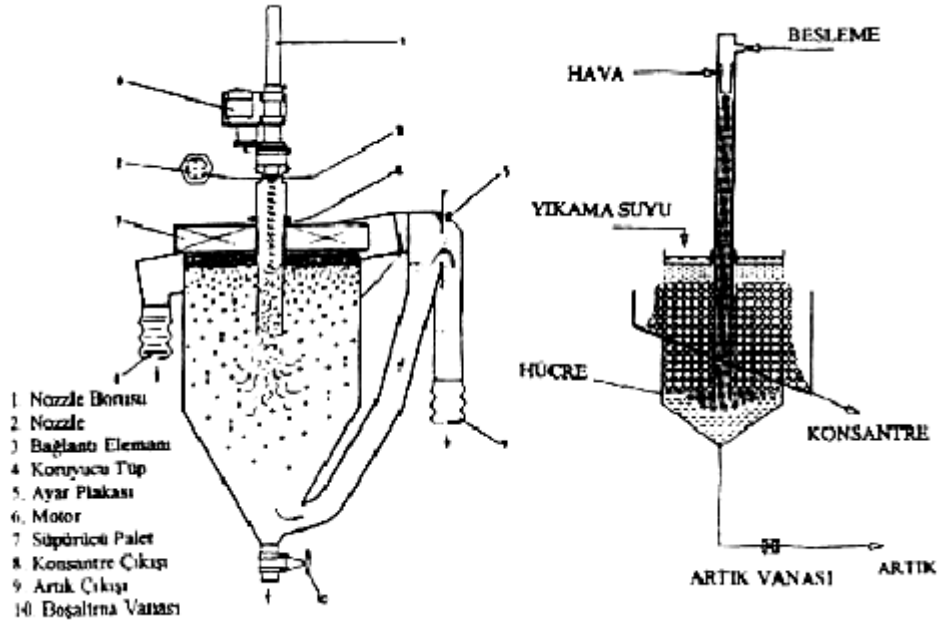
Şekil 2.13. Kolon flotasyonu (Ateşok, 2009)



Şekil 2.14. Pennsylvania kömür zenginleştirme tesisi akım şeması (Ateşok, 2009)

Jet flotasyonu (Şekil 2.15): Çok ince boyutlu tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılan jet flotasyonu, 1985 yılında Berlin Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. 20 mikronun altındaki boyutlarda bile etkili bir ayırma yapabilmektedir. 1990'lı yıllarda, Avustralya'da, sisteme yıkama suyu eklenerek, Jameson Cell adı altında, kömür zenginleştirme tesislerinde kullanılmaya başlanmıştır.

Sisteminin basitliği, kapasitesinin yüksek olması ve selektif konsantre üretmesi bakımından özellikle tercih edilen jet flotasyonunda, pülp, herhangi bir karıştırma işlemine tâbi tutulmaksızın, yüksek basınçla dar bir kesitten hava ile birlikte geçirilerek enerji ile yüklenmekte ve bu enerji pülpün karıştırılmasında kullanılmaktadır. Diğer sistemlere oranla, kabarcık miktarı fazla ve çap küçüktür. Bu da, flotasyon süresinin çok kısalmasına yol açmaktadır. Nitekim 0.8 m^3'lük bir jet flotasyon hücresi ile saatte 7 ton kömür zenginleştirilmektedir. Avustralya'da, 1200 ton/saat kapasiteli kömür zenginleştirme tesisinde, şist ile birlikte dışarıya atılan 50 ton/saat debisindeki çok ince boyutlu (ultra fine) kömürleri kazanmak amacıyla, tesise yeni bir jet flotasyon ünitesi eklenerek, % 92 yanabilir randımanla, % 10 küllü temiz kümür elde edilmiştir.



Şekil 2.15. Jet ve Jameson flotasyon sistemleri (Ateşok, 2009)

2.2.2.2. Kuru zenginleştirme yöntemleri

Susuz kuru temizleme yönteminin sulu kömür temizleme yöntemine göre bazı üstünlükleri vardır. Kuru sistemlerde su ve şlam problemleri yoktur. Ancak bunlara karşın kuru zenginleştirme yöntemi yaş zenginleştirmeye göre daha verimsizdir. Özellikle, birbirine yakın özgül ağırlıklı taneler içeren malzemenin efektif olarak ayrılması bu yöntemlerle olanaksızdır.

2.2.2.2.1. Ayıklama

2.2.2.2.1.1. Elle ayıklama

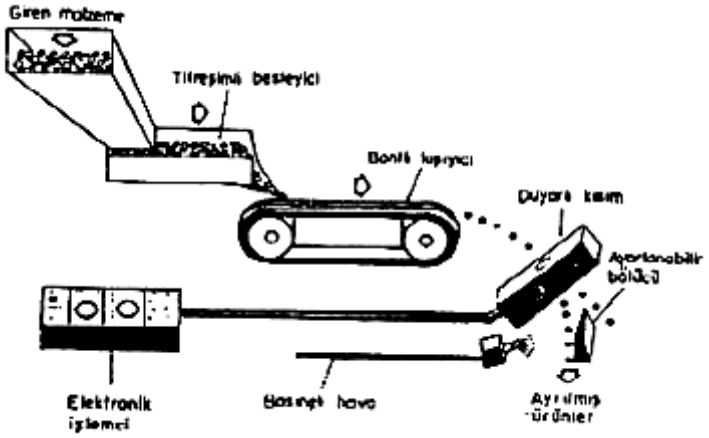
Çok eski ve büyük ölçüde insan gücüne dayalı bir yöntemdir. İri parçalardan temiz kömür veya şistlerin ayrılması şeklinde yapılır. Ayrıca lavvar dışında, madenden gelen kereste artıkları, teller vs. gibi maddeleri de alınır. Genelde alt boyut 100 mm'dir. Bu boyutun altında bu iş başarılı olmamaktadır.

2.2.2.2.1.2. Elektronik kömür seçicileri

50 mm'nin üstündeki iri kömürlerde uygulanır. Bu seçicilerde bilgisayarlı lazer tarama veya video-kamera tekniğinden yararlanılır.

Sistem, taşkömürü, linyit ve inorganik safsızlıklarının yüzeylerinin ışığı farklı yansıtma özelliğine dayanır. Fotometrik seçiciler (Şekil 2.16), farklı yansıma veren taneleri birbirinden ayırırlar.

Elektronik seçicilerin hepsinde, kömür veya minerallerin seçici tarafından tek tek incelenmesini sağlayan bir beslenme bölümü, bir uyarıcı, bir elektronik işlemci ve kömür veya minerallerin ortamdan uzaklaştırılmasını sağlayan bir hava üfleyici bulunur.

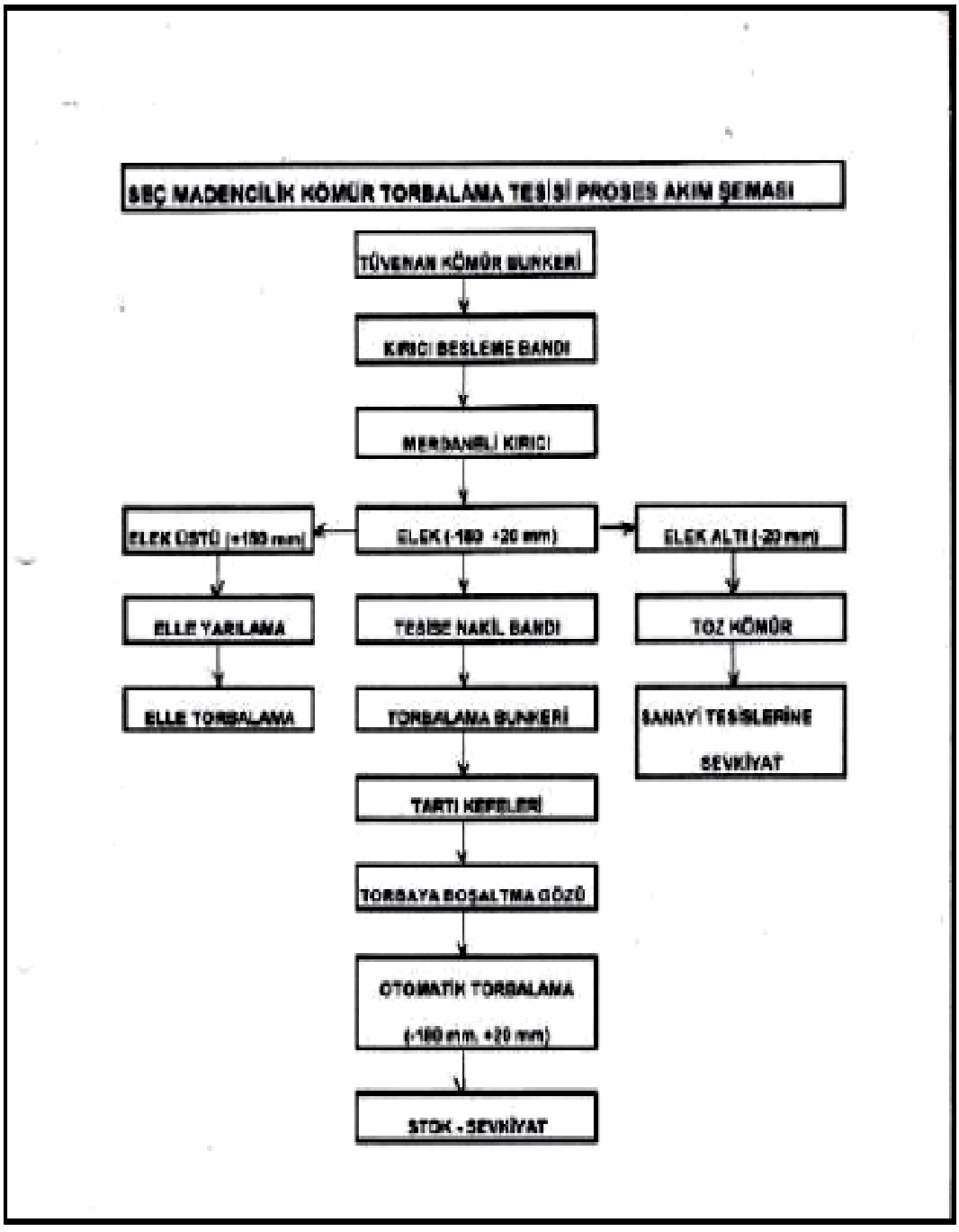


Şekil 2.16. Fotometrik ayırıcı (Ateşok, 2009)

Macaristan'da Orasjlany Tesisinde 80-40 mm boyut aralığındaki kömürlerin temizlenmesinde fotometrik seçiciler kullanılmaktadır. Tesiste mevcut 4 fotometrik seçicinin toplam kapasitesi saatte 160 tondur.

2.2.2.3. Kömür zenginleştirme tesisleri akım şemaları

Seç Madencilik kömür hazırlama tesisi akım şeması Şekil 2.17'de gösterilmiştir (Al, 2011).



Şekil 2.17. Seç Madencilik kömür hazırlama tesisi akım şeması (Anon.2001)

2.2.3. Kömürün susuzlandırılması

Kömürlerin ocakta üretildikleri gibi tüketimlerini engelleyen en önemli safsızlıklar; kükürtlü bileşikler, inorganik bileşikler ve nemdir. Ocak çıkışında, taş kömürleri % 1-10, sert linyitler % 20-40, yumuşak linyitler % 40-60, turbalar ise % 60'ın üzerinde nem içerirler. Tüvenan kömürlerin nemi, kömürleşme derecesi azaldıkça artmaktadır. Türkiye linyitlerinin ancak % 14 kadarının nem içeriği % 20'nin altında

olup, geri kalan % 86'sı yüksek oranda nem içermektedir ve ortalama nem içerikleri % 41,8'dir.

Fazla miktarlarda su kullanılan kömür hazırlama uygulamalarının sonunda suyun uzaklaştırılması hem ürün hem de atık açısından önemlidir. Elde edilen temiz kömürün suyundan ayrılması nakliye, stoklama, satış şartları ve izleyen işlemleri etkilerken, atığın susuzlandırılması çevresel problemler açısından gereklidir. Tüvenan ve yıkanmış kömürün gerektiğinde, susuzlandırılması ve/veya kurutulması yaygın olarak uygulanmaktadır (Ateşok, 2009).

Kömür susuzlandırmanın genel nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

-Kömürün ısıl değerini azaltan suyun uzaklaştırılması

- Suyun uzaklaştırılmasıyla nakliye giderlerinin azaltılması

-Nakliye sırasında nem nedeniyle ortaya çıkacak sorunların ortadan kaldırılması

-Kırma ve öğütme cihazlarının kapasitesinin arttırılması

-Kok, briket ve çeşitli kimyasal maddelerin üretimi için uygun bir kömürün sağlanması

-Kuru kömür zenginleştirilmesine olanak sağlanması

Kömürün susuzlandırılması ve kurutulması sonucu, ısıl değeri yükselir. Böylelikle, üretim noktasından tüketime kadar taşımada, önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabilir. Islak kömür, taşıma, boşaltma ve kullanımı esnasında, iklim şartlarına göre de önemli problemler yaratabilir.

Susuzlandırmada mekanik, kurutmada ise ısıl yöntemler kullanılarak, kömürlerin nem içeriği azaltılır. Mekanik yöntemler ile giderilebilecek nem miktarı sınırlıdır, daha fazla nem gidermek için kömürün kurutulması gerekir (Atak ve Ateşok, 1991; Kural, 1998).

2.2.3.1. Kömür susuzlandırma yöntemleri

Kömürün susuzlandırılmasında kullanılan ekipmanlar, başlıca dört ana grup altında toplanabilir. Uygulandıkları tane boyutuna göre, bu ekipmanlar şu şekilde sınıflandırılabilir.

-Hareketli elekler (sallantılı>20 mm ve titreşimli 0,2-10 mm), hareketsiz elekler, kavisli elekler (0,1-4 mm).

-Santrifüj etkisi kullanan ekipmanlar; hidrosiklonlar (0,2-10 mm), santrifüjler(0,05-10mm).

-Basınç farkı kullanan ekipmanlar; filtreler <2mm.

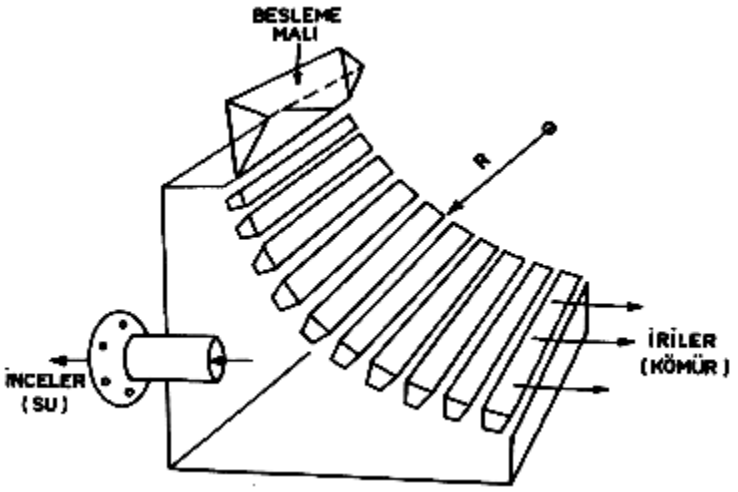
-Yer çekimi ivmesi kullanan ekipmanlar; tikinerler (koyulaştırıcılar<0,05 mm).

2.2.3.1.1. Elekler

Eleme işlemi, sınıflandırmada kullanılabileceği gibi, malzemeyi suyundan arındırmakta da kullanılabilir. Nem oranı, tane boyutuna bağlı olarak değiştiği için, eleme esnasında, suyun katı tanelerden süzülerek ayrılması suyun dağılımını boyuta göre düzenler.

Susuzlandırmada kullanılan elekler, genel olarak, hareketli ve hareketsiz elekler olmak üzere ikiye ayrılabilirler. Hareketsiz eleklerin en çok kullanılanı, kavisli elek olarak bilinen sieve bend eleğidir. Susuzlandırmada kullanılan bu elek, genellikle, hareketli (titreşimli) eleklerin önüne yerleştirilir. Kavisli elek, pülp akışına teğetsel eğri bir yüzey üzerinde akıma dik olarak yerleştirilmiş paralel çubuklardan oluşur (Şekil 2.18.). Malzeme, 4-8 m/s'lik bir hızla eleğe beslenir ve hız çıkışa doğru azalır.

Beslenen malzemenin katı madde oranı % 20'yi aşmamalıdır. Aksi takdirde, malzemenin yoğunluğu, elek yüzeyinden süzülme kabiliyetini ve dolayısıyla çalışma performansını büyük ölçüde etkiler. Eleğin açısı 45°, fakat en yaygın kullanım açısı 45-60° arasındadır. Yarıçap r, yaklaşık 750 mm civarındadır.



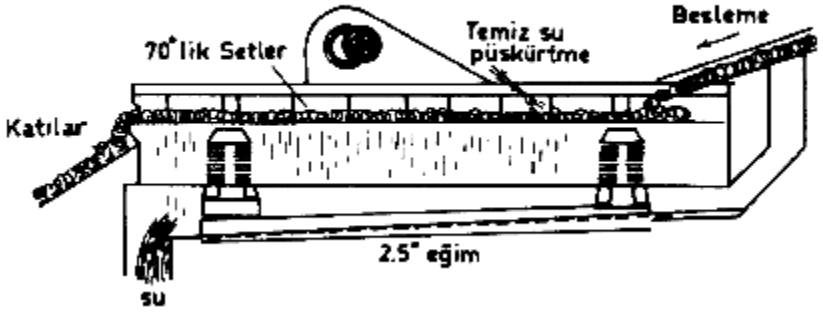
Şekil 2.18. Kavisli eleğin şematik görünüşü (Atak ve Ateşok, 1991)

Kavisli elekler, yüksek kapasiteleri ve performansları nedeni ile susuzlandırmanın ilk aşamasında tercih edilirler. Hareketli elekler, sallantılı, titreşimli ve resonans olmak üzere üçe ayrılırlar.

Sallantılı elekler, genellikle, eğimli olarak yerleştirilirler ve yavaş (150 devir/dakika; 70-100 mm strok), hızlı (200-400 devir/dakika; 25-75 mm genlik) olmak üzere iki şekilde tasarlanırlar. En iyi uygulama alanları kömür hazırlamadadır.

Titreşimli elekler; yüksek frekanslı (500-2500 devir/dakika; 10 mm'den kısa strok) ve düşük (25-500 devir/dakika; 15-40 mm genlik) frekanslı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Titreşimli elekler, yapısal olarak çok çeşitlilik gösterirler (Keller ve Stahl, 1994). Şekil 2.19'da gösterilen Elliptex susuzlandırıcı adı verilen bu elekte, malzeme, eleğe eliptik olarak beslenir. Elek üzerinde, kıyılardan 70° eğimli ve 40 mm yüksekliğinde ve l m aralıklarla yerleştirilmiş bir seri set bulunur. Kömür taneleri, elek yüzeyi üzerindeki hareketleri esnasında, bu setler tarafından yavaşlatılır ve sıkışma ile tabakalaşmaya maruz kalarak suyun çoğundan kurtulurlar.

Taneler, elek üzerinde ilerlemek için setleri aşmak zorundadırlar ve bu olay sırasında genleşirler. Böylece, taneler arasında kalmış olan suyun bir kısmı daha ortamdan uzaklaştırılır. Bu elekle, boyutu -4 mm olan taş kömürünün nem oranının, yaş elemeye rağmen, % 12,2'ye düşürülebildiği görülmüştür. Bu elekle, boyutu 0,2 mm'ye kadar olan taneler dahi susuzlandırılabilir (Ateşok, 2009).



Şekil 2.19. Elliptex susuzlaştırıcısı (Osborne, 1990)

Diğer tip eleklerde hareketin yönü sürekli değiştiği için enerjinin çoğu harcanmakta ve bu nedenle yüksek güçlü motorlar gerekmektedir. Bu nedenden dolayı, harcanan enerjiyi koruyup gerekli motor gücünü düşürmeye yönelik resonans tipi elekler dizayn edilmiştir ve bu elekler 50 mm'den 0,5 mm'lere kadar boyutlarda ve çok değişik malzemeler için kullanılabilirler. Şekil 2.20'de, resonans tipi eleklerden biri olan Linatex-Derrick eleğinin şematik görünüşü gösterilmektedir. Bu eleğin kasası bölümlere ayrılmıştır ve her bir bölümün eğimi değişiktir. Başlangıçta daha düz olan yüzey akmakta olan süspansiyondan suyun süzülmesine olanak verir. Nem içeriği

azaldıkça, katıların akışkanlığı azalacağından kasanın eğimi gittikçe artmaktadır (Önal ve ark., 1986).



Şekil 2.20. Derrick eleğinin şematik görünüşü (Önal ve ark., 1986)

2.2.3.1.2. Santrifüjler

Santrifüjlerde de siklonlarda olduğu gibi, katı sıvı ayırımı, katı sıvı arasındaki yoğunluk farkına dayanır. Taneler, yer çekiminin birkaç katı ivmelere maruz bırakılarak sudan ayrılırlar. Dolayısıyla, santrifüjler, yer çekimi ivmesiyle çöktürülemeyen ince tanelerin ayrılabildiği gravite cihazlarının bir uzantısı olarak düşünülebilirler.

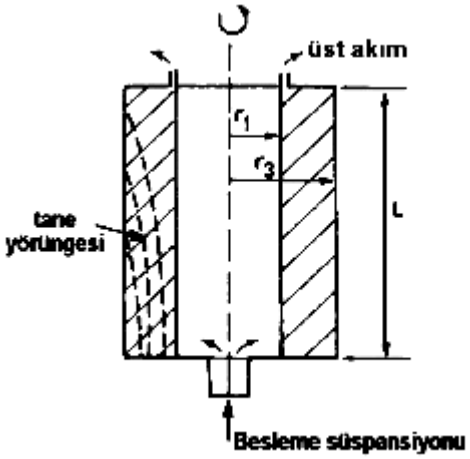
Susuzlandırmada kullanılan santrifüjler genel olarak, kullanılan sepetin cinsine ve malzemenin boşaltıldığı mekanizmaya bağlı olarak dört ana tipe ayrılabilirler. Bunlar; tüp, sepetli, konveyör ve disk tipi santrifüjlerdir. Bu santrifüjler içinde en fazla kullanım alanı bulan ise, sepetli tip santrifüj susuzlandırıcıdır.

Malzemelerin santrifüj ile susuzlandırılmasında en önemli parametrenin tane boyutu (veya yüzey alanı) olduğu anlaşılmıştır. Kömür ve mineral konsantreleri üzerine yapılan susuzlandırma deneylerinde boyut küçüldükçe veya tanelerin yüzey alanları büyüdükçe, kekin nem içeriği belirgin bir şekilde artmaktadır.

2.2.3.1.2.1. Tüp tipi santrifüjler

İşlem kesikli, malzemenin çıkışı manüeldir. Tüp santrifüjlerin tanımlayıcı özelliği yüksek (4-8 arasında) sepet uzunluğu-sepet çapı oranıdır. Pülp tüpün tabanından verilir ve yukarı doğru ilerlerken, santrifüj kuvvet etkisiyle katılar sıvıdan ayrılarak tüp

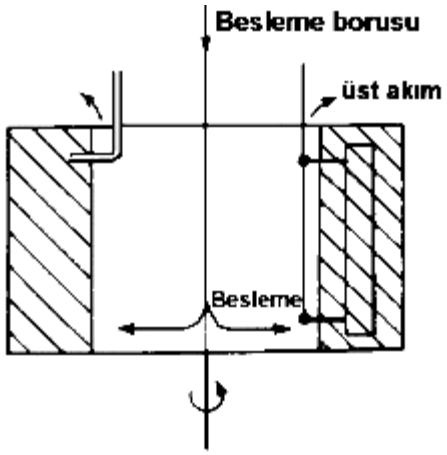
cidarları boyunca çökelirler. Su ve çok ince taneler, üst kısımdan santrifüjü terk ederler (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. Tüp tipi santrifüjün şematik görünüşü (Ateşok, 2009)

2.2.3.1.2.2. Sepet tipi santrifüjler

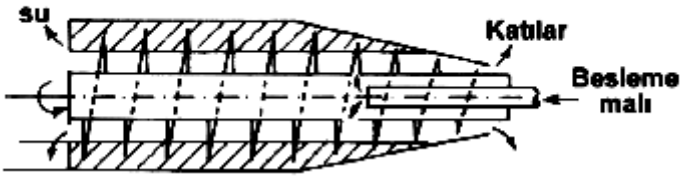
Çok sepetli santrifüj tipinde operasyon kesikli, deşarj manüeldir. Deliksiz sepetli santrifüj tipinde ise operasyon yarı-süreklidir. Deşarj periyodiktir. Sepetli tip santrifüjlerde küçük sepet uzunluğu-sepet çapı oranı en belirgin özelliklerinden biridir. Bu oran genellikle 0,6 civarındadır. Delikli sepetli santrifüjlerde suyun atımı santrifüjsel filtrasyonla gerçekleşirken, deliksiz sepetli tiplerde santrifüj kuvvetine bağlı olarak hızlandırılmış çökelme sayesinde gerçekleşir. Cowper ve arkadaşları, delikli sepetli santrifüjlerin nem atımında deliksiz sepetli santrifüjlere kıyasla daha başarılı olduğunu gözlemişlerdir. Bu tür santrifüjlerle -6+0,5 mm boyutlu taneler sıkıştırılabilir ve besleme malının yüzey nemi % 20-40'lardan % 6'ya kadar düşebilir. Genel olarak dik eksen etrafında dönecek şekilde tasarlanmaktadır ve bazı durumlarda ikinci bir motorla sepete titreşim verilerek katı malın boşaltılmasına yardım edilebilir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Deliksiz sepet tipi santrifüjün şematik kesiti (Ateşok, 2009)

2.2.3.1.2.3. Konveyör tip santrifüjler

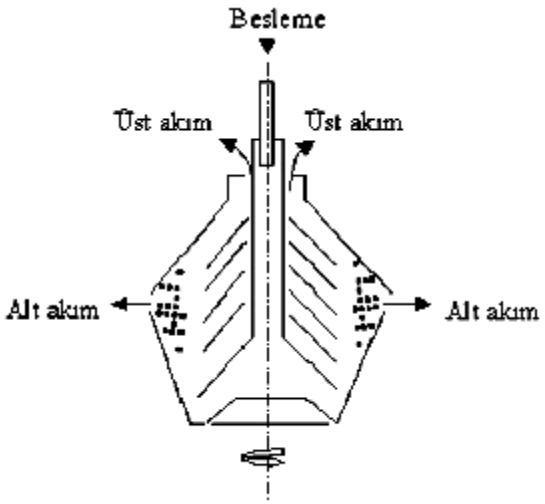
Operasyon ve deşarj süreklidir. Konveyör tip (dekantör tip) santrifüjler, 1,5-4,5 arasında bir sepet uzunluğu-sepet çapı oranına sahiptirler. Sepetin ortasında, sepete göre biraz yavaş ya da daha hızlı dönen bir burgulu konveyör bulunur. Besleme malı, burgulu konveyörün ortasından girer, cidarlardaki açıklıklardan geçerek sepetin cidarlarına savrulur. Katılar konveyör tarafından, beslenen kömürün ters istikametinde dışarı taşınırlar (Şekil 2.23).



Şekil 2.23. Konveyör tipi sepet santrifüjün şematik görünüşü (Ateşok, 2009)

2.2.3.1.2.4. Disk tipi santrifüjler

Bu tip santrifüjler üst üste birleştirilmiş konik diskler içermektedir (Şekil 2.24). Malzeme merkezden verilir. Sıvı, diskler arasından ince film halinde geçerek çıkışa giderken taneler çökelirler. Burada temel fikir fazla tabaka kullanarak çökelme kapasitesini arttırmaktır.



Şekil 2.24. Disk tipi santrifüjün şematik kesiti (Ateşok, 2009)

2.2.3.1.3. Hidrosiklonlar

Siklonlar susuzlandırma uygulamalarının yanı sıra gaz temizleme, yakma, atomize etme ve toz sınıflandırma gibi pek çok değişik alanda kullanılırlar. Sıvı için tasarlananlarına hidrosiklonlar veya hidrolik siklonlar denir. Santrifüjlerde olduğu gibi, katı-sıvı ayırımı, katı ile sıvının arasındaki yoğunluk farkına dayanır. Süspansiyondaki taneler merkezkaç kuvvetine maruz bırakılarak sıvı kısımdan ayrılırlar. Santrifüjlerden farklı olarak hiçbir hareketli parça içermezler. Gerekli olan vorteks hareketi sıvının kendisi tarafından sağlanır. Siklon çapı, siklon koni açısı, besleme girişi, alt ve üst çıkışların çapları, silindirik kısmın uzunluğu ve besleme basıncı genel olarak siklonun yapısal özellikleri ile ilgili faktörlerdir. Malzeme ile ilgili faktörler ise beslenen ürünün katı oranı ve tane boyutudur. Siklon boyu tane boyutunun küçülmesi ile doğru orantılı olarak azalır. Beslenen katı malzeme içerisindeki tanelerin % 50'sinin alt akıma, % 50'sinin üst akıma yöneldiği tane boyutu siklonun ayırma boyutu (d_{50}) olarak tanımlanır. Tasarımları genelde aynı olmasına rağmen boyutları çok değişkendir (Ateşok, 2009)

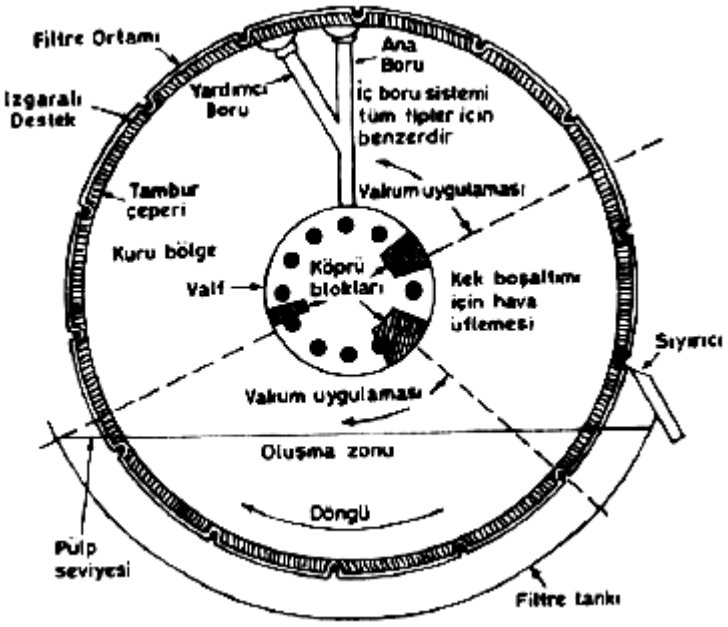
2.2.3.1.4. Filtreler

Filtrasyon, gözenekli bir ortamda katıların tutularak sıvının bu ortamdan geçmesi ve böylece katıların sıvılardan ayrılması yöntemi olarak ifade edilir. Genellikle filtre olarak kullanılan ortamın delikleri ayrılması istenen katı tane ebadından büyük olmakta ve iyi bir filtrasyon işlemi ancak katı malzeme filtre ortamında

birikmeye başladıktan sonra gerçekleşebilmektedir. Bir başka deyişle, filtre ortamı kek tabakası oluşuncaya kadar filtre çamuruna destek görevi yapar. Gerçek filtre ortamı olan kekin ilk tabakalarının oluşması esnasında ince tanelerin başlangıç anındaki filtre ortamının deliklerini tıkamasına engel olmak gerekir. Bu nedenle filtre ortamı mümkün olduğunca iri delikli seçilmelidir (Ateşok, 2009).

2.2.3.1.4.1. Döner tambur filtre

Kekin filtreden alınmasını otomatik olarak yapan emme esasına göre çalışan filtredir. Döner tambur filtre yatay eksen etrafında dönen bir silindirden ibarettir (Şekil 2.25). Silindirin dış yüzeyi deliklidir ve üzeri filtre bezi ile kaplanmıştır. Silindir birkaç bölmeye ayrılmıştır. Her bölme ile ortada dönen valf arasında ayrı bağlantı yapılmıştır. Silindir belirli bir pülpün içine batırılmıştır ve pülp içindeki katı kısmın çökmesini önlemek amacıyla, bir karıştırıcı pülp tankını karıştırmaktadır. Silindirin pülpe batan kısımlarına vakum uygulanmaktadır. Her bölme sırasıyla pülp tankına batar, kek daha sonra yıkanır ve bir hava akımı ile kısmen ısıtılır. Son olarak filtre bezinin altına basınç uygulanarak kekin silindirden ayrılması sağlanır. Tambur dönüş hızını ayarlayarak (0,1-1 devir/dakika) yaklaşık 10 cm kalınlığa kadar kek elde edilebilir. Devir sayısının artması daha ince kek elde edilmesine yol açar ve filtrasyon hızı artar. Bu aletlerin kapasiteleri filtre yüzeyinin her m²'si için saatte 500-20.000 kg katı arasındadır ve bu kekin cinsine göre değişir. Aletin en can alıcı noktası daha önceden belirlenmiş pozisyonlarda emmeden basınca geçişi sağlayan valf sistemidir. Genel olarak 1 tam devrin 1/4'ü filtrasyon 1/2'si yıkama ve kurutma ve 1/6'sı kekin sıyrılması için kullanılır. Kekin sıyrılması için sıyırma bıçağı veya güç sıyırılan keklerde sicimli ayırma metotları kullanılır (Ateşok, 2009).

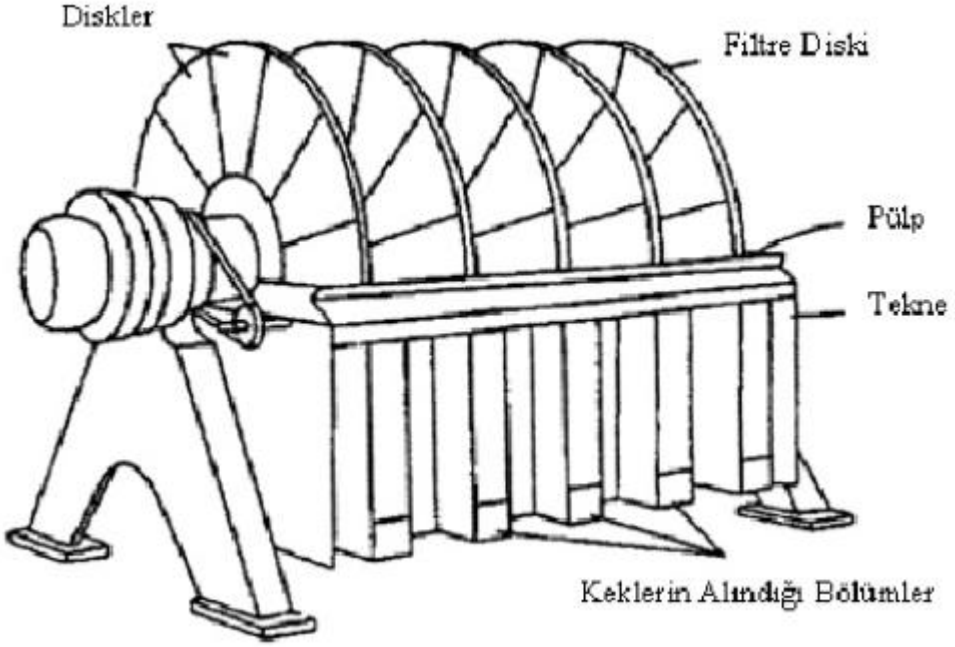


Şekil 2.25. Sürekli çalışan döner tambur filtre (Kural, 1998)

2.2.3.1.4.2. Döner diskli filtre

Bunlar da tambur filtreler gibi filtrasyon, yıkama, kısmen kurutma ve kekin filtreden alınmasını otomatik olarak yapan emme esasına göre çalışan filtrelerdir. Madencilik endüstrisinde kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Fakat günümüzde kimya endüstrisinde de geniş uygulama alanı bulmuşlardır. Döner disk filtre daire şeklinde çeşitli sayıda filtre levhalarından meydana gelmiştir ve bu yaprak levhalar boru şeklinde ağır bir şaft üzerine oturtulmuştur. Disklerin her bir bölümü ayrı bir çıkış noktasına bağlanmış ve çeşitli disklerin aynı hizaya gelen bölümlerinin çıkışları birleştirilerek sürekli bir kanal oluşturulmuştur.

Bu kanallar tambur filtrede olduğu gibi döner bir valf sistemine bağlanmışlardır (Şekil 2.26.). Disk filtrenin çalışma prensibinin döner tambur filtreye çok benzemesine rağmen bu filtrelerde elde edilen kekin yıkanması ve sıyrılması daha zordur. Bu tip filtrede disklerin farklı pülp tankları içine batırılması ile farklı pülpler aynı zamanda filtre edilebilir. Bu durumda süzülen kısmın ayrılması mümkün değildir. Disk filtrenin döner filtreye göre en önemli avantajı tesis içinde aynı boşluk için disk filtrenin çok daha fazla filtre alanına sahip olmasıdır.



Şekil 2.26. Döner diskli filtre (Kural, 1998)

2.2.3.1.4.3. Bantlı filtreler

Bantlı filtrelerde, filtre ortamı hareket halindeki bir bandın üzerindedir. Filtrasyon, iki bant arasında, pülpü basınç altında sıkıştırarak sağlanır.

2.2.3.1.4.4. Basınç tipi filtreler

Katıların fiilen sıkıştırılmalarının zorluğu nedeni ile basınç altında yapılan filtrasyonun vakumlu filtrasyona göre belirli avantajlarından söz edilebilir. Bu tip filtrelerde kullanılan yüksek basınçlar daha yüksek bir süzülme hızı ve aynı zamanda daha iyi yıkama ve kurutma olanakları sağlayabilmektedir. Diğer yandan filtrasyon esnasında oluşan kekin basınçlı filtre odalarından sürekli olarak dışarı alınması çok zor bir işlemdir. Bu nedenle her ne kadar sürekli çalışan filtreler mevcut ise de basınç tipi filtrelerin büyük bir çoğunluğu kesikli olarak çalıştırılmaktadır (Patwardhan ve ark., 2002).

Pres filtre en yaygın olarak kullanılan basınç tipi filtredir. Levhalı ve oyuklu olmak üzere iki şekilde imal edilmektedir. Oyuklu pres filtrelerin yapımı levhalı filtreye göre daha ucuz, kek boşaltılması kolay, fakat filtre ortamının yerleştirilmesi daha zordur. Ayrıca oyuklu filtrelerin aşınması ve yırtılması daha kolay oluşmaktadır (Kural, 1998).

2.2.3.1.5. Tikinerler

Tikinerler, katı-sıvı karışımı halinde beslenen kömürün katı konsantrasyonunun çökelme ile arttırılmasını ve aynı zamanda üst kısımda katılardan arınmış berrak bir sıvının elde edilmesini sağlayan endüstriyel cihazlardır. Tikinerler aralıklı veya sürekli çalışabilecek şekilde dizayn edilebilirler. Sürekli çalışan tikinerler madencilik dahil olmak üzere bir çok endüstride (kimya, çevre sularının temizlenmesi gibi prosesler) yaygın olarak kullanılırlar. Madencilikte kullanılan tikinerler diğerlerine göre çok daha büyük ve sağlam yapıda olmak zorundadır. Bunun nedeni; pülplerin büyük tonajlarda ve çoğunlukla yüksek özgül ağırlıklarda olmaları ve % 60-75 gibi yüksek konsantrasyonlarda çökelmeleridir. Şekil 2.27'de basitleştirilmiş tipik bir tikiner şeması görülmektedir.



Şekil 2.27. Tikiner'in şematik gösterimi (Kural, 1998)

Belirli boyuttaki ve tipteki bir tikinerde en yüksek verimi almak için çökelme hızı mümkün olduğu kadar fazla olmalıdır. Bu hız küçük miktarlarda flokülant veya koagülant kullanılarak efektif tane boyutunun irileştirilmesi ile arttırılabilir (Ateşok, 2009).

2.2.4. Kömürün kurutulması

Termal susuzlandırma, teknolojik nedenlerle uygulanmaktadır. Arzulanan nem oranına kadar kömürün nemini azaltmayı mümkün kılar. Koklaşma, briketleme, gazlaştırma vb. öncesi yüzey neminin tamamının giderilmesini sağlayan bir işlemdir. Termik santrale gidecek kömürün ısıl değerinin arttırılması için de bu tür susuzlandırma yapılır. Yüksek enerji sarfiyatından dolayı termal kurutma sadece mekanik kurutmanın iyi sonuç vermediği durumlarda kullanılır. Kömürün yüzey ve bünye nemi, susuzlandırma yöntemleri uygulanarak giderildiğinde, nem oranı son derece düşürülür, daha fazla nem giderimi yalnızca kurutma yapılarak mümkün olur. Kurutma, enerji ve kütle transferinin eş zamanlı gerçekleştiği bir işlemdir. Kurutmada, ısıtma uygulanarak kömürün içerdiği su buharlaştırılır ve ortamdan uzaklaştırılır. Kurutma yöntemi ile nem gidermede, suyun kaynama noktası civarında buharlaştırma yapılır. Kömürlere uygulanan iki kurutma sistemi vardır. Bu sistemler doğrudan ve dolaylı kurutma olarak bilinir. Ancak bazı durumlarda her iki sistemi de içeren karışım kurutma sisteminde uygulanır (Ateşok, 2009).

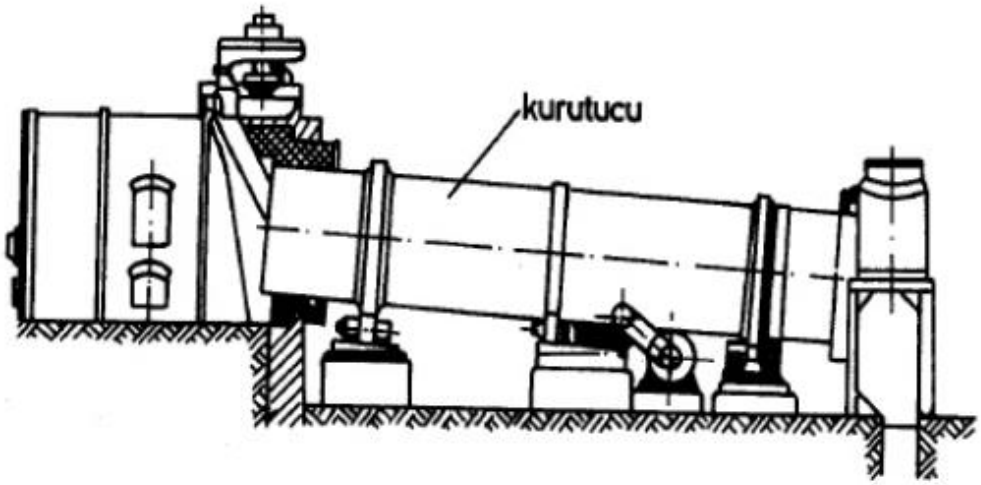
2.2.4.1. Kömür kurutma sistemleri

Geliştirilen birçok kurutma sistemi ürünlerin fiziksel özelliklerine dayanmaktadır. Kurutucular, kurutma yöntemine (doğrudan, dolaylı veya bunların karışımı) ve sürekli veya süreksiz çalışmalarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Doğrudan kurutucu, sıcak kurutma gazları ile yaş malzemenin yakın temasta olduğu ve nemin kurutucuyu dışarı giden gazlarla terkettiği tip kurutucu olarak tanımlanır. Dolaylı kurutucuda ise malzeme ile sıcak gazlar arasında bir duvar vardır. Isı bu duvar arasından malzeme üzerine iletilmektedir ve nem kurutucuyu başka bir yoldan terk etmektedir (Ateşok, 2009; Kural, 1998).

2.2.4.1.1. Döner kurutucular

Gerek büyük parçalı, gerekse küçük tane boyutlu kömürlerin kurutulmasında, sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.28). Isıtıcı akışkan, sıcak hava veya yanma gazlarıdır. Silindirik yapı, 1,5-4,5 m çapında, 12-40 m uzunluğunda olup, boylamasına yatay düzlemle 2-5°'lik açı oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir.

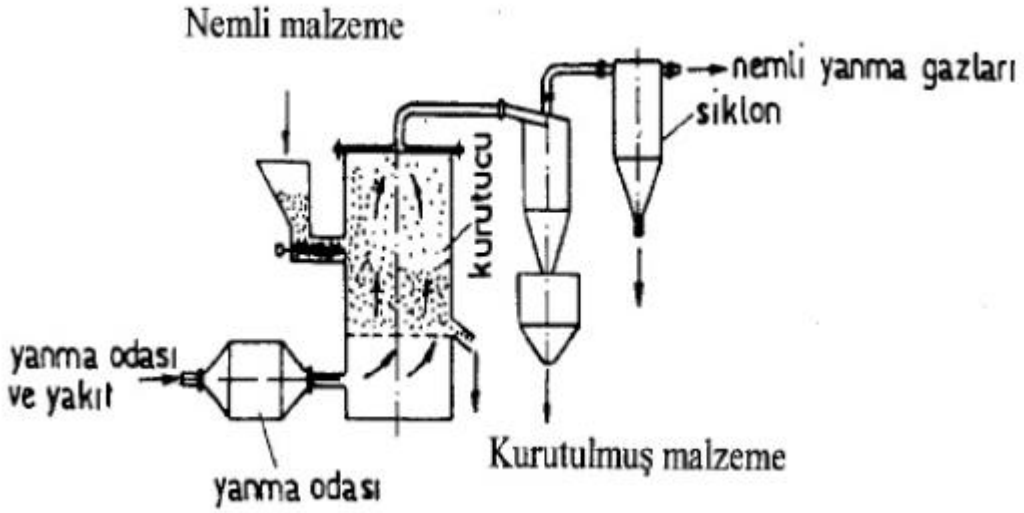
Dönme hızları 2-27 d/d'dır. Isıtma gazları direk veya endirekt olarak malzeme ile aynı veya ters yönde verilebilir. En iyi sistem silindirin iç basıncı ile dış basıncını dengeleyen üfleme-emme sistemidir. Kömüre hareket kazandırmak amacıyla, duvar çeperleri işlenebilir (Ateşok, 2009; Kural, 1998).



Şekil 2.28. Döner kurutucu (Kural, 1998)

2.2.4.1.2. Akışkan yataklı kurutucular

Döner kurutucuların yanı sıra madencilik endüstrisine hızla giren ve büyük bir kullanım alanı bulan diğer bir kurutucu da akışkan yataklı kurutucu tipleridir (Şekil 2.29). Bu kurutucular tabanı ızgaralı ve arasından sıcak gazın aşağıdan yukarıya doğru üflendiği düşey bir silindirden oluşmaktadır. Kurutucu bölümünde gaz hızı o şekilde ayarlanır ki malzeme bir akışkan gibi süspansiyon halinde tutulup kaynamaktadır. Döner kurutucularla karşılaştırıldığında, ısı transfer oranı daha düşüktür, yapısı daha basit ve tesis içinde kapladığı alan daha küçüktür. Bunun yanı sıra kurutmaya verilen malzemenin boyutunun daha küçük olması nedeniyle bir toz tutma sisteminin akışkan yataklı kurutucu ile birlikte çalıştırılması zorunludur (Ateşok, 2009; Kural, 1998).



Şekil 2.29. Akışkan yataklı kurutucu (Ateşok, 2009)

2.3. Kömürün Yıkanabilirliği

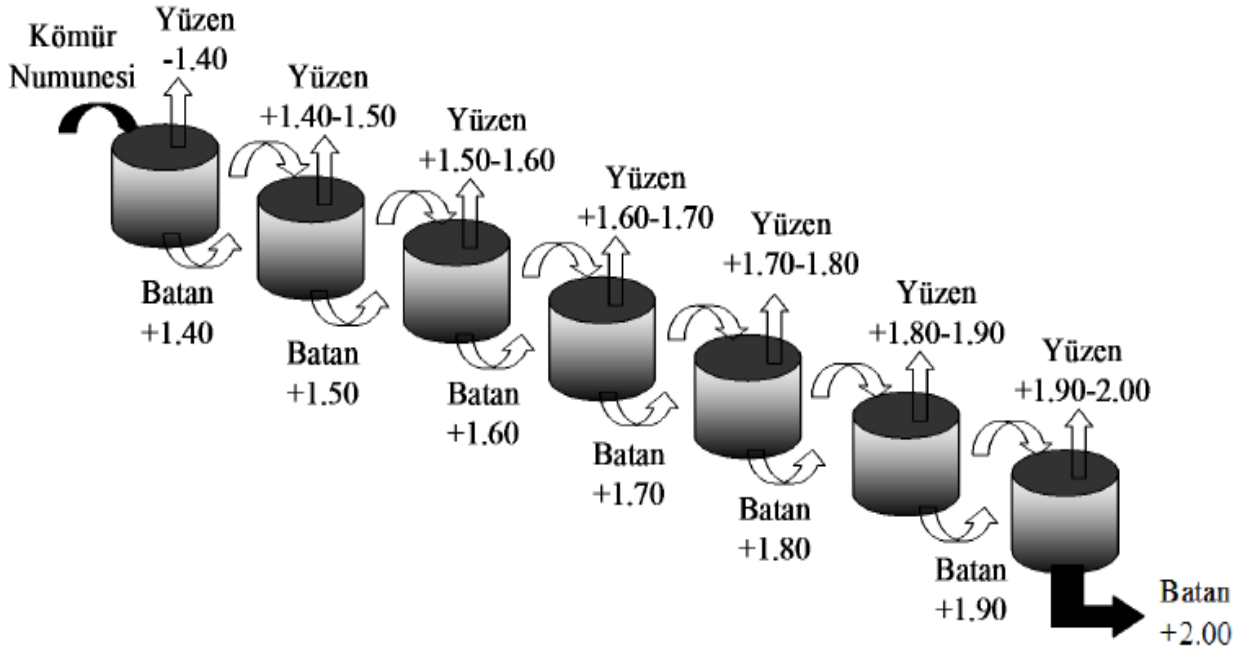
2.3.1. Kömürün yıkanabilme özelliği

Kömürlerin yıkanabilirlik özelliklerinin ya da flotasyon yeteneklerinin tespiti için geliştirilmiş olan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları; release test, tree test, reverse-release, timed-released, locked-cycle test, tüp flotasyonu, köpüksüz flotasyon ve film flotasyonudur. Bu yöntemler sayesinde, kömürün kül ve kükürt gibi safsızlıklarından temizlenmesinin kolay olup olmadığı, elde edilen temiz kömürün içeriği ve yıkama verimi gibi özellikleri tespit edilir. Aynı zamanda, ideal ayırma eğrilerinin çizilmesiyle teorik yıkanabilirlik sınırları belirlenir (Randolp, 1997). Belt filtre çamur örneğinin flotasyon yeteneğinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan release ve tree flotasyon test teknikleri uygulanmıştır. Deneyler 3 litrelik Humbold- Wedag tipi laboratuar ölçekli bir klasik flotasyon teknesinde yapılmıştır. ilk aşamada pülpte katı oranı % 10, karıştırma hızı 1400 devir/ dk'dır. Reaktif miktarı ise 900 g/ton gazyağı ve 120 g/ton Iso-octanol olmak üzere toplam 1020 g/ton'dur.

2.3.2.Kömür yıkama eğrilerinin değerlendirilmesi

2.3.2.1 Yıkama Eğrileri

Yıkama eğrileri farklı yoğunlukta ağır ortam sıvıları oluşturularak, bu sıvılarda kömür yüzdürülerek elde edilen veriler yardımıyla çizilen eğrilerdir. Bu ağır ortam sıvılarını aşağıda gösterilen şekil yardımıyla görebiliriz (Şekil 2.30).

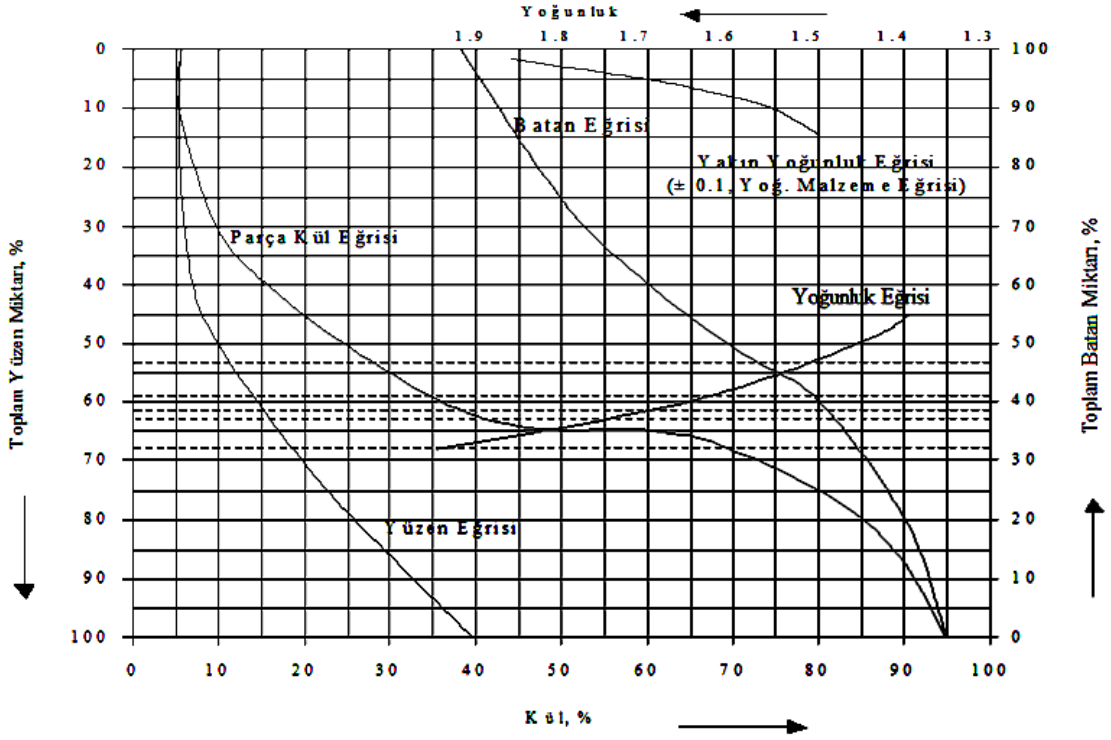


Şekil 2.30. Yüzdürme-batırma deneylerinin en düşük yoğunluktan başlayarak yapılışına ait bir örnek (Özkan ve ark., 2011)

Yukarıdaki sıvılar yardımıyla elde edilen değerler tablosu oluşturulur (Çizelge 2.2). Bu değerler tablosunda hayali veriler kullanılarak aşağıda örnek bir tablo ve onun altında da bu tablodan yararlanılarak çizilen eğri gösterilmiştir (Şekil 2.31). Alt kısımda hangi veriler kullanılarak eğrilerin çizildiği de açıklanmıştır.

Çizelge 2.2. Kömür yıkama verilerinin hesaplanış şekilleri (Özkan ve ark., 2011)

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0.1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK↓	Kül % $\frac{\Sigma MxK\downarrow}{\Sigma M\downarrow}$	Miktar% ΣM↑	ΣMxK↑	Kül % $\frac{\Sigma MxK\uparrow}{\Sigma M\uparrow}$	Yoğ.	± 0.1 Yoğ. Malzeme Miktarı, %
(a) (1) (b)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
-1.40	656.55	43.77	9.28	406.2	43.77	406.2	9.28	100.00	3953.4	39.53	1.40	–
+1.40-1.50	146.70	9.78	20.96	205.0	53.55	611.2	11.41	56.23	3547.2	63.08	1.50	14.80
+1.50-1.60	75.30	5.02	30.68	154.0	58.57	765.2	13.07	46.45	3342.2	71.95	1.60	7.90
+1.60-1.70	43.20	2.88	39.24	113.0	61.45	878.2	14.29	41.43	3188.2	76.95	1.70	4.86
+1.70-1.80	29.70	1.98	46.97	93.0	63.43	971.2	15.31	38.55	3072.2	79.77	1.80	3.60
+1.80-1.90	24.30	1.62	54.32	88.0	65.05	1059.2	16.28	36.57	2982.2	81.54	1.90	3.38
+1.90-2.00	25.40	1.76	60.42	106.3	66.81	1165.5	17.44	34.95	2894.2	82.81	2.00	–
+2.00	495.85	33.19	84.00	2787.9	100.00	3953.4	39.53	33.19	2787.9	84.00		
TOPLAM	1500.00	100.00	39.53									



Şekil 2.31. Kömür yıkama eğrileri (Özkan ve ark., 2011)

Kömür yıkama eğrileri 5 tanedir. Eğriler; aşağıda yazılmış kolonlar yardımıyla çizilmiştir.

1) Yüzen Eğrisi (kömür eğrisi) 6. ve 8. kolonlar

2) Batan Eğrisi (şist eğrisi) 9. ve 11. kolonlar

3) Parça Kül Eğrisi yoğunluk çizgileri ile 4. kolon

4) Yoğunluk Eğrisi yoğunluk çizgileri ile yoğunluk ekseninin kesişimi

5) ±0.1 Yoğunluğundaki Malzeme Eğrisi (dağılım eğrisi) 12. ve 13. kolonlar

Yıkama eğrilerinden yararlanılarak şu bilgiler elde edilmektedir:

a) Herhangi bir ayırma yoğunluğunda hangi kalitede ne miktar temiz kömür ve şist elde edilebileceği bulunabilir.

b) Gereksinim duyulan bir kömür kalitesi için ayırma yoğunluğu saptanabilmektedir.

c) Herhangi bir ayırma yoğunluğunda yapılan ayırmanın kolay olup olmayacağı konusunda fikir edinilebilmektedir.

Bir kömüre ait yüzdürme-batırma deney verilerinden yararlanılarak çizilen yıkanabilirlik eğrilerinden ayırmanın kolay olup olmayacağı; yoğunluk, parça külü ve ± 0,1 yoğunluktaki malzeme eğrilerinin görünümlerinden tespit edilebilmektedir.

Bu üç eğri yukarıdan aşağıya doğru uzanımlarda bir veya iki noktada ani bir kıvrım yaparak eğimlerini azaltıp yatay veya yataya yakın konuma gelmeleri diğer bir deyişle düzlükler oluşturmaları bu yıkamanın kolay olacağını göstermektedir. Aksine bu eğriler düzlükler oluşturmayıp yumuşak bir eğimle yukardan aşağıya doğru uzayıp gidiyorlarsa yani eğimleri dik ise bu yıkamanın zor olacağını göstermektedir (Ünlü, 1992). Bu üç eğrinin oluşturdukları düzlükler ayırımın yapılabileceği yoğunluk aralığını göstermektedir. Bu aralıkta ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı en azdır ve ayırma kolay olmaktadır. Çizelge 2.3' te ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarına göre ayırma kolaylığını göstermektedir. Çizelge 2.3'teki sınıflandırma ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarının tamamının ayırmada zorluk çıkaracağı kabul edilmektedir. Bu durum jigler gibi keskin ayırım yapamayan ve ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarının yanlış ürünlere dağılmasına neden olan prosesler için geçerlidir. Ağır ortam prosesleri daha keskin ayırma yapabilme ve % 10'dan daha fazla ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarı içeren kömürlerin yıkanmasında seçilmesi gereken tek proses olmaktadır (Ünlü, 1990).

Çizelge 2.3. Ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarına göre kömürün yıkanma kolaylığı

± 0.1 Yoğunluğundaki Malzeme Miktarı, %	Ayırmanın Güçlük veya Kolaylık Derecesi
0-7	Çok kolay
7-10	Kolay
10-15	Orta güçlükte
15-20	Güç
> 20	Çok güç

2.3.2.2. Mayer Eğrisi

Genel olarak kömür yıkama işlemlerinde, tuvenan kömür üç ürüne ayrılır.

• Temiz Kömür (Lave)

• Ara Ürün (Mikst)

• Artık (Şist)

Yıkama eğrileri sadece iki ürünlü yıkama işlemlerinde, lave ve şist miktarlarını, kül içeriklerini ve yıkama yoğunluklarını saptamaya uygundur. Üç ürünlü bir yıkama işleminde aynı bilgileri elde etmek için, iki grup yıkama eğrisinin çizilmesi gerekmektedir.

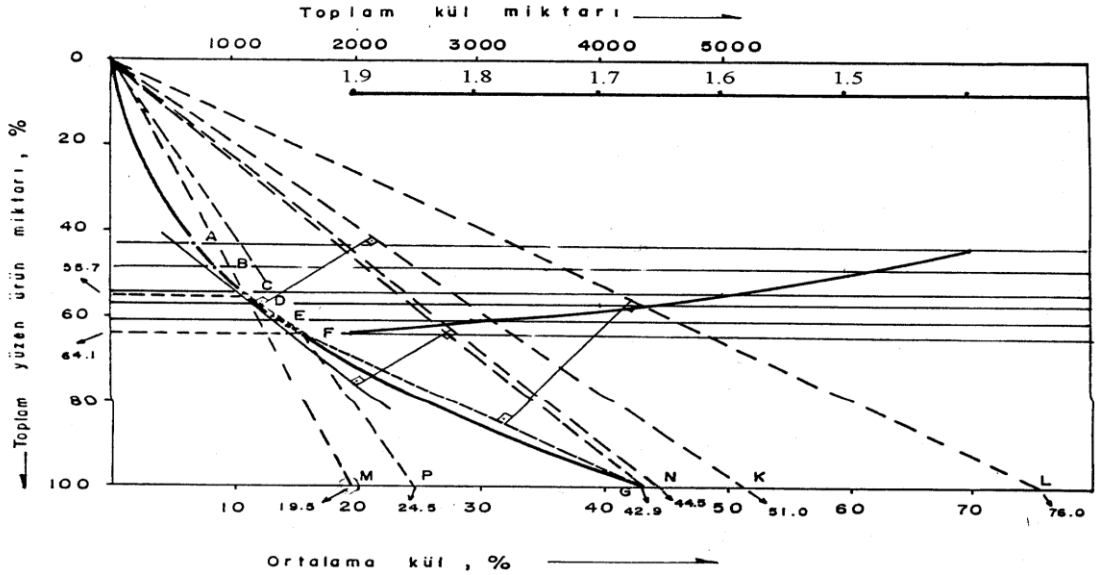
M-Eğrisi üç ürünlü bir yıkama işleminde (2 yoğunluk kullanılarak) bilinmesi gerekli tüm bilgileri (miktar, kül ve ayırma yoğunluklarını) tek bir yıkama eğrisinde verir.

M-eğrisi yıkma eğrilerine göre daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu durum özellikle düşük yoğunluk ve düşük kül içerikli ayrımlar için geçerlidir. Çünkü M-eğrisi kül bölümlemesi yıkama eğrisi kül bölümlemesine göre daha geniş aralıklıdır. M-eğrisi bu özelliği ile yıkama eğrilerinin yerine geçebildiği gibi yıkama eğrileri ile çözüm bulunamayan iki kömürün harmanlama sonuçlarının tahmin edilmesinde kullanılabilmektedir. Harmanlama, temiz kömüre bir tüvenan kömürün katılması ya da iki temiz kömürün birbirine katılması şeklinde olabilmektedir (Ünlü, 1990).

Aşağıda bu konuyu özetleyen ve teorik verilerle oluşturulmuş bir tablo ve Mayer eğrisi gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Mayer eğrisi verileri (Özkan ve ark., 2011)

1	2 (A)	3 (B)	4 Σ (A)	5 (AxB)	6 Σ (AxB)	7 $\frac{\Sigma (AxB)}{\Sigma (A)}$	
Yoğunluk Aralığı	Yüzen Ürün Miktarı %	Kül %	Toplam Yüzen Ürün Ağırlığı %	Kül Miktarı	Toplam Kül Miktarı	Ortalama Kül %	
1.4	43.2	15.90	43.2	686.9	686.9	15.9	A
1.4-1.5	7.4	26.99	50.6	199.7	886.6	17.5	B
1.5-1.6	5.1	39.13	55.7	199.6	1086.2	19.5	C
1.6-1.7	3.0	48.98	58.7	146.9	1233.1	21.0	D
1.7-1.8	2.7	56.66	61.4	153.0	1386.1	22.6	E
1.8-1.9	2.7	62.46	64.1	168.6	1554.7	24.3	F
1.9	35.9	76.19	100.0	2735.2	4289.9	42.9	G
	100.0	42.90				42.9	



Şekil 2.32. Mayer eğrisi (Özkan ve ark., 2011)

M-Eğrisinin Çizimi: 4.ve 6. kolonlar kullanılır.

2.4. Termogravimetrik Analiz ve Kömüre Uygulaması

2.4.1. Genel

Bu bölümde ısıl analiz ve ısıl analizin kömüre uygulanması hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, kömürde termogravimetrik yöntemlerin kömüre uygulamaları araştırılarak bu yöntemlerle ilgili bilgiler aktarılmış ve bu konuda çalışma yapmış olan araştırmacıların uygulamalarından bahsedilmiştir.

2.4.2. Isıl analiz

Isıl analiz, kontrollü bir ısıtma programına tabi tutulan bir maddenin ve/veya tepkime ürününün fiziksel bir özelliğinin sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldüğü bir grup tekniktir (Mackenzie 1979).

Bu tanıma göre bir ısıl tekniğin termoanalitik olarak kabul edilebilmesi için aşağıdaki şartları yerine getirmesi zorunluluğu vardır;

- Fiziksel bir özellik ölçülmelidir,
- Ölçüm doğrudan veya dolaylı olarak sıcaklığın bir fonksiyonu şeklinde ifade edilmelidir ve

- Ölçüm kontrollü bir sıcaklık programıyla gerçekleştirilmelidir.

Bu prensiplerden hareket ederek, incelenmek istenen madde ile ısıl olarak inert davranan diğer bir maddenin kontrollü bir ısıtma sırasında, kütle, hacim ve sıcaklıkları arasında oluşan farklara dayanan çok çeşitli aletsel analiz yöntemleri geliştirilmiştir. En yaygın olarak kullanılan teknikler, maddelerin bileşimi konusunda en doğru sonuçlar veren Diferansiyel Termik Analiz (DTA), Termogravimetrik Analiz (TG) ve Diferansiyel Termogravimetrik Analiz (DTG)'dir. Bu yöntemler günümüzde ayrı ayrı olarak veya aynı numunenin her üç ısıl eğrisiyle, fırın sıcaklığının değişimini aynı anda kaydedebilen karmaşık sistemler kullanılarak uygulanabilmektedir. Birçok durumda tek bir ısıl analiz yönteminin uygulanması, araştırma konusu olan maddeyle ilgili yeterli bilgi vermez. Bu nedenle hemen hemen tüm DTA ve TG verileri birlikte kullanılmaktadır (Özşen, 2003).

2.4.2.1. Numunenin ısıl analiz için hazırlanması

Kömürün ısıl analiz yöntemleriyle incelenmesinde, numunenin hazırlanış şekli sonucu önemli ölçüde etkilemektedir. Numunenin hazırlanış şekli, analizin amacıyla yakından ilgilidir. Genellikle, kömür örneği iyice karıştırılarak homojen hale getirildikten sonra ince öğütülerek, yığını iyi temsil eden bir numune hazırlanmaktadır (Karr, 1978; Özşen, 2003).

2.4.3. Termogravimetri ve diferansiyel (türevsel) termogravimetri

Termogravimetrik analiz, incelenecek numunenin belirli bir ortamda ve sabit bir hızda ısıtıldığı veya soğutulduğu zaman aralığının, zamanın veya sıcaklığın fonksiyonu olarak [m=f(t veya T)] kaydedildiği teknikleri kapsamaktadır. TG eğrilerine dayanarak, numunenin ağırlığının ısı enerjisinin etkisiyle nasıl değiştiğini saptamak mümkündür. TG eğrilerinde (Şekil 2.33) genellikle üç bölge vardır; Ağırlık artış bölgesi, ağırlık azalma bölgesi ve ağırlığın sabit kaldığı yatay bölge.

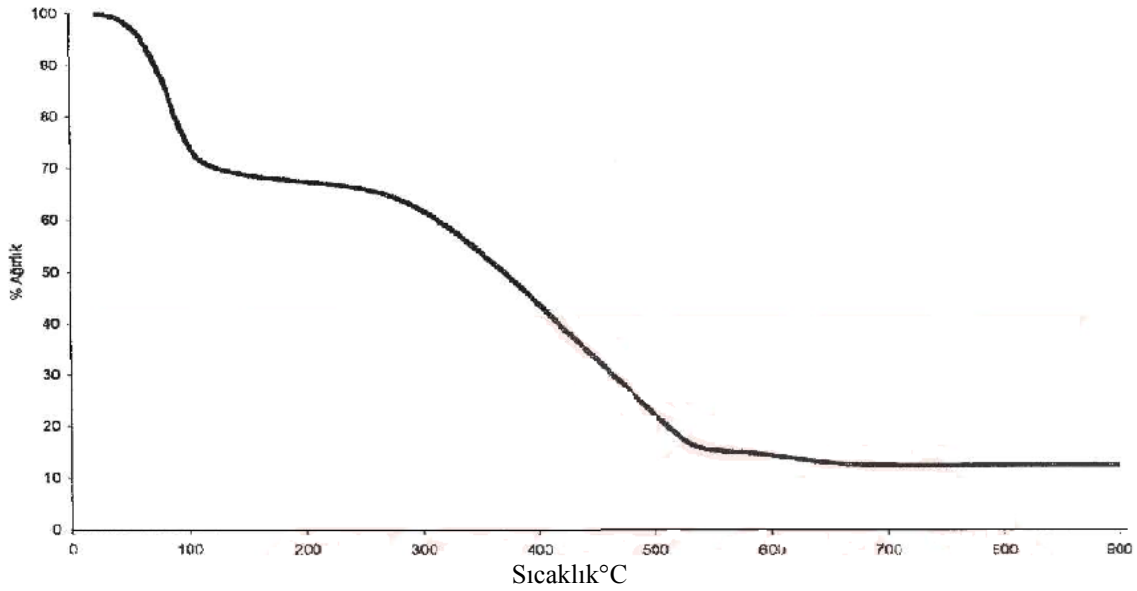
TG yaygın olarak üç değişik şekilde uygulanmaktadır (Kissinger, 1957);

- Numunenin ağırlığının sabit sıcaklıkta zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedildiği izotermal termogravimetri,

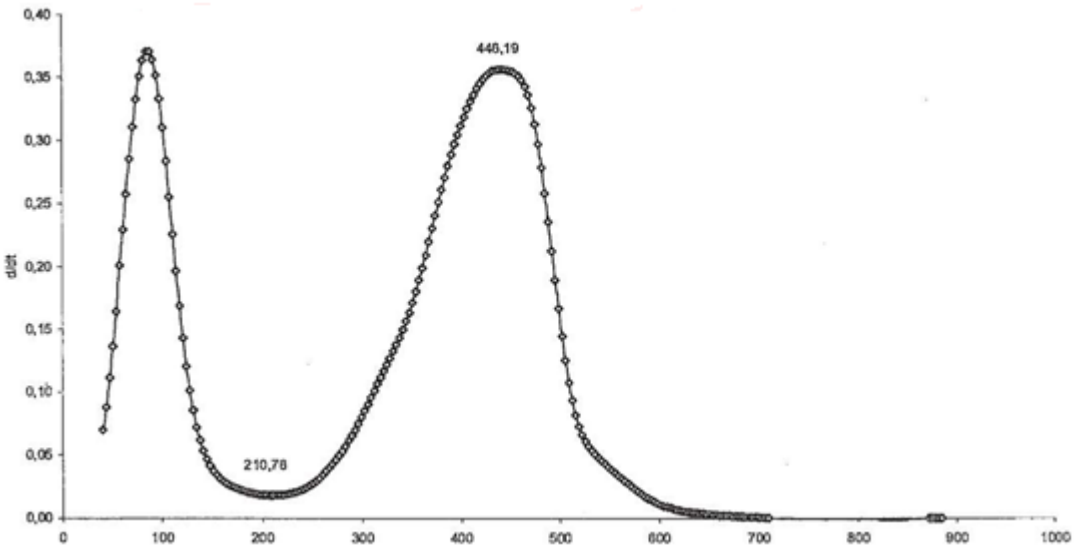
• Numunenin artan bir seri sıcaklıktan her birinde, ağırlığı sabit kalana kadar ısıtıldığı quasi-izotermal termogravimetri

• Numunenin, sıcaklığı önceden belirlenmiş bir şekilde (tercihen lineer hızla) değiştirilen bir ortamda ısıtıldığı dinamik termogravimetri. Dinamik termogravimetri genellikle TG olarak tanımlanmaktadır.

Diferansiyel termogravimetrik analiz, ağırlık değişiminin zamana göre birinci türevini [dm/dt=f(t veya T)] deneysel olarak kaydedilen teknikleri kapsamaktadır. Bu yöntem TG ile çok yakından ilgilidir; çünkü bu yöntemde m=f(t) eğrisinin zamana göre türevi kaydedilmektedir. Bu yöntemin uygulanması sonucu oluşan grafiksel kayıtlara diferansiyel termogravimetri (DTG) eğrileri denmektedir (Şekil 2.34). Ağırlık değişiminin türevleri ordinatta, zaman veya sıcaklık ise apsiste yer almaktadır. DTG eğrileri, ağırlık kayıp hızlarının sıcaklıkla değişimini gösteren eğrilerdir. Yöntem, ağırlık değişim miktarlarını ölçtüğünden, eğrinin altında kalan alan, gerçekleşen toplam ağırlık değişimini göstermektedir.



Şekil 2.33. Termogravimetri eğrisi (Küçükbayrak, 1998)



Şekil 2.34. Diferansiyel termogravimetri eğrisi (Küçükbayrak, 1998)

2.4.4. TG ile DTG'nin kömüre uygulanması

TG ve DTG'den yararlanılarak saptanabilen kömür özellikleri şunlardır:

- Yanma profili
- Kısa analiz
- Piroliz
- Mineral bileşenleri
- Sıvılaştırma
- Hidrojenasyon
- Ağırlık kayıp hızı
- Kinetik parametreler

DTG eğrilerini doğrudan veren cihazlar geliştirilmiştir, ancak TG eğrilerinden yararlanılarak da bu eğriler kolayca elde edilebilmektedir. TG eğrilerinin zamana göre türevi kaydedilerek bu işlem gerçekleştirilmektedir.

Kömürün azot atmosferinde elde edilen DTG eğrisine "kömürün parmak izi" ve uçucu madde çıkış profili adı verilmekte ve bu eğri kömürü tanımlamada kullanılmaktadır (Cumming ve Laughlin, 1982). Kömürün parmak izinin, karbonizasyon ve gazlaştırma prosesleri açısından yararlı bilgiler verdiği görüşü yaygındır. Bu kömürün uçucu madde çıkış profilinden edinilen bilgiler, standart kömür analiz sonuçlarından elde edilememektedir (Özşen, 2003).

Kömüre hava akımı altında uygulanan DTG analizi sonucunda oluşan eğriye "yanma profili" adı verilmektedir. Yanma profili, kömür örneği yanarken gerçekleşen ağırlık kayıp hızının sıcaklıkla değişimini gösterir. Termogravimetrik analiz cihazlarının çok gelişmiş olduğu günümüzde, kömürün yanma profilinin çeşitli koşullarda hassas olarak saptanması olasıdır. Isının kömüre etkisiyle gerçekleşen ve kütle değişikliğine yol açan tepkimeler en hassas şekilde termobalans yardımıyla incelenebilir. Yanma profilinden yararlanarak kömürün tutuşma sıcaklığını, maksimum yanma hızının gerçekleştiği sıcaklığı, yanma verimini, yanma hızını, reaktivitesini ve aktivasyon enerjisini saptamak; yanma kinetiğini aydınlatmak mümkündür. Yanma profili kömürün belirli fırın koşullarındaki performansları konusunda oldukça isabetli bilgiler vermektedir (Özşen, 2003).

2.4.5. Kömürde termogravimetrik analiz uygulamaları

Serageldin ve Pan (1987), alkali metal tuzlarının kömürün bozunmasındaki etkisini üç ayrı gaz atmosferi (azot, karbondioksit, hava) altında incelemişlerdir. Sonuç olarak alkali metal tuzlarının bütün kömürlerde kömür bozunması ve karbonmonoksit emisyonunu artırdığını ortaya koymuşlardır.

Shah ve ark. (1994), değişik boyutlardaki kömür örnekleri üzerinde yanma üzerine çalışmışlardır. Parça boyutundaki küçülme etkisinin avantajlı olduğunu ve parça boyutundaki küçülmenin tutuşma sıcaklığını düşürdüğünü ortaya koymuşlardır.

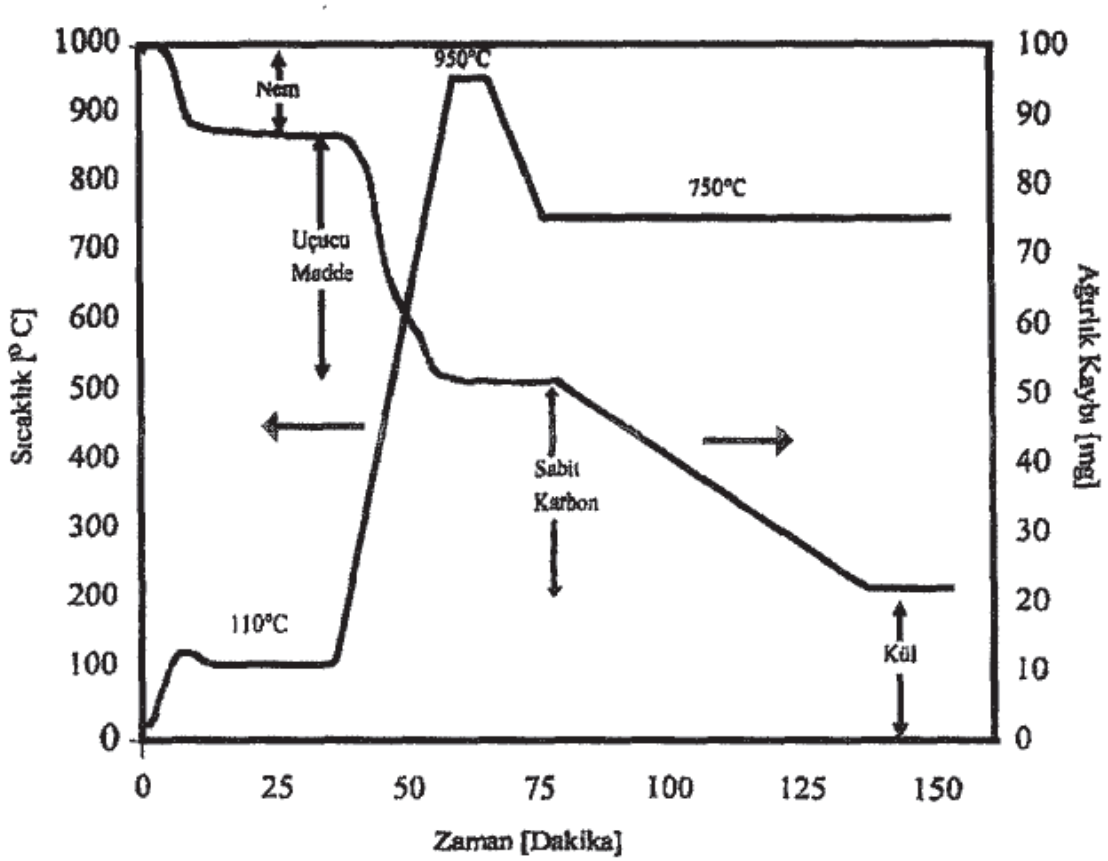
Kök ve ark.(1998), termogravimetri ile kömür pirolizinde, parça boyutu etkisini belirlemişlerdir. Testler izotermal olmayan termogravimetri ile 10°C/dak ısıtma hızında 900 °C'ye kadar azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar 48 mesh'e kadar aktivasyon enerjisinde yükselme, 48-400 mesh parça boyutunda aktivasyon enerjisinde düşüş olduğunu ortaya koymuştur.

Özbaş ve ark. (1998), Soma ve Tunçbilek kömürlerinin termogravimetrik davranışlarının belirlenmesini araştırmışlardır ve değişik parça boyutlarında testler yapmışlardır. Soma ve Tunçbilek linyiti için düşük aktivasyon enerjileri tespit edilmiştir. Sonuçlar parça boyutunun hemen hemen hiçbir etkisinin başlıca yanma evresinde bulunmadığını ortaya koymuştur.

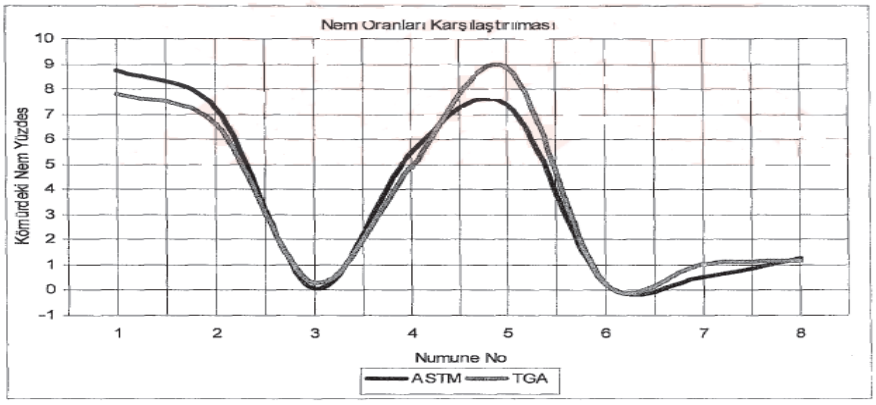
Özbaş ve ark. (1999), Soma linyitinin yanma karakteristiğini incelemişler ve kömür yıkamanın etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, Soma linyitinin yanma

karakteristiği üzerindeki artış ve uzun süreli yanmanın yıkamanın ayırt edici etkisi olduğunu ortaya koymuştur.

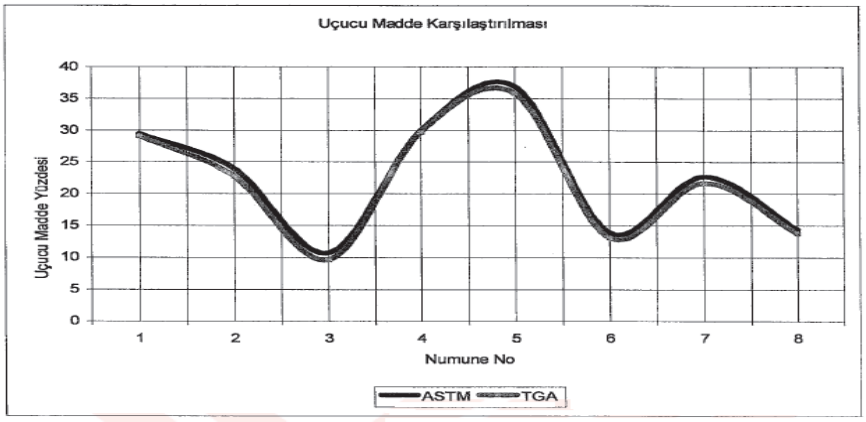
Göğüş (2000), ASTM ve TG ile kömürde kısa analiz çalışmaları yapmış ve sonuçları karşılaştırmıştır. Nem, uçucu madde, bağlı karbon ve kül içeriklerini analiz etmiştir (Şekil 5.4). Kimyasal yöntemlerle elde edilen değerler ile TG yöntemi arasında çok iyi bir uyum bulunmuştur. Sonuç olarak; mevcut standartlara göre analiz sonucu saptanan üç değerin (nem, kül ve uçucu madde) hepsi de farklı analiz numuneleri kullanılarak yoğun laboratuvar çalışması sonucunda ve uzun bir sürede saptanmaktadır. Bu metot ile nem, uçucu madde, bağlı karbon ve kül miktarının bulunması sağlanmış, ASTM değerleri ile iyi bir uyum bulunmuştur (Şekil 2.35). Isıtmalı uygulanan bir Quadropol kütle spektrometresi ile kombine edilerek yeni bir araştırma metodu MTA (Kütle Spektrometrik Termal Analiz) kullanılabilir. Bu metod ile uçucu madde reaksiyonu ürünlerinin belirlenmesinin sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır.



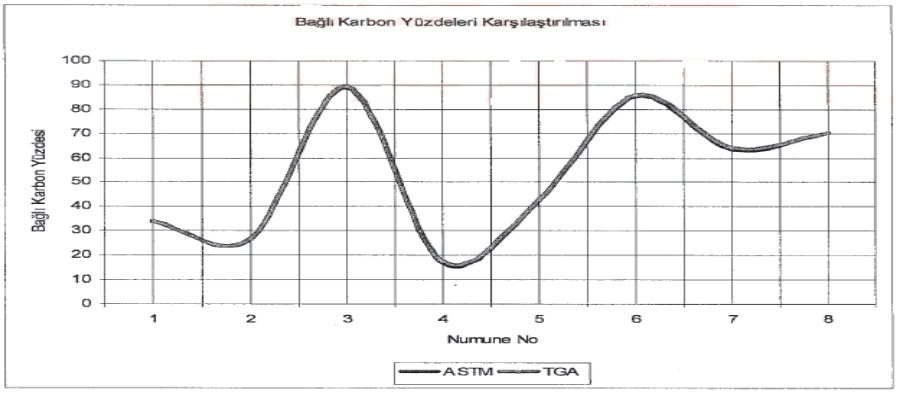
Şekil 2.35. Geliştirilen termogravimetrik metod ile yapılan kömürün kısa analizi (Göğüş, 2000)



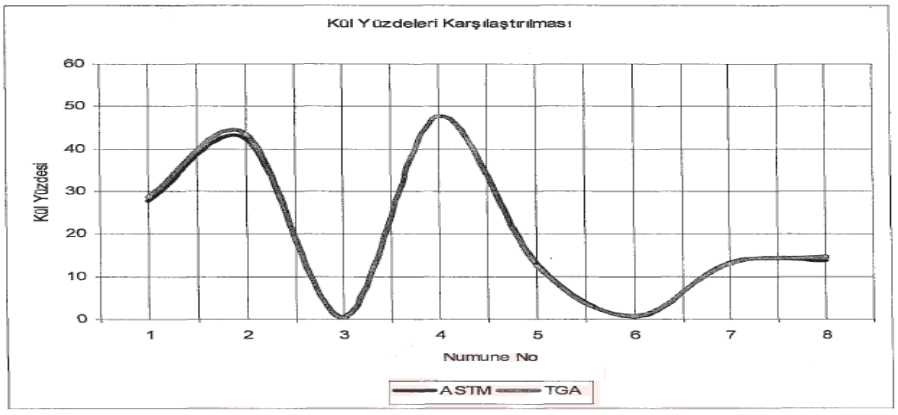
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.36. ASTM ve TG metodlarıyla bulunan (a) nem, (b) uçucu madde, (c) bağlı karbon, (d) kül değerlerinin karşılaştırmalı grafikleri (Göğüş, 2000)

Kastanaki E.ve Vamvuka D., (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, çeşitli biyokütle linyit karışımlarının yanma davranışları ve kinetikleri araştırılmıştır. Bu çalışmada reaktiviteler: biyokütle>linyit> sert kömür olacak şekilde elde edilmiştir. Biyokütlenin yanmadaki etkisi linyitler için kömür karışımlarına göre daha fazladır (Kastanaki ve ark., 2003).

Özşen, (2003), Türkiye'nin 28 ayrı kömür ocağından elde edilen kömürler üzerinde termogravimetrik analiz çalışmaları yapmıştır. Tüm örneklerin termogravimetrik karakteristiklerini belirlemiş, ardından örnekler üzerinde kinetik analiz çalışmaları yapmıştır.

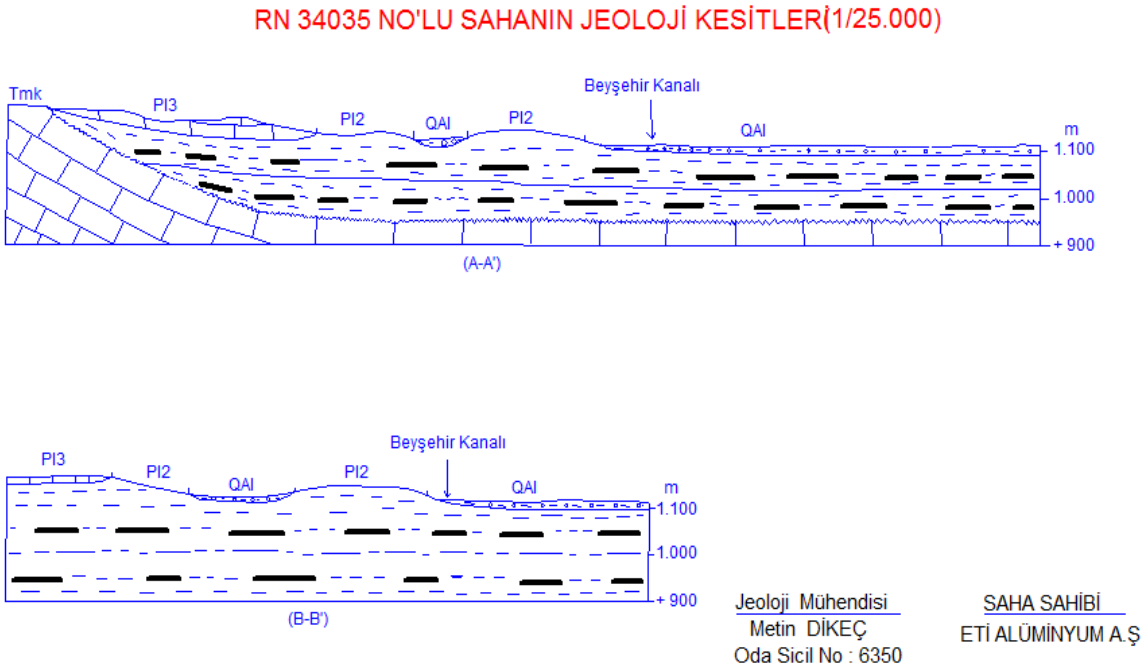
Yanma profillerinden kömürün tutuşma sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Ortalama olarak tutuşma sıcaklığı 217°C olarak bulunmuştur. -212+106p için ortalama 218°C, -106+53p boyutundaki örnekler için ortalama 217°C ve -53p boyutundaki örnekler için ortalama 214°C değerinde bulunmuştur. Bu durumda tutuşma sıcaklığı değerinin, parça boyutu küçüldükçe azaldığı görülmüştür.

Pik sıcaklığı, son yanma sıcaklığı, yanma sonucu açığa çıkan kül miktarı gibi termogravimetrik parametreler, aktivasyon enerjisi ve tutuşma sıcaklığı değerlerinin boyut değişiminden etkilendiği görülmüştür.

Tutuşma sıcaklığı ile pik sıcaklığı değerlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda ise tutuşma sıcaklığı değeri arttıkça pik sıcaklığı değerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca tutuşma sıcaklığı yükseldikçe aktivasyon enerjisi değerinin de yükseldiği belirlenmiştir. Maksimum yanma hızındaki artışın ise aktivasyon enerjilerini düşürdüğü belirlenmiştir. Bu durum Küçükbayrak ve ark. (2000) tarafından da ortaya konmuştur (Özşen, 2003).

3. DENEYLERDE KULLANILAN KÖMÜRLERİN BÖLGESEL JEOLOJİSİ VE COĞRAFİ DURUMU

3.1. Bayavşar Beyşehir-Konya Kömür Havzası



Şekil 3.1. Sahanın jeolojik kesitleri

3.1.1. Genel jeoloji

İnceleme alanında litostratigrafik birim ayırtlamasına uygun olarak altı formasyon ayırtlanmıştır. İnceleme alanı içinde temeli; kızıl, sarı, kahve renkli kristalize kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan Orta Kambriyen, Alt Ordovisiyen yaşlı Çaltepe Formasyonu oluşturmaktadır. Geniş bir yayılma sahip Üst Kambriyen, Alt Ordovisiyen yaşlı Sultandede Formasyonu yeşilimsi gri renkli metakumtaşı yer yer kuvarsit damarları içeren fillitler, sarımsı renkli kalkşistlerden ve metasilttaşlarından oluşmaktadır. Sultandede Formasyonu üzerine açılı uyumsuz olarak pembe, sarı, beyaz renkli metakuvarsit, gri, siyah renkli fillit ve metakonglomera ile gri, siyah renkli metakarbonatlardan oluşan Orta-Üst Devoniyen yaşlı Engili Formasyonu gelmektedir. Bu birimin üzerine uyumlu olarak bej, beyaz, renkli, kristalize kireçtaşı, bej kahve renkli dolomit ve grimsi renkli fillitlerden oluşan Alt-Orta Karbonifer yaşlı Kirazlı Formasyonu uyumlu olarak gelmektedir.

Sultandede Formasyonunun üst kesimlerinde görülen kristalize kireçtaşı ve kalkşist bantlarından oluşan birim Belyakası üyesi olarak adlandırılmaktadır. Birimin litolojisini gri beyaz renkli bol çatlaklı ince orta tabakalı ve az eklemli olan kristalize kireçtaşları oluşmaktadır.

3.2. Konya (Ilgın)-Çavuşçugöl Kömür Havzası



Şekil 3.2. Ilgın Linyit İşletmesi yer buldu haritası (TKİ, 2007)

Ocakta kömür üretimi talebe bağlı olarak yapılmaktadır. Ocaktan kamyonlarla taşınan tüvenan kömür, eleküstü ızgaraya (400x400 mm.) boşaltılmakta, ızgara üzerinde kalan iri parçalar hidrolik bir kırıcı vasıtası ile 400 mm.' ye düşürülmektedir. Buradan kömür, sarsıntılı elekten geçirilerek, elek üstü kırıcıda kırılarak 0 - 150 mm boyutuna getirilmektedir.

Tüvenan (Orijinal) Kömürün en belirgin özelliği; nem oranının yüksek olmasıdır. Kömür gölgede kuruyunca; kalorisi önemli ölçüde yükselmektedir.

İşletme Müdürlüğü çevre il ve ilçelerin katı yakıt ihtiyacını karşılamak, başta şeker fabrikaları olmak üzere sanayiinin kömür taleplerine cevap vermek, yer altı kaynaklarını değerlendirmek gibi amaçlarla faaliyete başlamış ve halen aynı doğrultuda çalışmalarını sürdürmektedir.

İşletme halen, TKİ Yönetim Kurulunun 01.04.2004 tarihinden geçerli olmak üzere aldığı karar gereğince, Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesine bağlı "İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ" olarak faaliyetlerine devam etmekteydi. Şubat 2013 itibariyle özelleştirilmiş bulunmaktadır (TKİ, 2007).

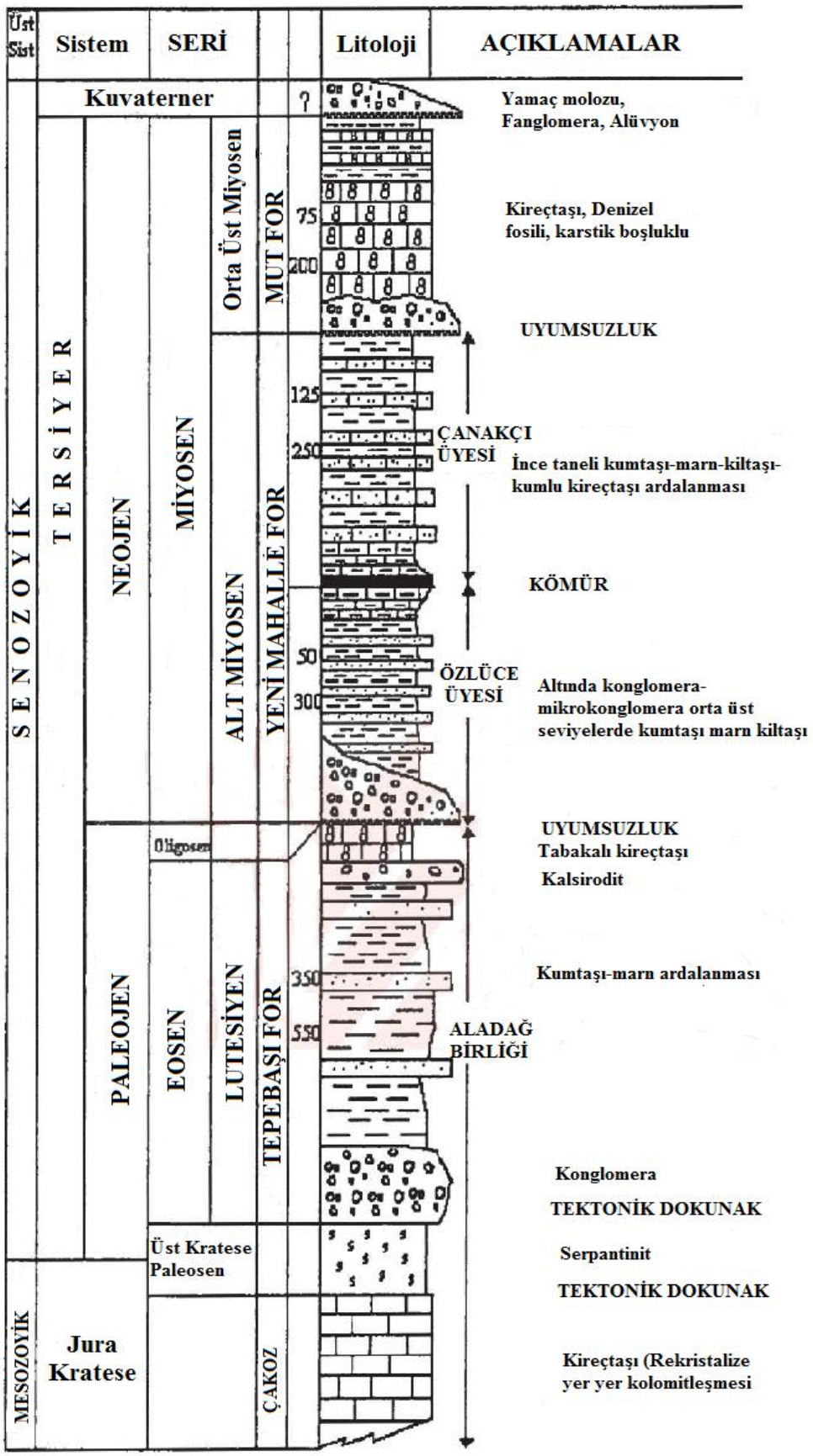
3.3. Ermenek Kömür Ocağı

3.3.1. Ermenek linyit havzasının jeolojik yapısı

Bölgede litostratigrafik olarak temel kayaçlardan örtü birimine doğru birbiriyle uyumsuz dokanağa sahip olan aşağıdaki formasyonlar tespit edilmiştir (Demirel 1989).

Formasyon Adı	Formasyon Yaşı
• Pekişmemiş genç oluşumlar	• Kuvaterner
• Mut Formasyonu	• Orta-Üst Miyosen
• Yenimahalle (Alakilise) Formasyonu	• Alt Miyosen
• Tepebaşı (Halimiye) Formasyonu	• Eosen
• Serpantinitler	• Üst Kretase
• Çakozdağı Formasyonu	• Jura-Kretase

Sahanın genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Sahanın genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Demirel, 1989; Çınar, 1999)

4. MATERYAL VE METOD

Bu tez çalışmasında; Konya bölgesinde bulunan, ETİ Alüminyum AŞ,'ne ait olan Beyşehir (Bayavşar) kömür ocağından, TKİ Kurumuna ait olan Ilgın Linyit İşletmesi'nden (2013 tarihinde özelleştirildi) ve Ermenek Karaman Kömür Ocağından yaklaşık olarak 100'er kg kömür numunesi getirilmiştir, Numune azaltma yöntemleri uygulanarak azaltılan temsili numuneler üzerinde kısa analiz, sülfür analizi, ısıl analiz tayini yapılmıştır,

Kömür numunelerinin her biri zenginleştirme testlerinde (ağır ortam) kullanılmak üzere 6 farklı fraksiyona (-10+6,4 cm, -6,4+3,2 cm,-3,2+1,6 cm, -1,6+0,8 cm, -0,8+0,4 cm, -0,4+0,2 cm) ayrılmıştır. Ağır ortam hazırlamak için $ZnCl_2$ çözeltisi kullanılmış olup, 1,1-1,9 yoğunlukları arasında ağır ortam sıvıları hazırlanmıştır. Daha sonra kömürler yıkama işlemlerine tabi tutularak yıkama sonrasında yüzen kömürler ayrılarak analiz işlemleri her bir fraksiyon için uygulanmıştır. Bu sayede ağır ortam zenginleştirme yöntemi öncesi ve sonrası kömür kalitesindeki değişim incelenmiştir. Ayrıca, tüvenan kömürlere termogravimetrik analiz uygulanmış olup, kömürlerin ısısal özellikleri incelenmiştir.

Bu analiz işlemlerini gerçekleştirirken öncelikle bulunan tüvenan kömürün kimyasal analiz değerleri ve nem oranı verileri aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Çavuşçugöl (Ilgın-Konya) kömür numunelerinin kimyasal analiz değerleri

ANALİZLER	BİRİM	ORJİNAL	KURU
Nem	%	**47,12**	- -
Kül	%	17,01	32,17
Uçucu Madde	%	25,78	48,74
Sabit Karbon	%	10,09	19,08
TOPLAM	%	100,00	100,00
Toplam Kükürt	%	2,99	5,65
Alt Isıl Değeri	kcal/kg	**2058**	4410
Üst Isıl Değeri	kcal/kg	2462	4655
Hidrojen	%	2,48	4,69

Çizelge 4.2. Ermenek (Karaman) kömür numunelerinin kimyasal analiz değerleri

ANALİZLER	BİRİM	ORJİNAL	KURU
Nem	%	**16,07**	- -
Kül	%	11,92	14,20
Uçucu Madde	%	37,16	44,28
Sabit Karbon	%	34,85	41,53
TOPLAM	%	100,00	100,00
Toplam Kükürt	%	4,39	5,23
Alt Isıl Değeri	kcal/kg	**4746**	5766
Üst Isıl Değeri	kcal/kg	5050	6016
Hidrojen	%	4,04	4,81

Çizelge 4.3. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömür numunelerinin kimyasal analiz değerleri

ANALİZLER	BİRİM	ORJİNAL	KURU
Nem	%	**53,83**	- -
Kül	%	17,36	37,60
Uçucu Madde	%	20,36	44,11
Sabit Karbon	%	8,45	18,29
TOPLAM	%	100,00	100,00
Toplam Kükürt	%	2,11	4,58
Alt Isıl Değeri	kcal/kg	**1416**	3747
Üst Isıl Değeri	kcal/kg	1827	3957
Hidrojen	%	1,87	4,04

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

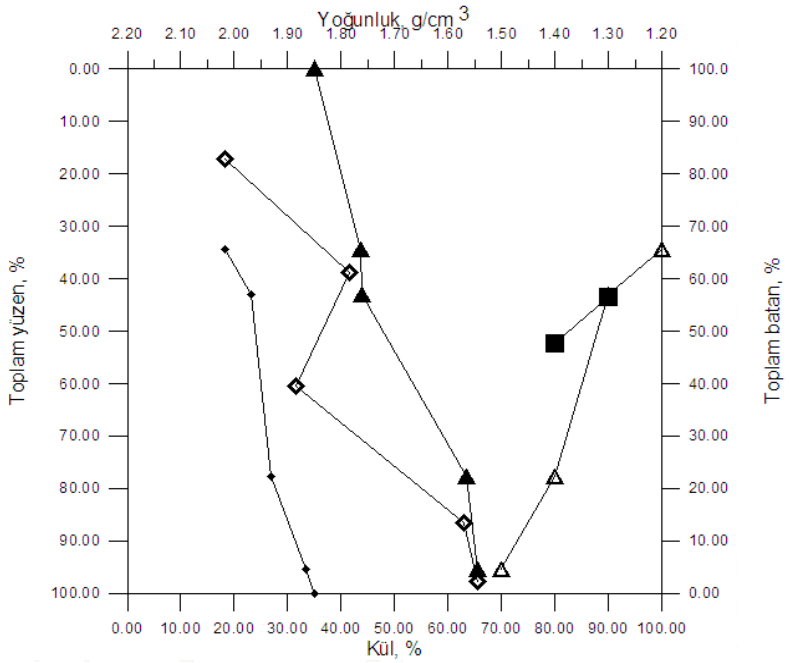
Kömür numunelerinin her biri zenginleştirme testlerinde (ağır ortam) kullanılmak üzere 6 farklı fraksiyona (-10+6,4 cm, -6,4+3,2 cm,-3,2+1,6 cm, -1,6+0,8 cm, -0,8+0,4 cm, -0,4+0,2 cm) ayrılmıştır. Ağır ortam hazırlamak için $ZnCl_2$ çözeltisi kullanılmış olup, 1,1-1,9 yoğunlukları arasında ağır ortam sıvıları hazırlanmıştır. Yüzdürme-batırma deneyleri her fraksiyon için ayrı ayrı yapılarak sonuçları aşağıda verilmiştir.

5.1. Beyşehir– Bayavşar kömürüne ait ağır ortam zenginleştirme sonuçları

-10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.1'de ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde -10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ, Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK↓	Kül %	Miktar % ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
1,20	1155,40	34,40	18,38	632,34	34,40	632,34	18,38	100,00	3493,43	34,93	1,20	–
1,2-1,3	291,95	8,69	41,50	360,77	43,10	993,11	23,04	65,60	2861,09	43,62	1,30	43,42
1,3-1,4	1166,20	34,73	31,51	1094,20	77,82	2087,31	26,82	56,90	2500,32	43,94	1,40	52,39
1,4-1,5	593,36	17,67	62,85	1110,45	95,49	3197,76	33,49	22,18	1406,12	63,40	1,50	–
1,50	151,44	4,51	65,57	295,68	100,00	3493,43	34,93	4,51	295,68	65,57		
TOPLAM	3358,35	100,00	34,93	3493,43								



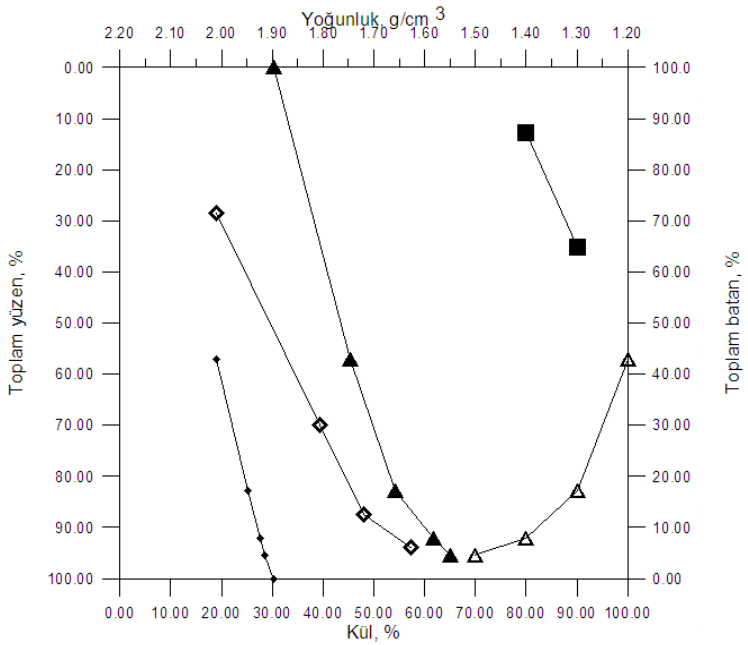
Şekil 5.1. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde -10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

-10+6,4 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,3 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 23,04 kül içeren ve % 43,1 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir. Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 50,96 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.1 incelendiğinde, -10+6,4 cm fraksiyonundaki yüzdürme batırma deneylerinde parça külü eğrisi ve diğer eğriler düzgün çıkmadığı için yorum yapılamamıştır.

-6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.2 ‘de ve Şekil 5.2 ‘ de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde -6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK↓	Kül %	Miktar % ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mik. %
-1,20	2073,76	57,08	18,95	1081,65	57,08	1081,65	18,95	100,00	3024,47	30,24	1,20	–
1,2-1,3	934,20	25,71	39,29	1010,28	82,79	2091,93	25,27	42,92	1942,82	45,27	1,30	35,17
1,3-1,4	343,59	9,46	47,94	453,38	92,25	2545,30	27,59	17,21	932,54	54,19	1,40	12,69
1,4-1,5	117,56	3,24	57,27	185,31	95,49	2730,62	28,60	7,75	479,17	61,83	1,50	–
1,50	164,02	4,51	65,09	293,85	100,00	3024,47	30,24	4,51	293,85	65,09		
TOPLAM	3633,13	100,00	30,24	3024,47					3024,47			



Şekil 5.2. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde -6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

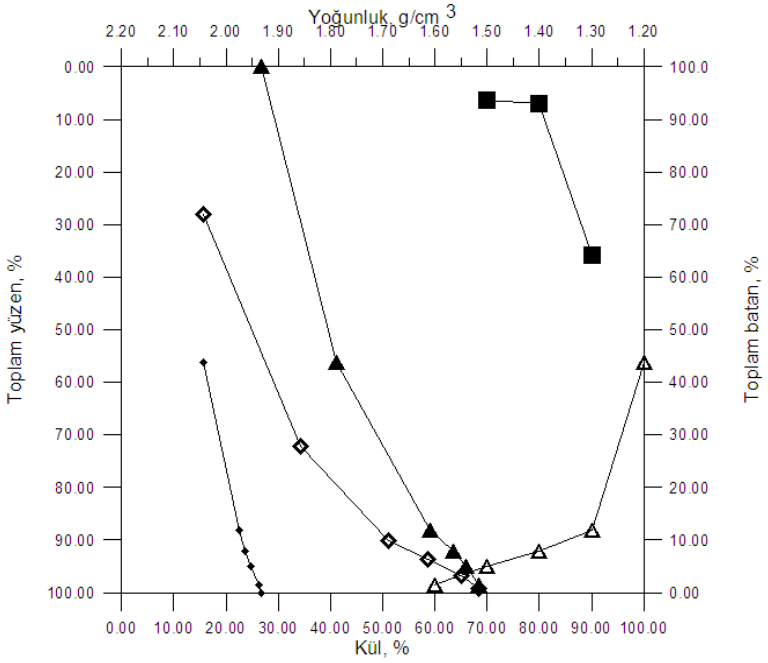
-6,4+3,2 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,2 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 18,95 kül içeren ve % 57,08 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 66,32 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.2 ve Şekil 5.2 incelendiğinde, 1,4'ün üzerindeki yoğunluklarda yapılan deneyler için, ± 0,1 eğrisine göre ayırmanın kolay olabileceğini söylemek mümkündür.

-3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.3'te ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde -3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ, Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK↓	Kül %	Miktar % ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mik. %
-1,20	1411,52	56,31	15,75	886,88	56,31	886,88	15,75	100,00	2681,66	26,82	1,20	–
1,2-1,3	796,03	31,76	34,29	1088,92	88,07	1975,80	22,44	43,69	1794,78	41,08	1,30	35,90
1,3-1,4	103,80	4,14	51,11	211,64	92,21	2187,44	23,72	11,93	705,86	59,15	1,40	6,91
1,4-1,5	69,40	2,77	58,73	162,60	94,98	2350,04	24,74	7,79	494,22	63,42	1,50	6,36
1,5-1,6	89,90	3,59	65,01	233,15	98,56	2583,19	26,21	5,02	331,62	66,00	1,60	–
1,60	36,05	1,44	68,47	98,47	100,00	2681,66	26,82	1,44	98,47	68,47		
TOPLAM	2506,70	100,00	26,81	2681,66					2681,66			



Şekil 5.3. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde -3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

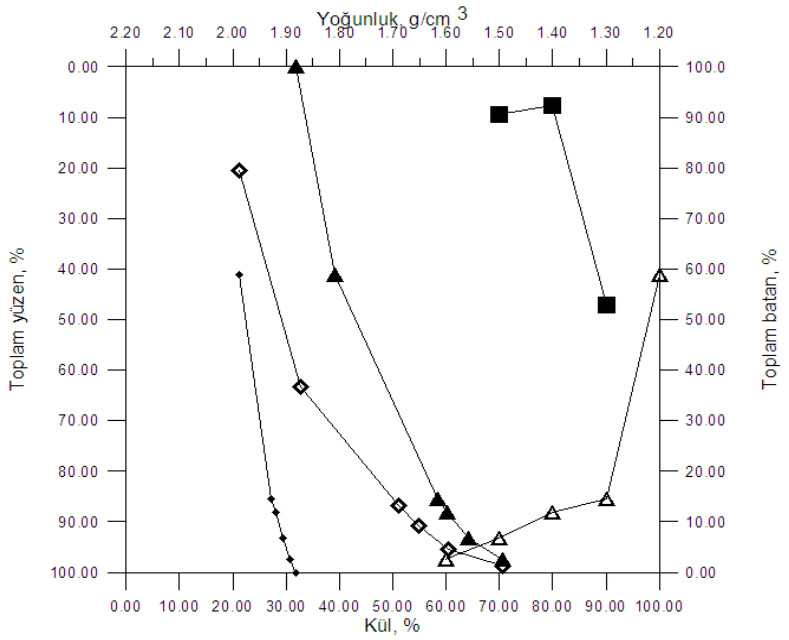
-3,2+1,6 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,2 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 15,75 kül içeren ve % 56,31 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 64,82 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.3 ve Şekil 5.3 incelendiğinde, 1,4 ve üzerindeki yoğunluklarda yapılan deneyler için, ± 0,1 eğrisine göre ayırmanın kolay olabileceğini söylemek mümkündür.

-1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.4'te ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde -1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ, Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK↓	Kül %	Miktar % ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
-1,20	516,08	41,09	21,20	871,14	41,09	871,14	21,20	100,00	3175,45	31,75	1,20	–
1,2-1,3	557,66	44,40	32,78	1455,50	85,49	2326,64	27,21	58,91	2304,31	39,12	1,30	47,13
1,3-1,4	34,34	2,73	51,11	139,75	88,23	2466,39	27,95	14,51	848,81	58,51	1,40	7,74
1,4-1,5	62,97	5,01	54,92	275,36	93,24	2741,75	29,40	11,77	709,06	60,23	1,50	9,32
1,5-1,6	54,08	4,31	60,45	260,30	97,55	3002,04	30,78	6,76	433,70	64,17	1,60	–
1,60	30,80	2,45	70,71	173,41	100,00	3175,45	31,75	2,45	173,41	70,71		
TOPLAM	1255,93	100,00	31,75	3175,45					3175,45			



Şekil 5.4. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde -1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

-1,6+0,8 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,2 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 21,20 kül içeren ve % 41,09 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

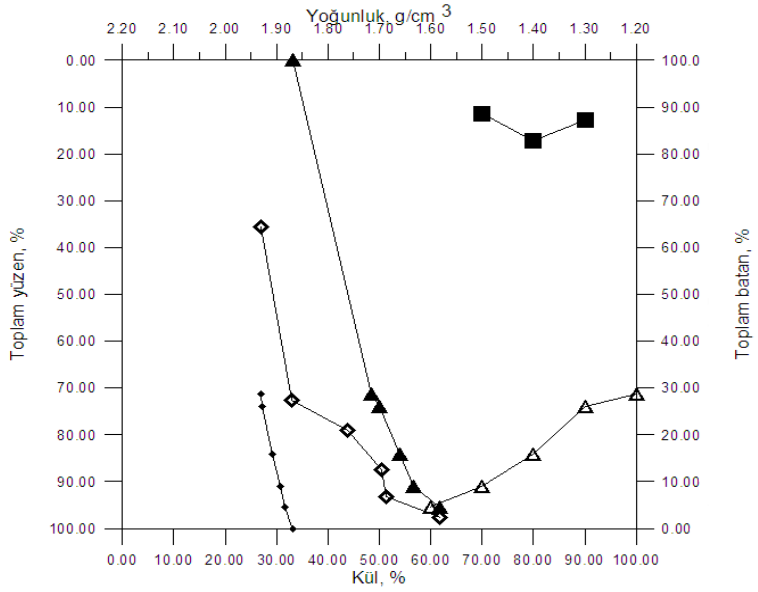
Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 47,44 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.4 ve Şekil 5.4 incelendiğinde, 1,4 ve üzerindeki

yoğunluklarda yapılan deneyler için, ± 0,1 eğrisine göre ayırmanın kolay olabileceğini söylemek mümkündür.

-0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.5'te ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde -0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ, Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK↓	Kül %	Miktar % ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı %
-1,20	932,64	71,24	26,88	1914,98	71,24	1914,98	26,88	100,00	3307,88	33,08	1,20	–
1,2-1,3	34,17	2,61	32,88	85,82	73,85	2000,80	27,09	28,76	1392,90	48,43	1,30	12,81
1,3-1,4	133,58	10,20	43,84	447,33	84,06	2448,13	29,13	26,15	1307,08	49,99	1,40	17,16
1,4-1,5	91,10	6,96	50,51	351,49	91,01	2799,63	30,76	15,94	859,74	53,92	1,50	11,39
1,5-1,6	58,04	4,43	51,26	227,26	95,45	3026,89	31,71	8,99	508,25	56,56	1,60	–
1,60	59,59	4,55	61,73	280,99	100,00	3307,88	33,08	4,55	280,99	61,73		
TOPLAM	1309,12	100,00	33,07	3307,88					3307,88			



Şekil 5.5. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde -0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

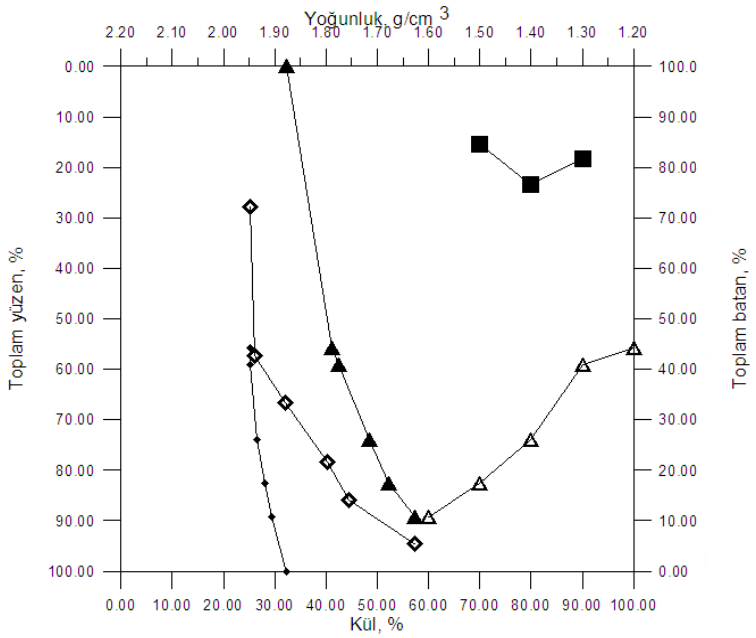
-0,8+0,4 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,2 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 26,88 kül içeren ve % 71,24 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 77,82 olarak hesaplanmıştır. Çizelge ve Şekil incelendiğinde, yapılan deneyler için, ± 0,1 eğrisine göre orta güçlükte bir ayırma gerçekleştirilmiştir.

-0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.6 ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.6 verilmiştir.

Çizelge 5.6. Bayavşar (Beyşehir-Konya) kömürlerinde -0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ, Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK↓	Kül %	Miktar % ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
-1,20	368,63	55,77	25,18	1404,17	55,77	1404,17	25,18	100,00	3225,42	32,25	1,20	–
1,2-1,3	22,03	3,33	26,02	86,71	59,10	1490,88	25,23	44,23	1821,25	41,17	1,30	18,28
1,3-1,4	98,80	14,95	32,08	479,47	74,04	1970,35	26,61	40,90	1734,53	42,41	1,40	23,43
1,4-1,5	56,08	8,48	40,34	342,23	82,53	2312,58	28,02	25,96	1255,06	48,35	1,50	15,30
1,5-1,6	45,06	6,82	44,45	302,99	89,34	2615,58	29,28	17,47	912,83	52,24	1,60	–
1,60	70,44	10,66	57,23	609,84	100,00	3225,42	32,25	10,66	609,84	57,23		
TOPLAM	661,04	100,00	32,25	3225,41								



Şekil 5.6. Bayavşar (Beyşehir-Konya) -0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

-0,4+0,2 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,3 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 25,23 kül içeren ve % 59,10 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 65,23 olarak hesaplanmıştır, Çizelge ve Şekil incelendiğinde, yapılan deneyler için, ± 0,1 eğrisine göre orta güçlükte bir ayırma gerçekleştirilmiştir.

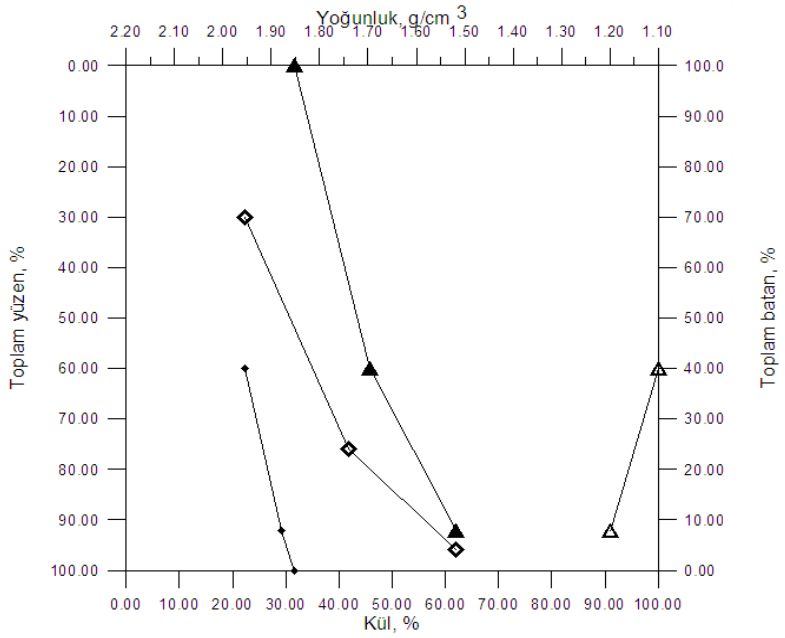
5.2. Ilgın-Çavuşçugöl kömürüne ait ağır ortam zenginleştirme sonuçları

Ilgın kömürü için ağır ortam sonuçları ve yıkama eğrileri aşağıda sunulmuştur,

-10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.7 ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.7'de verilmiştir,

Çizelge 5.7. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ, Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar % ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
-1,10	1352,02	60,06	22,36	1342,83	60,06	1342,83	22,36	100,00	3170,11	31,70	1,10	–
1,1-1,2	719,83	31,97	41,69	1332,99	92,03	2675,83	29,08	39,94	1827,27	45,74	1,20	–
1,20	179,45	7,97	62,01	494,28	100,00	3170,11	31,70	7,97	494,28	62,01		
TOPLAM	2251,30	100,00	31,70	3170,11								



Şekil 5.7. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

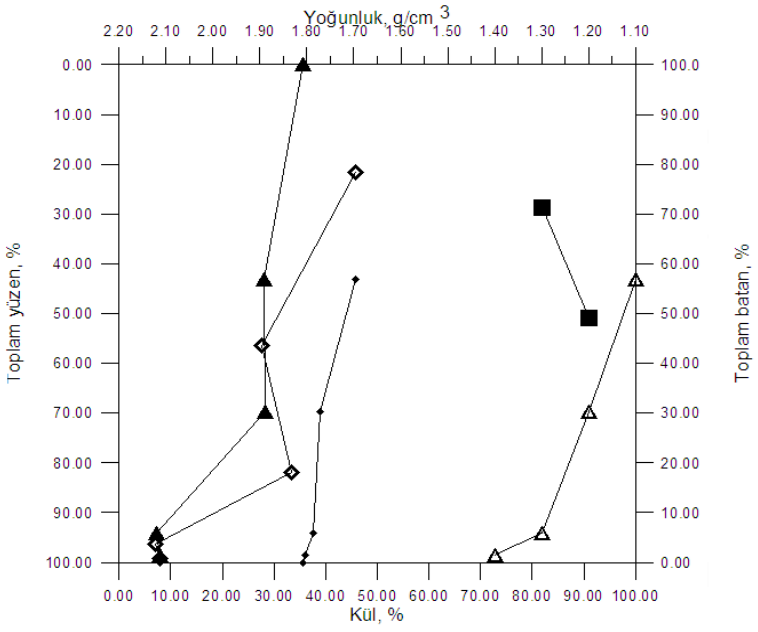
-10+6,4 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,1 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 22,36 kül içeren ve % 60,06 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 68,27 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.7 ve Şekil 5.7 incelendiğinde, bu fraksiyonda uygun değerler elde edilemediği için ayrıntılı yorumlar yapılamamıştır.

-6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.8'de ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.8'da verilmiştir.

Çizelge 5.8. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar% ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
-1,10	1562,03	43,14	45,77	1974,35	43,14	1974,35	45,77	100,00	3566,68	35,67	1,10	–
1,1-1,2	965,99	26,68	27,71	739,20	69,81	2713,56	38,87	56,86	1592,32	28,00	1,20	50,91
1,2-1,3	877,36	24,23	33,43	809,97	94,04	3523,53	37,47	30,19	853,12	28,26	1,30	28,74
1,3-1,4	163,52	4,52	7,00	31,61	98,56	3555,14	36,07	5,96	43,15	7,24	1,40	–
1,40	52,24	1,44	8,00	11,54	100,00	3566,68	35,67	1,44	11,54	8,00		
TOPLAM	3621,14	100,00	35,66	3566,67					0,00			



Şekil 5.8. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

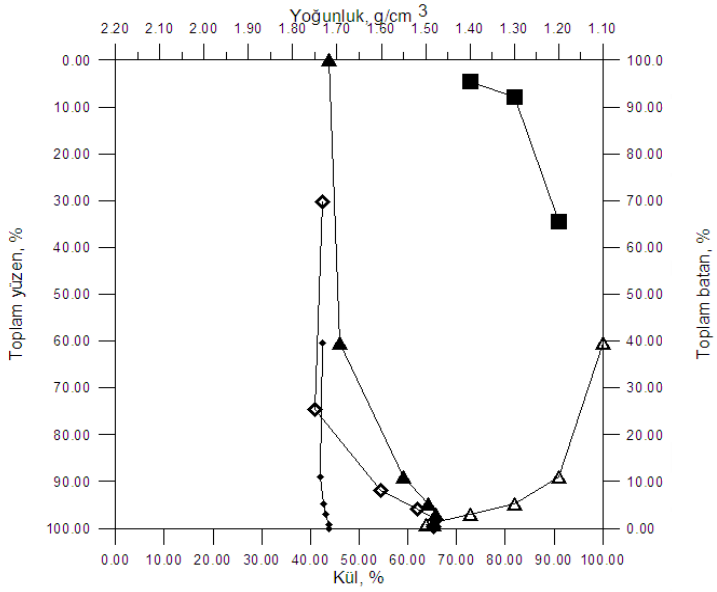
-6,4+3,2 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,2 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 38,87 kül içeren ve % 69,81 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi % 66,33 tür, Genel olarak yüzdürmenin zor olacağı söylenebilir. Çizelge 5.8 ve Şekil 5.8 incelendiğinde, bu fraksiyonda istenilen kül giderimi gerçekleşmemiştir.

-3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.9'da ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar% ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
1,10	1904,11	60,38	42,46	2563,65	60,38	2563,65	42,46	100,00	4383,10	43,83	1,10	–
1,1-1,2	900,95	28,57	40,86	1167,31	88,95	3730,96	41,95	39,62	1819,45	45,92	1,20	34,39
1,2-1,3	183,70	5,82	54,37	316,71	94,77	4047,66	42,71	11,05	652,14	59,00	1,30	7,95
1,3-1,4	67,16	2,13	61,98	131,99	96,90	4179,65	43,13	5,23	335,44	64,16	1,40	4,56
1,4-1,5	76,59	2,43	65,73	159,63	99,33	4339,29	43,69	3,10	203,45	65,65	1,50	
1,50	21,14	0,67	65,36	43,81	100,00	4383,10	43,83	0,67	43,81	65,36	----------	
TOPLAM	3153,65	100,00	43,83	4383,1					0,00			



Şekil 5.9. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

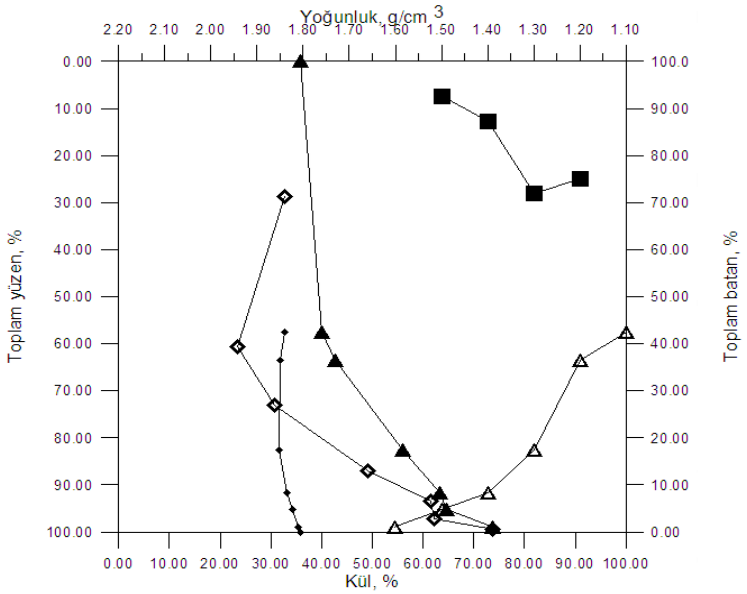
-3,2+1,6 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,2 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 41,95 kül içeren ve % 88,95 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 91,93 olarak hesaplanmıştır, Genel olarak yüzdürmenin zor olacağı söylenebilir, Çizelge 5.9 ve Şekil 5.9 incelendiğinde, bu fraksiyonda istenilen kül giderimi gerçekleşmemiştir.

-1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.10'da ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar% ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
1,10	1001,31	57,53	32,65	1878,38	57,53	1878,38	32,65	100,00	3576,37	35,76	1,10	–
1,1-1,2	105,34	6,05	23,36	141,38	63,58	2019,76	31,77	42,47	1698,00	39,98	1,20	25,03
1,2-1,3	330,30	18,98	30,68	582,23	82,56	2601,99	31,52	36,42	1556,61	42,74	1,30	28,06
1,3-1,4	158,11	9,08	49,05	445,58	91,64	3047,57	33,25	17,44	974,38	55,87	1,40	12,70
1,4-1,5	62,88	3,61	61,56	222,40	95,26	3269,98	34,33	8,36	528,80	63,29	1,50	7,34
1,5-1,6	64,89	3,73	62,13	231,64	98,99	3501,62	35,37	4,74	306,40	64,61	1,60	–
1,60	17,65	1,01	73,72	74,76	100,00	3576,37	35,76	1,01	74,76	73,72		
Toplam	1740,48	100,00	35,76	3576,37								



Şekil 5.10. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

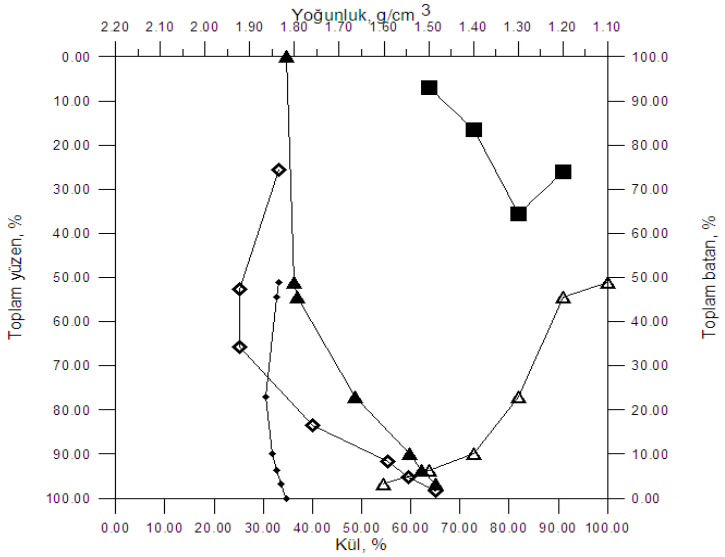
-1,6+0,8 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,2 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 31,77 kül içeren ve % 63,58 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 67,53 olarak hesaplanmıştır, Genel olarak yüzdürmenin zor olacağı söylenebilir, Çizelge 5.10 ve Şekil 5.10 incelendiğinde, bu fraksiyonda istenilen kül giderimi gerçekleşmemiştir.

-0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.11'de ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.11'da verilmiştir.

Çizelge 5.11. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar% ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
1,10	738,34	51,10	33,15	1693,92	51,10	1693,92	33,15	100,00	3462,47	34,62	1,10	–
1,1-1,2	46,85	3,24	25,11	81,42	54,34	1775,34	32,67	48,90	1768,55	36,17	1,20	26,04
1,2-1,3	329,34	22,79	25,10	572,10	77,13	2347,44	30,43	45,66	1687,13	36,95	1,30	35,52
1,3-1,4	183,89	12,73	40,08	510,08	89,86	2857,52	31,80	22,87	1115,03	48,76	1,40	16,53
1,4-1,5	54,98	3,81	55,28	210,34	93,67	3067,86	32,75	10,14	604,95	59,66	1,50	6,92
1,5-1,6	44,95	3,11	59,46	184,97	96,78	3252,83	33,61	6,33	394,61	62,29	1,60	–
1,60	46,58	3,22	65,03	209,64	100,00	3462,47	34,62	3,22	209,64	65,03		
Toplam	1444,93	100,00	34,62	3462,47								



Şekil 5.11. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

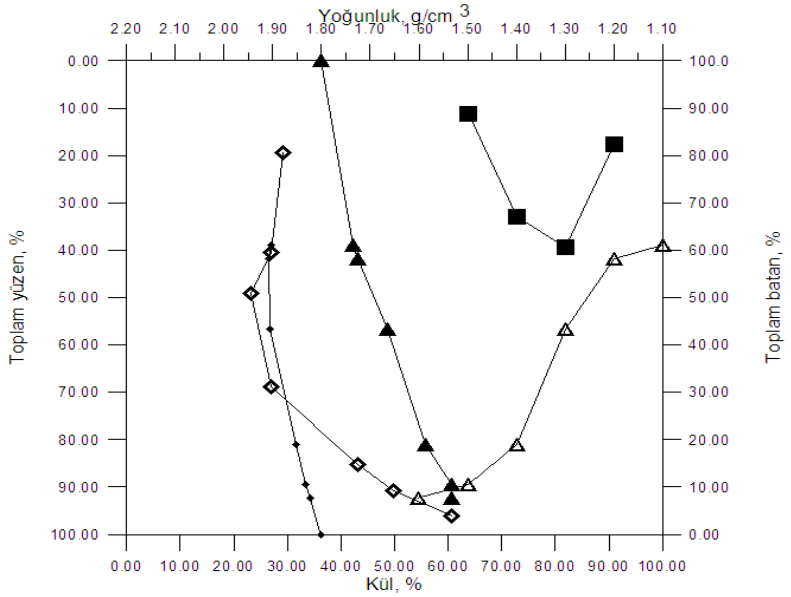
-0,8+0,4 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,2 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 32,67 kül içeren ve % 54,34 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 55,96 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak yüzdürmenin zor olacağı söylenebilir. Çizelge 5.11 ve Şekil 5.11 incelendiğinde, bu fraksiyonda istenilen kül giderimi gerçekleşmemiştir,

-0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.12'de ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar% ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
1,10	217,21	38,99	29,11	1046,85	38,99	1046,85	26,85	100,00	3623,90	36,24	1,10	–
1,1-1,2	15,78	2,83	26,85	65,57	41,82	1112,42	26,60	61,01	2577,06	42,24	1,20	17,59
1,2-1,3	82,21	14,76	23,15	396,36	56,58	1508,78	26,67	58,18	2511,49	43,17	1,30	39,29
1,3-1,4	136,69	24,54	26,86	1060,18	81,11	2568,96	31,67	43,42	2115,13	48,71	1,40	32,94
1,4-1,5	46,80	8,40	43,21	418,85	89,51	2987,81	33,38	18,89	1054,95	55,86	1,50	11,18
1,5-1,6	15,51	2,78	49,86	168,88	92,30	3156,69	34,20	10,49	636,10	60,66	1,60	–
1,60	42,91	7,70	60,66	467,22	100,00	3623,90	36,24	7,70	467,22	60,66		
Toplam	557,11	100,00	36,23	3623,90								



Şekil 5.12. Çavuşçugöl (Ilgın- Konya) kömürlerinde -0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

-0,4+0,2 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,2 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 26,60 kül içeren ve % 41,82 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 48,13 olarak hesaplanmıştır, Çizelge 5.12 ve Şekil 5.12 incelendiğinde, 1,4 ve üzerindeki yoğunluklarda yapılan deneyler için, ± 0,1 eğrisine göre ayırmanın orta güçlükte olabileceğini söylemek mümkündür.

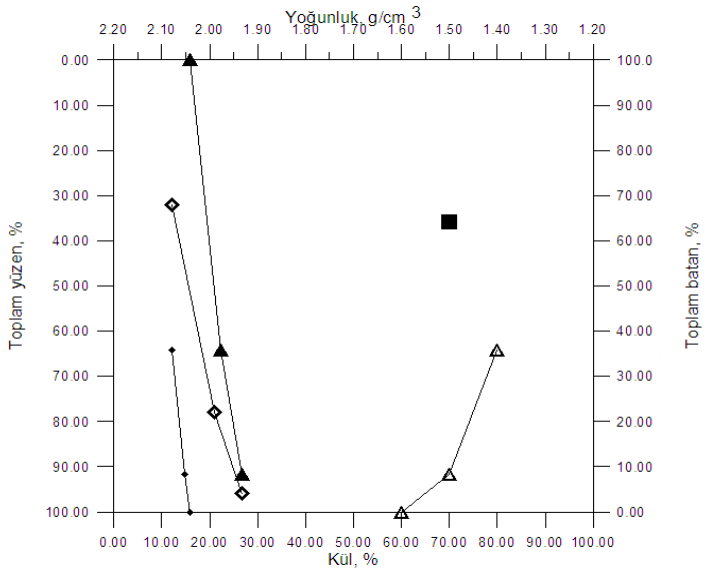
5.3. Ermenek- Karaman kömürüne ait ağır ortam zenginleştirme sonuçları

Ermenek kömürüne ait ağır ortam zenginleştirme sonuçları ve eğrileri de aşağıda gösterilmiştir.

-10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.13'de ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.13'da verilmiştir.

Çizelge 5.13. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar% ΣM ↑	ΣMxK ↓	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
-1,40	2841,34	64,29	12,18	783,04	64,29	783,04	12,18	100,00	1582,15	15,82	-1,40	
1,4-1,5	1210,80	27,40	21,05	576,68	91,68	1359,72	14,83	35,71	799,11	22,38	-1,50	35,71
1,5-1,6	367,50	8,32	26,75	222,43	100,00	1582,15	15,82	8,32	222,43	26,75	-1,60	
	4419,64	100,00	15,82	1582,15								



Şekil 5.13. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -10+6,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

-10+6,4 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,4 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 14,83 kül içeren ve % 91,68 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

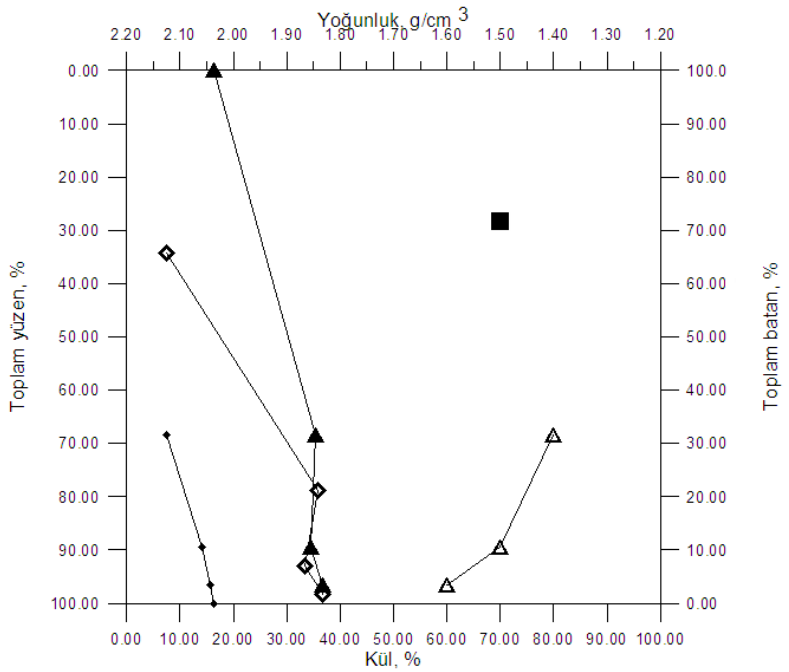
Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 93,76 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak yüzdürmenin zor olacağı söylenebilir, Çizelge 5.13 ve Şekil 5.13 incelendiğinde, bu fraksiyonda istenilen kül giderimi

gerçekleşmemiştir. Bunun sebebinin, besleme külünün başta düşük bir değer olması olarak düşünülebilir.

-6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.14'te ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar% ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
-1,40	3783,12	68,44	7,42	507,80	68,44	507,80	7,42	100,00	1624,89	16,25	1,40	
1,4-1,5	1159,16	20,97	35,87	752,17	89,41	1259,97	14,09	31,56	1117,09	35,39	1,50	28,21
1,5-1,6	400,00	7,24	33,42	241,83	96,64	1501,80	15,54	10,59	364,92	34,45	1,60	
1,60	185,60	3,36	36,66	123,09	100,00	1624,89	16,25	3,36	123,09	36,66		
TOPLAM	5527,88	100,00	16,24	1624,89								



Şekil 5.14. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -6,4+3,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

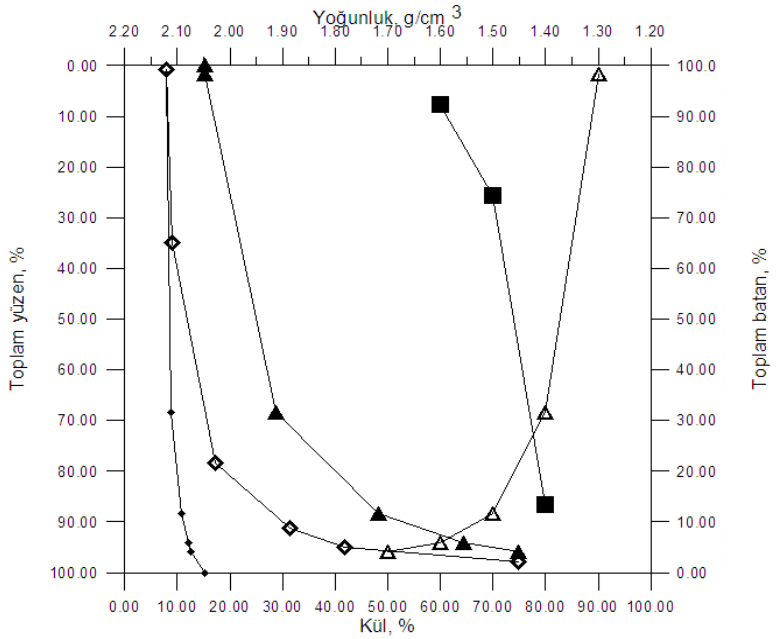
-6,4+3,2 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,4 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 7,42 kül içeren ve % 68,44 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 75,65 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak yüzdürmenin zor olacağı söylenebilir. Çizelge 5.14 ve Şekil 5.14 incelendiğinde, bu fraksiyon için tüvenan kömüre göre, % 50'lik bir kül giderimine ulaşıldığı görülmektedir.

-3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.15'de ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.15'da verilmiştir.

Çizelge 5.15. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ, Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar% ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
-1,30	97,52	1,68	7,81	13,14	1,68	13,14	7,81	100,00	1512,93	15,13	1,30	
1,3-1,4	3864,36	66,66	8,91	593,95	68,34	607,09	8,88	98,32	1499,79	15,25	1,40	86,65
1,4-1,5	1158,84	19,99	17,22	344,23	88,33	951,33	10,77	31,66	905,84	28,61	1,50	25,72
1,5-1,6	332,18	5,73	31,37	179,76	94,06	1131,09	12,02	11,67	561,60	48,14	1,60	7,62
1,6-1,7	109,40	1,89	41,90	79,07	95,95	1210,16	12,61	5,94	381,85	64,33	1,70	
1,70	234,68	4,05	74,79	302,77	100,00	1512,93	15,13	4,05	302,77	74,79		
TOPLAM	5796,98	100,00	15,12	1512,93								



Şekil 5.15. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -3,2+1,6 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

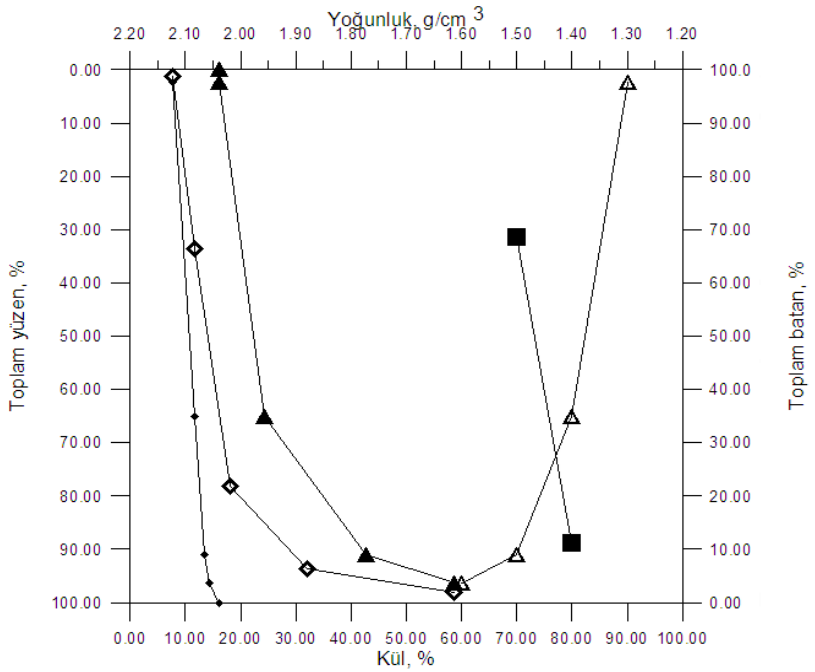
-3,2+1,6 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,4 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 8,88 kül içeren ve % 68,34 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 73,36 olarak hesaplanmıştır, Çizelge 5.15 ve Şekil 5.15 incelendiğinde, bu fraksiyon için hem konsantre hem de kül yüzdesine göre uygun bir zenginleştirme yapıldığı söylenebilir. ± 0,1 eğrisine göre 1,6 ve sonrası yoğunluklarda yapılan zenginleştirmenin çok kolay olacağı söylenebilir.

-1,6+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.16'de ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar% ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ. Malzeme Miktarı %
-1,30	72,49	2,25	7,78	17,48	2,25	17,48	7,78	100,00	1600,32	16,00	1,30	–
1,3-1,4	2029,70	62,91	11,69	735,36	65,15	752,84	11,56	97,75	1582,84	16,19	1,40	88,86
1,4-1,5	837,40	25,95	18,01	467,41	91,10	1220,25	13,39	34,85	847,48	24,32	1,50	31,29
1,5-1,6	172,10	5,33	32,04	170,89	96,44	1391,14	14,43	8,90	380,07	42,73	1,60	–
1,60	114,92	3,56	58,73	209,17	100,00	1600,32	16,00	3,56	209,17	58,73		
TOPLAM	3226,61	100,00	16,00	1600,32					0,00			



Şekil 5.16. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -1,6+0,8 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

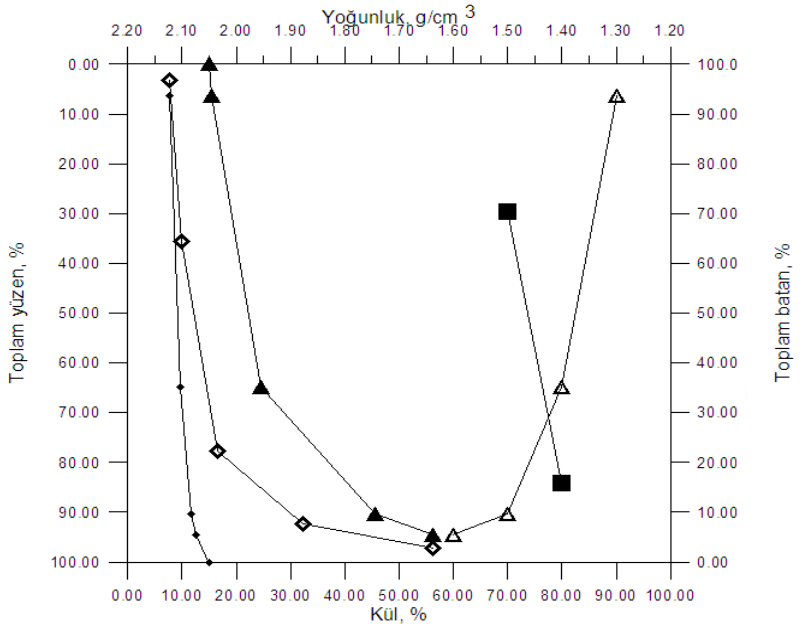
-1,6+0,8 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,4 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 11,56 kül içeren ve % 65,15 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 68,59 olarak hesaplanmıştır, Çizelge 5.16 ve Şekil 5.16 incelendiğinde, bu fraksiyon için uygun konsantre miktarına göre istenilen miktarda bir kül giderimine ulaşılmadığı söylenebilir.

-0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.17'de ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar% ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ.	±0,1 Yoğ, Malzeme Miktarı %
-1,30	187,31	6,21	7,76	48,18	6,21	48,18	7,76	100,00	1488,77	14,89	1,30	–
1,3-1,4	1772,22	58,74	9,85	578,60	64,95	626,78	9,65	93,79	1440,59	15,36	1,40	84,12
1,4-1,5	765,60	25,38	16,57	420,48	90,33	1047,26	11,59	35,05	861,99	24,59	1,50	29,63
1,5-1,6	128,32	4,25	32,30	137,38	94,58	1184,64	12,53	9,67	441,51	45,64	1,60	–
1,60	163,56	5,42	56,10	304,13	100,00	1488,77	14,89	5,42	304,13	56,10		
TOPLAM	3017,01	100,00	14,88	1488,77								



Şekil 5.17. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -0,8+0,4 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

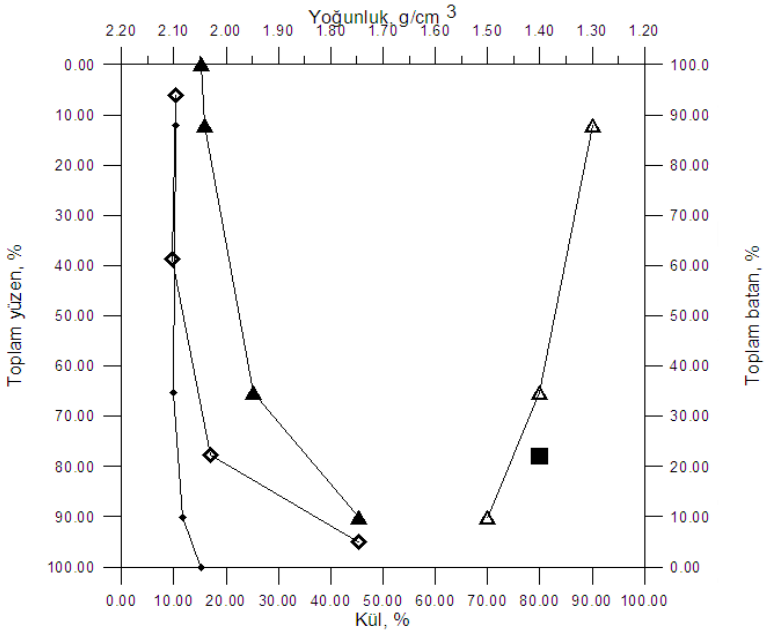
-0,8+0,4 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,4 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 9,65 kül içeren ve % 64,95 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 68,71 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.17 ve Şekil 5.17 incelendiğinde, bu fraksiyon için uygun konsantre miktarına göre istenilen miktarda bir kül giderimine ulaşılmadığı söylenebilir.

-0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları Çizelge 5.18'de ve yüzdürme-batırma eğrileri ise Şekil 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			± 0,1 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (g)	Miktar % M	Kül % K	M x K	Miktar % ΣM↓	ΣMxK ↓	Kül %	Miktar% ΣM ↑	ΣMxK↑	Kül %	Yoğ	±0,1 Yoğ. Malz. Mikt. %
-1,30	159,60	12,08	10,38	125,38	12,08	125,38	10,38	100,00	1511,32	15,11	1,30	–
1,3-1,4	703,40	53,24	9,68	515,34	65,32	640,72	9,81	87,92	1385,94	15,76	1,40	77,96
1,4-1,5	326,70	24,73	16,92	418,37	90,04	1059,10	11,76	34,68	870,60	25,10	1,50	–
1,50	131,55	9,96	45,42	452,22	100,00	1511,32	15,11	9,96	452,22	45,42		
TOPLAM	1321,25	100,00	15,11	1511,32								



Şekil 5.18. Ermenek (Karaman) kömürlerinde -0,4+0,2 cm tane boyutuna ait yüzdürme-batırma eğrileri

-0,4+0,2 cm tane boyutlarındaki kömüre uygulanan yüzdürme batırma deneyleri sonucunda; 1,4 yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda % 9,81 kül içeren ve % 65,32 ağırlık oranında bir temiz kömür elde edilmiştir.

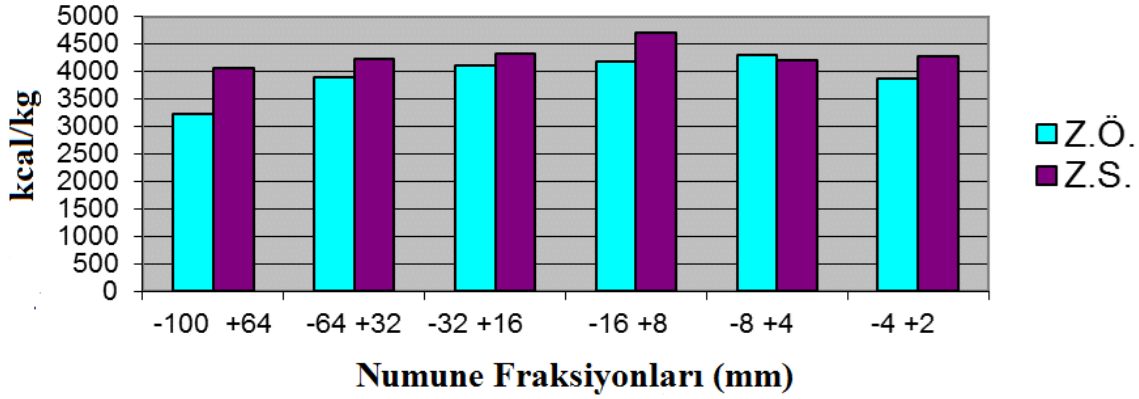
Bu yoğunlukta yüzen kömür numunesinin yanabilir kısım verimi (YKV) % 69,40 olarak hesaplanmıştır, Çizelge 5.18 ve Şekil 5.18 incelendiğinde, bu fraksiyon için uygun konsantre miktarına göre istenilen miktarda bir kül giderimine ulaşılmadığı söylenebilir.

5.4. Zenginleştirme Öncesi ve Sonrası Kimyasal Analiz Değerleri

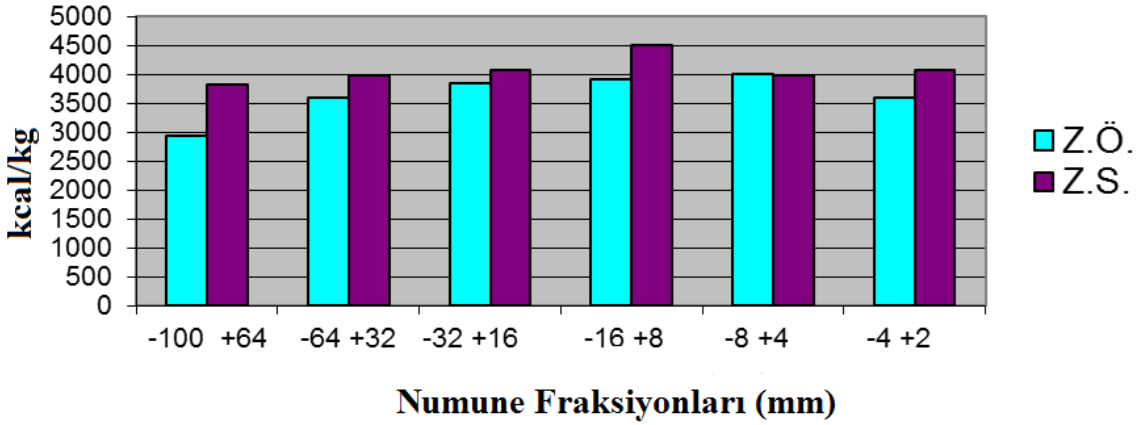
Ağır ortam zenginleştirme deneylerini numunelere uygulamadan ve uyguladıktan sonra da kimyasal analizleri yapılmıştır. Bu işlemlerin sonuçları aşağıda gösterilmektedir.

5.4.1. Beyşehir– Bayavşar kömürüne ait zenginleştirme öncesi ve sonrası kimyasal analiz değerleri

Beyşehir-Bayavşar linyitlerine ait yıkama öncesi ve sonrası, üst ısıl değerleri Şekil 5.19'da, alt ısıl değerleri Şekil 5.20'de, kükürt değerleri Şekil 5.21'de ve kül yüzdeleri Şekil 5.22'de verilmiştir.

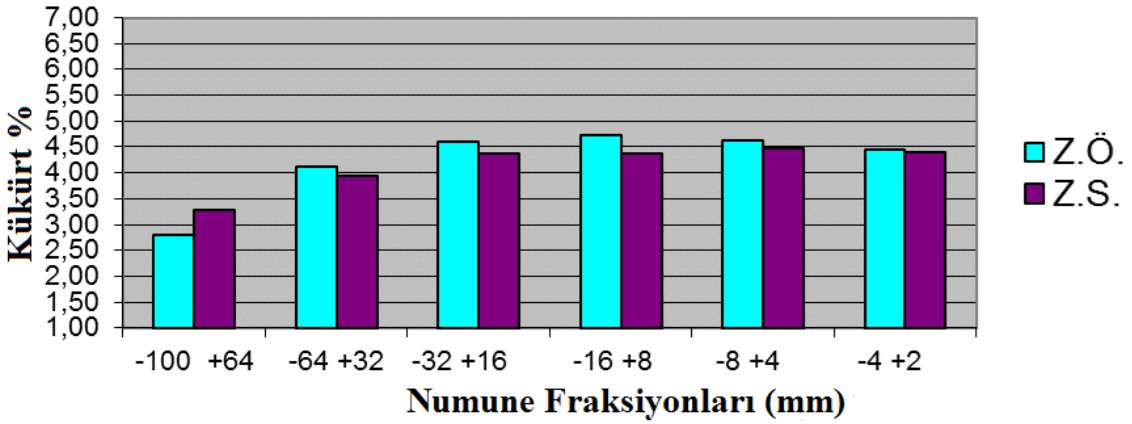


Şekil 5.19. Beyşehir üst ısıl değerleri



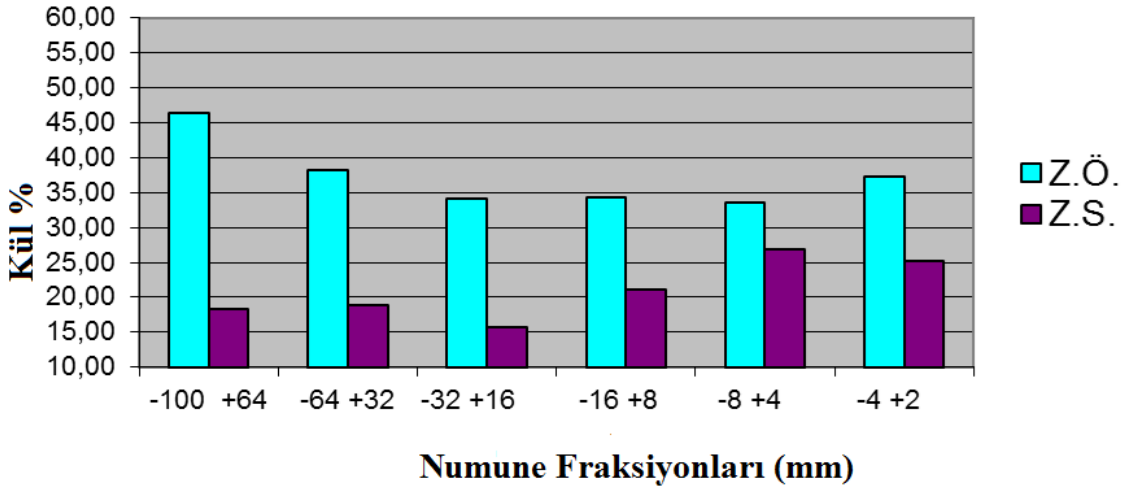
Şekil 5.20. Beyşehir alt ısıl değerleri

Şekil 5.19-20'de görüldüğü gibi, Beyşehir-Bayavşar kömürlerine ait alt ısıl ve üst ısıl değerleri yıkama sonrası artmaktadır.



Şekil 5.21. Beyşehir kükürt (S) değerleri

Şekil 5.21'de görüldüğü gibi, Beyşehir-Bayavşar kömürlerine ait kükürt değerleri yıkama sonrası çoğunlukla düşük bir miktarda olsa azalmaktadır.

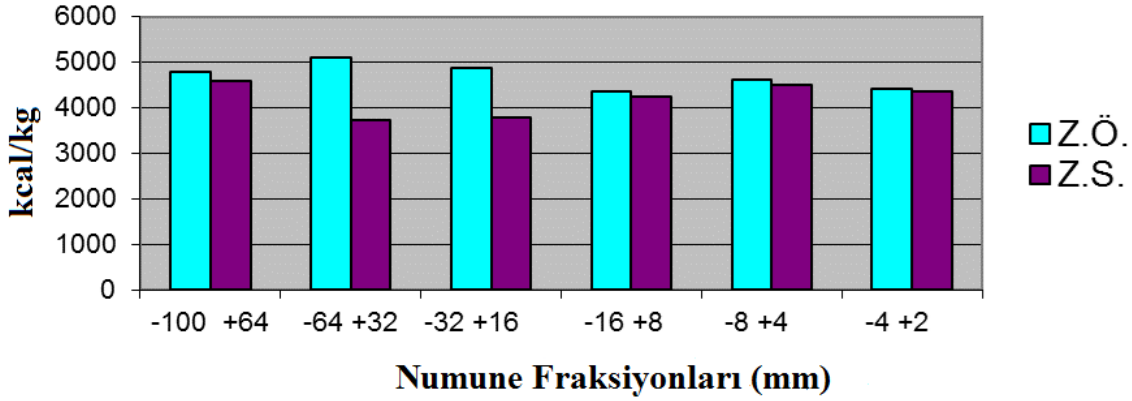


Şekil 5.22. Beyşehir kül değerleri

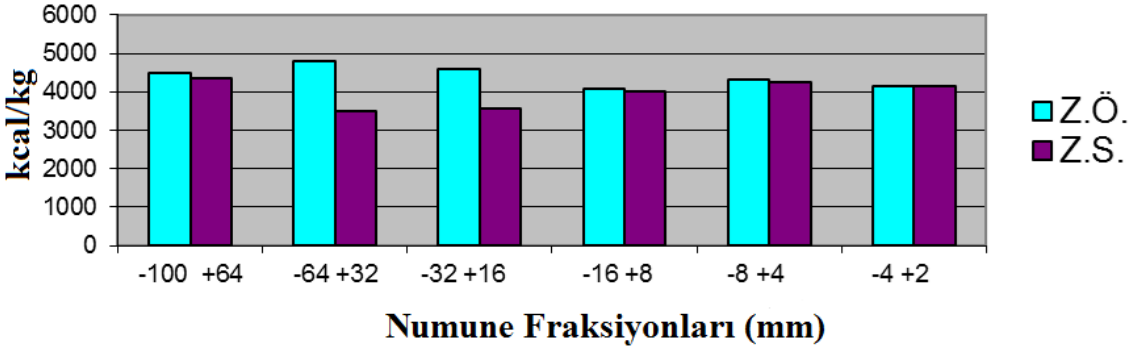
Şekil 5.22'de görüldüğü gibi, Beyşehir-Bayavşar kömürlerine ait kül değerleri yıkama sonrası oldukça azalmaktadır.

5.4.2. Ilgın-Çavuşçugöl kömürüne ait zenginleştirme öncesi ve sonrası kimyasal analiz değerleri

Ilgın-Çavuşçugöl linyitlerine ait yıkama öncesi ve sonrası, üst kalori değerleri Şekil 5.23'te, alt kalori değerleri Şekil 5.24'te, kükürt değerleri Şekil 5.25'de ve kül yüzdeleri Şekil 5.26'da verilmiştir.

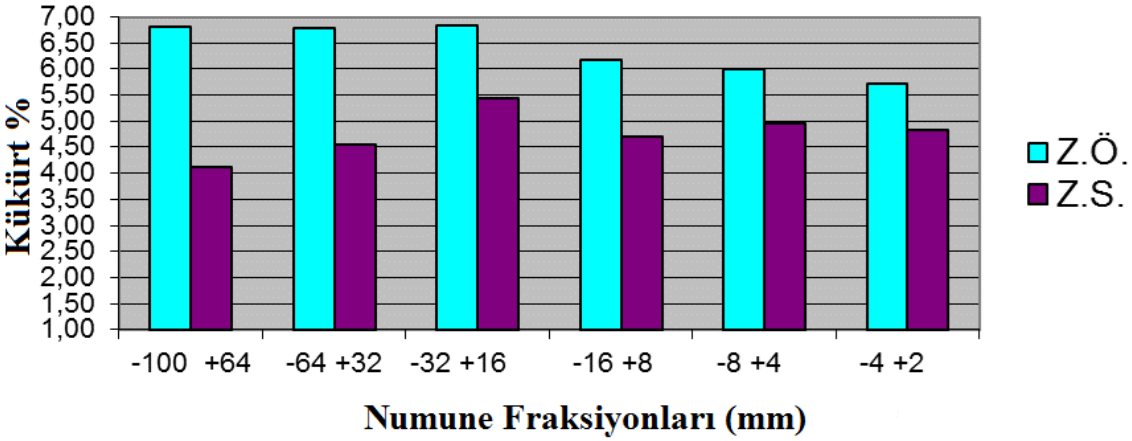


Şekil 5.23. Ilgın üst ısıl değerleri



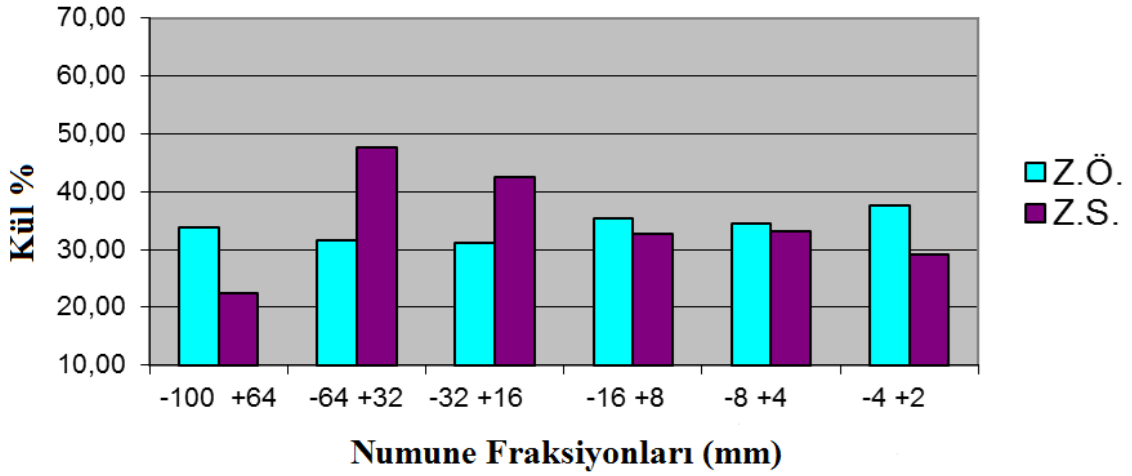
Şekil 5.24. Ilgın alt ısıl değerleri

Şekil 5.24-25'te görüldüğü gibi, Ilgın-Çavuşçugöl kömürlerine ait alt ısıl ve üst ısıl değerleri yıkama sonrası görünür bir değişikliğe uğramamıştır.



Şekil 5.25. Ilgın kükürt (S) değerleri

Şekil 5.25'da görüldüğü gibi, Ilgın-Çavuşçugöl kömürlerine ait kükürt değerleri yıkama sonrası azalmaktadır.

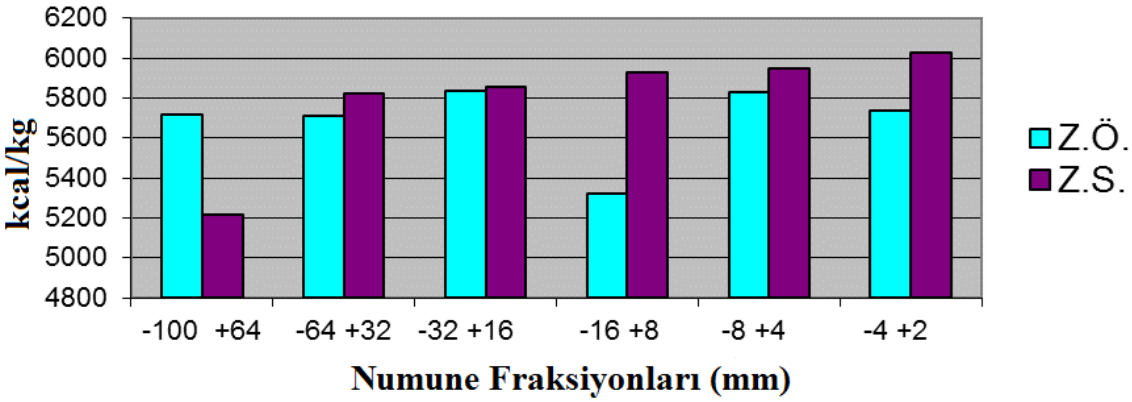


Şekil 5.26. Ilgın kül değerleri

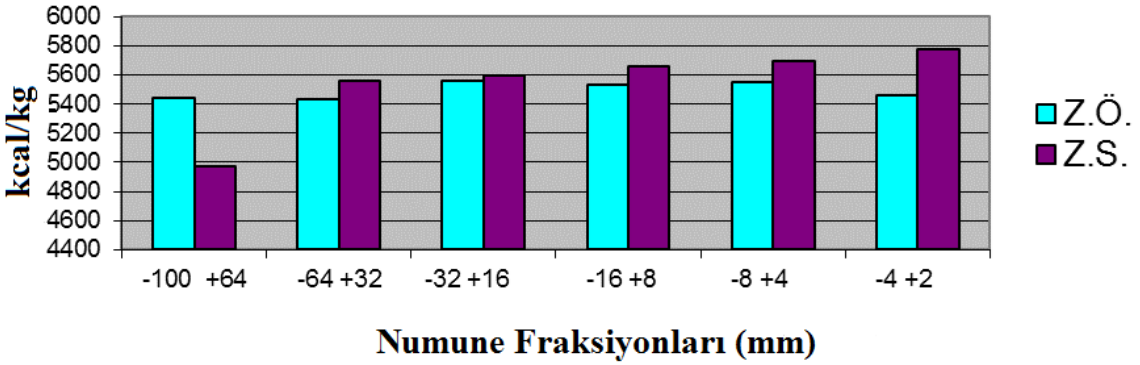
Şekil 5.26'de görüldüğü gibi, Ilgın-Çavuşçugöl kömürlerine ait kül değerlerinde yıkama sonrası bariz bir azalma görülmemektedir.

5.4.3. Ermenek-Karaman kömürüne ait zenginleştirme öncesi ve sonrası kimyasal analiz değerleri

Ermenek-Karaman linyitlerine ait yıkama öncesi ve sonrası, üst ısıl değerleri Şekil 5.27'de, alt ısıl değerleri Şekil 5.28'de, kükürt değerleri Şekil 5.29'da ve kül yüzdeleri Şekil 5.30'da verilmiştir.

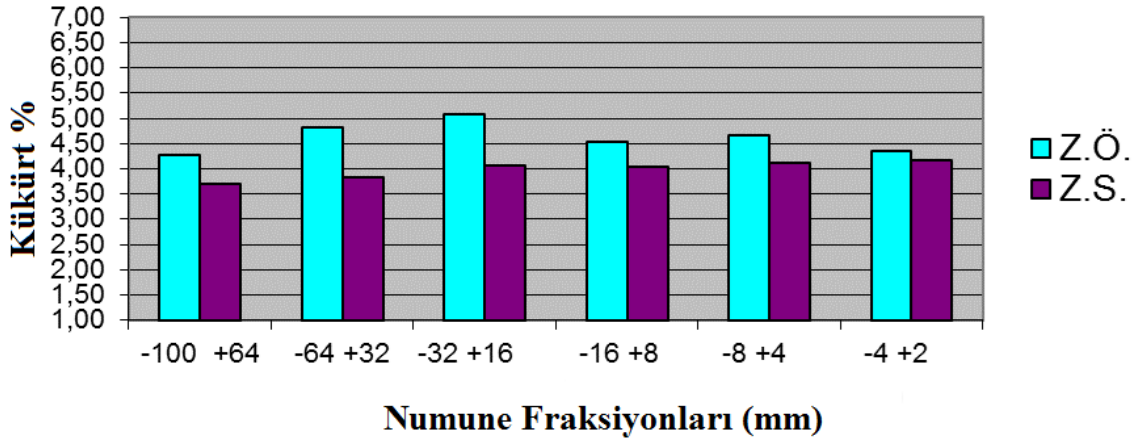


Şekil 5.27. Ermenek üst ısıl değerleri



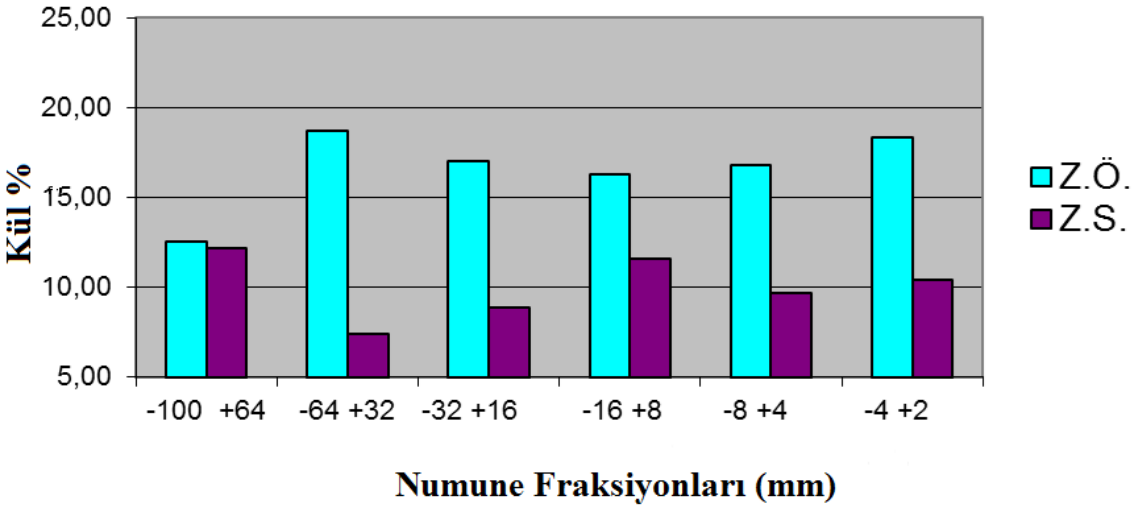
Şekil 5.28. Ermenek alt ısıl değerleri

Şekil 5.27-28'de görüldüğü gibi, Ermenek-Karaman kömürlerine ait alt ısıl ve üst ısıl değerleri yıkama sonrası fazla bir artış görülmemektedir.



Şekil 5.29. Ermenek kükürt (S) değerleri

Şekil 5.29'da görüldüğü gibi, Ermenek-Karaman kömürlerine ait kükürt değerleri yıkama sonrası az da olsa azalmaktadır.



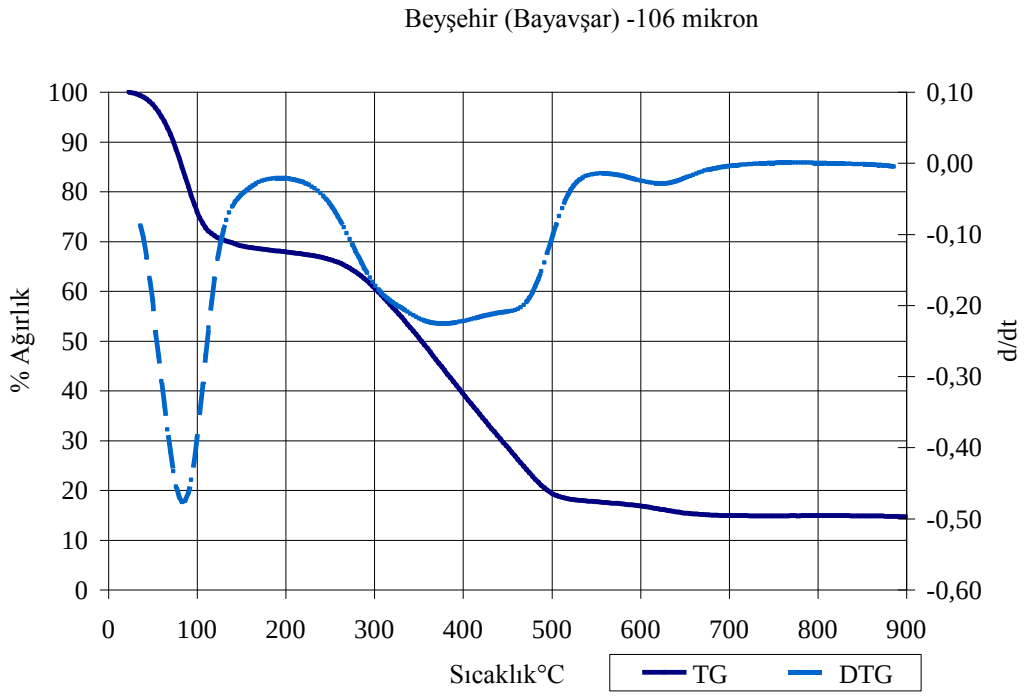
Şekil 5.30. Ermenek kül değerleri

Şekil 5.30'da görüldüğü gibi, Ermenek-Karaman kömürlerine ait kül değerleri yıkama sonrası genellikle azalmaktadır.

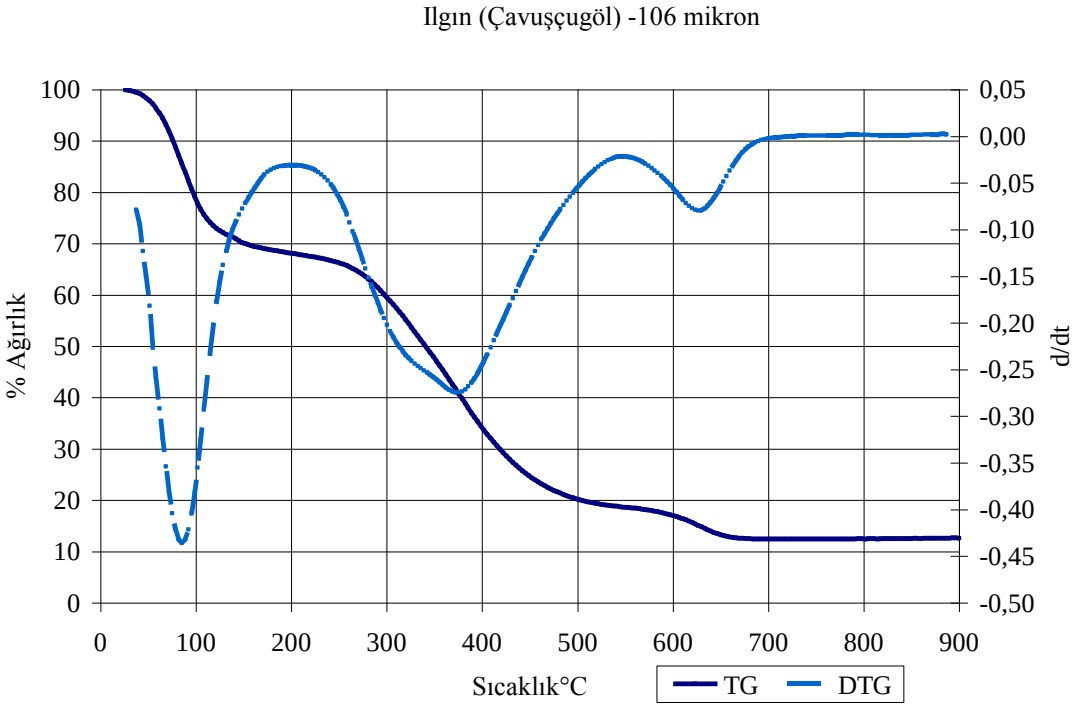
5.5. Kömür Örneklerinin Termogravimetrik Özelliklerinin Belirlenmesi

Kömürlerin termogravimetrik özelliklerinin belirlenmesinde Polymer Laboratories PL-TGA 1500 cihazı kullanılmıştır. Üç ayrı bölgeye ait olan kömürler, -106 µ boyutuna indirilmiş ve termogravimetrik testlere tabi tutulmuştur. Testler, 5 ml/dak akışkan hava ortamında gerçekleştirilmiş olup, lineer bir ısıtma hızında 10°C/dak ısıtma hızı ile ortam sıcaklığından başlayarak 900°C'ye kadar ısıtılarak gerçekleştirilmiştir.

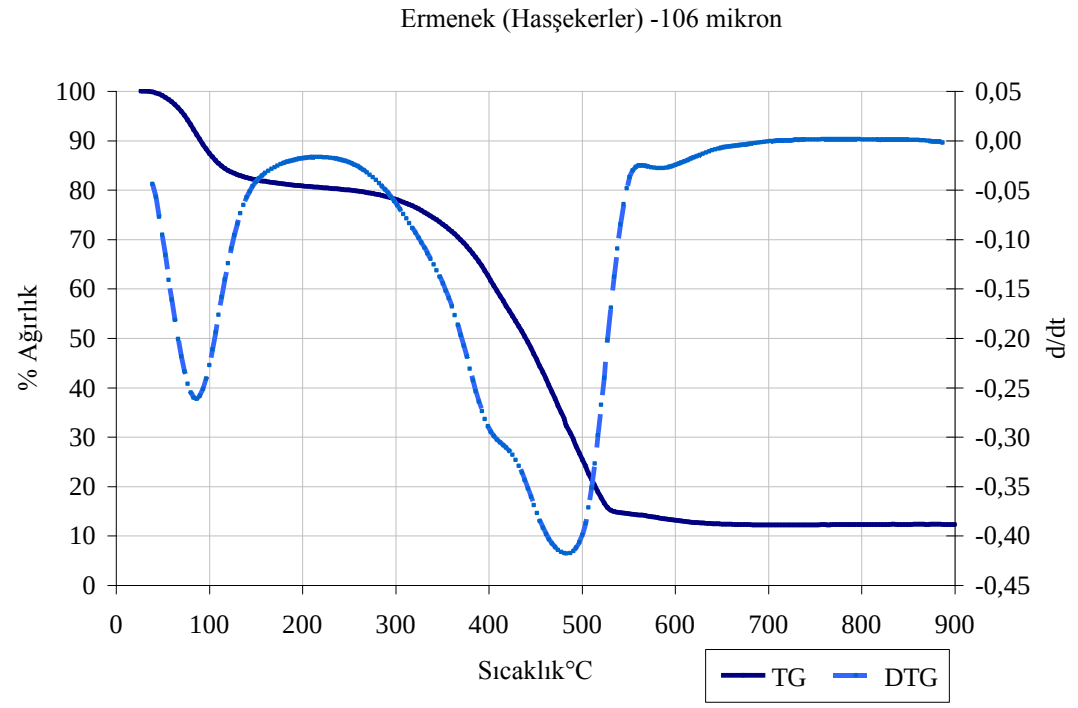
Tüvenan kömürlere ait TG ve DTG eğrileri, Bayavşar-Beyşehir kömürü için Şekil 5.31, Ilgın-Konya kömürü için Şekil 5.32'de ve Ermenek-Karaman kömürü için ise Şekil 5.33'te gösterilmiştir.



Şekil 5.31. Bayavşar (Beyşehir) kömürüne ait TG ve DTG eğrileri



Şekil 5.32. Ilgın (Çavuşçugöl) kömürüne ait TG ve DTG eğrileri



Şekil 5.33. Ermenek (Karaman) kömürüne ait TG ve DTG eğrileri

TG ve DTG eğrileri incelendiğinde, 3 farklı reaksiyon bölgesi tespit edilmiştir. Nemin buharlaşması sonucu 1. reaksiyon bölgesi oluşmaktadır. Uçucu maddenin uzaklaşması ve karbonun yanması ile 2. reaksiyon bölgesi, kömürdeki minerallerin dekompozisyona uğraması sonucunda ise 3. reaksiyon bölgesi oluşmaktadır.

Yukarıdaki şekiller incelendiğinde, en fazla ağırlık kaybının 2. bölgede oluştuğu belirlenmiştir. Sonuç olarak buradan anlaşıldığı gibi, kömürün karbonlu kısmının bu bölgede yanmasının gerçekleştiği söylenebilir. 3. reaksiyon bölgesinin sonundaki sıcaklık değeri ise son yanma sıcaklığı olarak adlandırılmaktadır.

Kömür numunelerine ait TG ve DTG eğrilerinden elde edilen reaksiyon bölgeleri Çizelge 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.19. Kömür numunelerine ait reaksiyon bölgeleri

Kömür örnekleri	1. Bölge (°C)	2. Bölge (°C)	3. Bölge (°C)
Beyşehir (Bayavşar)	25-130	235-540	570-690
Ilgın (Çavuşçugöl)	25-150	220-550	565-670
Ermenek (Karaman)	25-135	290-560	570-660

Kömür örneklerinin yanma profilleri de genellikle iki adet maksimum içerirler, birinci maksimum nemin uzaklaşması, ikinci maksimum ise gerçek yanma evresini temsil etmektedir. Tutuşma sıcaklığı ve pik sıcaklığı burada ön plana çıkmaktadır. Tutuşma sıcaklığı birinci pikin minimuma indiği ve ikinci pikin yükselmeye başladığı nokta olarak tanımlanırken; pik sıcaklığı yanma hızının maksimum olduğu sıcaklık olarak tanımlanır.

Kömür numunelerine ait, TG ve DTG eğrilerinden elde edilen tutuşma sıcaklıkları ve pik sıcaklıkları Çizelge 5.20'de verilmiştir.

Çizelge 5.20. Kömür numunelerine ait tutuşma ve pik sıcaklıkları

Kömür örnekleri	Tutuşma sıcaklığı (°C)	Pik sıcaklığı (°C)
Beyşehir (Bayavşar)	196,27	376,03
Ilgın (Çavuşçugöl)	204,90	375,54
Ermenek (Hasşekerler)	216,46	483,12

Çizelge 5.20 incelendiğinde tutuşma sıcaklığı ne kadar düşük ise kendiliğinden yanma o kadar kolay olacaktır. Bu nedenle, Beyşehir kömürlerinin daha çok kendiliğinden yanmaya yatkın olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, Kimyasal yöntemlerle yapılan analizler sonucu elde edilen değerler ile TG yöntemi arasındaki değerler yaklaşık olarak uyumlu sonuçlar vermiştir.

Buna göre, nem, uçucu madde, Kül ve sabit karbon içerikleri Çizelge 5.21'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.21. Kömür numunelerine ait analiz değerleri

Kömür örnekleri	**Kimyasal Yöntemler**			**TG Yöntemi**		
	% Nem	*% Kül*	*% Uçucu Madde+Sabit Karbon*	*% Nem*	*% Kül*	*% Uçucu Madde+Sabit Karbon*
Beyşehir (Bayavşar)	53,83	17,36	20,36 8,45	32,67	18,30	49,03
Ilgın (Çavuşcugöl)	47,12	17,01	25,08 10,09	32,43	12,50	55,07
Ermenek (Hasşekerler)	16,07	11,92	37,16 34,85	18,30	12,35	69,35

6.SONUÇLAR

Konya bölgesinden alınan üç farklı Bayavşar (Beyşehir-Konya), Ilgın (Konya), Ermenek (Karaman) kömür numuneleri üzerinde yapılan ağır ortamda zenginleştirme deneyinin sonuçları büyük fraksiyondan küçük fraksiyona doğru yapılmış olup, bu işlemden önce ve sonra kimyasal analizlere tabi tutulmuştur. Bu değerlerin sonuçları yukarıdaki deneysel çalışmalar kısmında sunulmuştur. Bu değerlerden yola çıkarak:

Beyşehir kömür numuneleri üzerindeki çalışmalar göz önüne alındığında; tüvenan kömürde nem oranı % 53,83 kül oranı % 17,36 uçucu madde oranı % 20,36 sabit karbon % 8,45 toplam kükürt % 2,11 alt kalori değeri 1416 Kcal/kg, üst kalori değeri 1827 Kcal/kg hidrojen ise % 1,87 olarak bulunmuştur.

-10+6,4 cm tane boyutu aralığındaki kömürler hariç diğer fraksiyonlarda, 1,4 ve üzerindeki yoğunluklarda yapılan deneyler için, ± 0,1 eğrisine göre ayırmanın kolay olabileceğini söylenebilir. Kimyasal analiz değerlerine bakılırsa; alt kalori ve üst kalori değerleri yükselmiş ve kül ve kükürt değerleri düşmüştür.

Ilgın kömür numuneleri üzerindeki çalışmalar göz önüne alındığında; tüvenan kömürün nem oranı % 47,12 külü % 17,02 uçucu madde oranı % 25,75 sabit karbon oranı % 10,09 toplam kükürt oranı % 2,99 alt kalori değeri 2058 Kcal/kg, üst kalori değeri 2462 Kcal/kg hidrojen % 2,48 olarak bulunmuştur.

Genel olarak Ilgın kömürlerinde istenilen kül giderimine ulaşılamamıştır. Buna rağmen -0,4-0,2 cm tane boyutunda yapılan zenginleştirme deneylerinde bir miktar kül giderimine ulaşılmıştır. Kimyasal analiz değerlerine bakılırsa; alt kalori ve üst kalori değerleri fazla bir değişiklik göstermemiş ve kül ve kükürt değerleri düşmüştür.

Ermenek kömür numuneleri üzerindeki çalışmalar göz önüne alındığında; tüvenan kömürde nem oranı % 16,07 kül oranı % 11,92 uçucu madde oranı % 37,16 sabit karbon % 34,85 toplam kükürt % 4,39 alt kalori değeri 4746 Kcal/kg, üst kalori değeri 5050 Kcal/kg, hidrojen % 4,04 bulunmuştur.

Genelde kayda değer bir kül giderimine ulaşılamamıştır. Bunun sebebinin, besleme külünün başta düşük bir değer olması olarak düşünülebilir. En iyi sonuç, -3,2+1,6 cm tane boyutundaki kömür numunesi zenginleştirildiğinde çıkmıştır. Bu fraksiyon için hem konsantre hem de kül yüzdesine göre uygun bir zenginleştirme yapıldığı söylenebilir. ± 0,1 eğrisine göre 1,6 ve sonrası yoğunluklarda yapılan zenginleştirmenin de çok kolay olacağı söylenebilir. Kimyasal analiz değerleri olarak da alt ve üst kalori değerleri yükselmiş, kül ve kükürt değerleri de düşmüştür.

TG ve DTG eğrileri incelendiğinde, 3 farklı reaksiyon bölgesi tespit edilmiştir. Nemin buharlaşması sonucu 1. reaksiyon bölgesi oluşmaktadır. Uçucu maddenin uzaklaşması ve karbonun yanması ile 2. reaksiyon bölgesi, kömürdeki minerallerin dekompozisyona uğraması sonucunda ise 3. reaksiyon bölgesi oluşmaktadır. TG ve DTG eğrilerinde en fazla ağırlık kaybının 2. bölgede oluştuğu belirlenmiştir. Sonuç olarak buradan anlaşıldığı gibi, kömürün karbonlu kısmının bu bölgede yanmasının gerçekleştiği söylenebilir. 3. reaksiyon bölgesinin sonundaki sıcaklık değeri ise son yanma sıcaklığı olarak adlandırılmaktadır.

DTG eğrileri göz önüne alındığında ise; tutuşma sıcaklığı ve pik sıcaklığı verileri ön plana çıkmaktadır. Beyşehir (Bayavşar) kömürlerinde 196,27 °C sıcaklığında tutuştuğu sıcaklığı, 376,03 °C; yanma hızının maksimum olduğu pik sıcaklığı olarak bulunmuştur. Ilgın (Konya) linyitlerinde; tutuşma sıcaklığı 204,90 °C, pik sıcaklığı ise 375,54 °C olduğu görülmüştür. Ermenek (Karaman) kömürlerinin de 216,46 °C'de tutuştuğu ve 483,12 °C'de ise en fazla yanma hızı gerçekleştiği görülmüştür. Bu durumdan görüldüğü gibi; Beyşehir (Bayavşar) kömürlerinin daha düşük sıcaklıkta tutuştuğu söylenebilir.

Sonuç olarak; TG ve DTG eğrilerinde ve kimyasal analiz işlemlerinde birbiriyle örtüşen değerler bulunmuştur.

KAYNAKLAR

Al, Z., 2011, Adıyaman Gölbaşı linyit kömürlerinin teknolojik etüdü, *İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 104 s.

and Developers. The J. Systems Management, July, 18-21.

Anon., 2001, "http://www.ardamaden.com/fckdosyalari/image/icerikler/prses0001.jpg"

Anon., 2010, "http://www.organikgubre.org/leonardit-nedir-ve-faydalari-nelerdir-"

Atak, S. ve Ateşok, G., 1991, Kömürün susuzlandırılması, *Kömür Teknolojisi ve Kullanım Semineri*, İzmir, sf 92-115.

Ateşok, G., 2009, Kömür hazırlama ve teknolojisi, *Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayını,* İstanbul.

Beker, Ü.G., 1998, Kömürün kullanım alanları, (Editör: Orhan Kural), *İstanbul*, 425-447 s.

Cumming, J. W. and Mc Laughlin, J. (1982) Thermochemica Acta, 57, 253.

Çınar, i. 1999, Ermenek bölgesi kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, sf 78.

Demirci, A. ve Elevli S., 2004, Bazı kömür özelliklerinin termik santral verimliliği ve kömür fiyatları üzerine etkilerinin araştırılması, *Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı,* Zonguldak, Türkiye

Demirel, İ.H. (1989) Ermenek (Konya) yöresinde yer alan tersiyer yaşlı istifin jeolojisi, sedimantolojisi ve bölgedeki kömür damarının ayrıntılı incelenmesi, Doktora Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Enerji Enstitüsü, 2014, http://enerjienstitusu.com/turkiye-kurulu-elektrik-enerji-gucu-mw/

EÜAŞ, 2013, "http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/enerji/images/2011-1_faaliyet.pdf"

Göğüş, G., 2000, Thermogravimetric methods for determining composition of coals, *Cement and Concrete Technology In The 2000s Second International Symposium, 6-10 September 2000*, Istanbul, Turkey, pp 218-224

İrican, A., 2005, Kömür ve kömür analizleri, *Staj Raporu, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü*, Ankara.

Karadağ, S., 2011, Türkiye kömür havzaları ve potansiyel uygulamaları haritası, "http://cografyabilim.wordpress.com/tag/turkiye-haritasi-enlem-boylam/"

Karr, C.Jr., 1978, Analytical Methods for Coal and Coal Products, *Vol II, Academic Press*, London.

Kastanaki, E., Vamvuka, D., Kakaras E. and Grammelis, P., 2003, Combustion reactivity and ash related properties of coal-wood mixtures, *3rd Meeting of the Greek Section of the Combustion Institute, University of Patra*s, p.1-8, paper 2.7

Kavuşan, G., 2007, JEM 408 – Kömür Jeolojisi, *Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi Maden Fakültesi*, Bölüm 6, s. 1.

Keller, K., and Stahl, W., `Vibration Dewatering`, Chemical Engineering and Processing, 33 (1994) 331-336

Kemal,M., 2006, Kömür hazırlama ve zenginleştirmedeki son gelişmeler, *Kömür ve Enerji Semineri, TKİ Genel Müdürlüğü Konferans salonu,* Ankara.

Kissinger, H.E., 1957, Reaction Kinetics in DTA, *Analytical Chemistry, Vol 29*, pp 1702-1706.

Kök, M.V., Özbaş, K.E., Karacan, Ö. and Hiçyılmaz, C., 1998, Effect of partide size on coal pyrolysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, vol 45*, pp 104-110.

Kural, O., 1998, Kömürün susuzlandırılması ve kurutulması, Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, sf 142-149.

Küçükbayrak, S., 1998, Kömürün ısıl analizi, kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre özellikleri, Editör O.Kural, *Özgün Ofset Matbaacılık*, İstanbul, sf 114- 125.

Mackenzie, R.C., 1979, Nomenclature in thermal analysis, Thermochimica Acta, *Vol 28*, No 1.

Mak, Kuok Hang, 2011, Vibration modelling and analysis of piezoelectric energy harvesters. PhD thesis, University of Nottingham Thesis (PhD) *UK Campuses > Faculty of Engineering > Department of Mechanical, Materials and Manufacturing Engineering*

Osborne, D.G., 1990, Screening, solid-liquid separation, *Third Edition,Butterworths*, Londra.

Önal, G., Doğan Z., Atak, S. ve Ateşok, G., 1986, Kömürün zenginleştirilmesi ve lavvar tesislerinin çalıştırılması, *Teknoloji ve Uygulama Geliştirme Projesi, İTÜ Rektörlüğü Yer Bilimleri Yeraltı Kaynakları Uygulama Araştırma Merkezi,* sf 117

Özbaş, K.E., Bilgen, S., Hiçyılmaz, C. and Kök, M.V., 1998, Thermogravimetric behaviour of some turkish lignites of different sizes, *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgi*, vol 42, pp 149-156.

Özbaş, K.E., Hiçyılmaz, C., Kök, M.V. and Bilgen, S., 1999, Combustion characteristics of soma lignite and the effect of cleaning, *Proceeding of Coal Policies and Clean Coal Technologies in Turkey Symposium, October 21-22nd*, Ankara, Turkey, pp 80-88.

Özkan G. ve ark., 2011. Kömür Yüzdürme-Batırma Deneyleri, Kömür Hazırlama Dersi, *İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü,* İstanbul, 17 s.

Özpeker, I., 1998, Kömürün oluşumu, petrografisi ve sınıflandırılması, Kömür, *Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş.*, Editör: Orhan Kural.

Özşen, H., 2003, Bazı türk kömürlerinin termogravimetrik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü*, Konya, sf. 269.

Patwardhan, A., Mondal K., Chugh, Y.P. and Singh, N., 2002, Enhanceddewatering of fine coal using mechanical techniques, *Proceedings,Nineteenth Annual International Pittsburgh Coal Conference*, Pittsburgh,24-27.

Randolp, J.M., 1997; ”Characterizing flotation response: a theoretical and experimental comparison of techniques”, Master of Science, *Mining and Minerals Engineering, State University*, Virginia.

Serageldin, M.A., Pan, W.P., 1987; “Effect of calcıum chloride and calcıum acetate on the reactıvıty of a lıgnıte coal at low heatıng rate”, *Department of Chemistry and Chemical Engineering, Michigan Technological University*, Houghton, MI 49931 (U.S.A.)

Shah, H., Dingley, S., & Golder, P. (1994). Bridging the Culture Gap between Users

Temel, A. H., 2007, Adıyaman Gölbaşı linyitinin değerlendirilme olanaklarının araştırılması, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.

TKİ, 2007 “http://www.tki.gov.tr”

Unlu, M 1990, The washabihty characteristics and washing possibilities of Turkish lignites, *3 uluslar arası cevher hazırlama sempozyumu*, istanbul s 274-286

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Şerife GÖKÇE (ERDOĞAN)
Uyruğu	**:**	TC
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	MUTLU 1989
Telefon	**:**	05432426933
Faks	**:**	
e-mail	**:**	serife.gokce.4242@hotmail.com serifeerdogan1989@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Beyşehir Lisesi , Beyşehir, Konya**	**2007**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya**	**2011**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya**	**2014**
Doktora	:	**-**	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2012	**Özel sektör**	**Daimi Nezaretçi**

UZMANLIK ALANI

Maden Mühendisi
Iş Güvenliği Uzmanı

YABANCI DİLLER

İngilizce