

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PİRİT KÜLÜ VE BAKIR CURUFU ATIKLARININ AĞIR ORTAM MALZEMESİ
OLARAK KÖMÜR YIKAMADA KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Müh. Sadiye YÜCE

**HAZİRAN 2011
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PİRİT KÜLÜ VE BAKIR CURUFU ATIKLARININ AĞIR ORTAM MALZEMESİ
OLARAK KÖMÜR YIKAMADA KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Maden Müh. Sadiye YÜCE

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"MADEN YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.05.2011
Tezin Savunma Tarihi : 13.06.2011**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. İbrahim ALP

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalında

Sadiye YÜCE tarafından hazırlanan

**PIRİT KÜLÜ VE BAKIR CURUFU ATIKLARININ AĞIR ORTAM MALZEMESİ
OLARAK KÖMÜR YIKAMADA KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 25 / 04 / 2011 gün ve 1406 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 13 / 06 / 2011 tarihinde yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Celal DURAN

.....

Üye : Doç. Dr. İbrahim ALP

.....

Üye : Doç. Dr. Tuncay USLU

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez danışmanlığımı üstlenerek gerek konu seçimi gerekse çalışmaların yönlendirilmesindeki katkılarından dolayı hocam Sayın Doç. Dr. İbrahim ALP'e teşekkürü bir borç bilirim. Laboratuvar ortamında destek, görüş ve önerilerini esirgemeyen Arş. Gör. Ersin Yener YAZICI, Arş. Gör. Kadir KARAMAN, Öğr. Gör. Ercan ŞAHİNOĞLU'na teşekkür ederim. Çalışma süresince her zaman yanımda olan arkadaşlarım Arş. Gör. Emine YOĞURTCUOĞLU, Arş. Gör. Deniz BAŞ, Arş. Gör. Kadriye KARADENİZ, Arş. Gör. İlker ERKAN, ve Kadir ÖNDEŞ'e desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca numune almada ve tesisteki deneme çalışmalarında yardımcı olan, Eski Çeltik Kömür İşletmesi'nde çalışan Maden Mühendisleri Rıza ARABACI ve Hüseyin KARABAŞ'a teşekkür ederim.

KARGOLD Madencilik Tic. Ltd. Şti. genel müdürü Fatih MENGÜÇ'e de çalışmalarımı yapabilmem için verdiği izinler ve anlayışından dolayı teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan aileme en derin şükranlarımı sunarım.

Sadiye YÜCE
Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “*Pirit Külü ve Bakır Curufu Atıklarının Ağır Ortam Malzemesi Olarak Kömür Yıkamada Kullanılabilirliğinin İncelenmesi*” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım *Doç. Dr. İbrahim ALP*'in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 11/07/2011

Sadiye YÜCE

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kömür ve Kömür Yıkama.....	3
1.2.1. Kömürün Oluşumu.....	4
1.2.2. Kömürlerin Sınıflandırılması ve Çeşitleri.....	7
1.2.2.1. Turba.....	10
1.2.2.2. Linyit.....	10
1.2.2.3. Taşkömürü.....	11
1.2.2.4. Antrasit.....	12
1.2.3. Kömürlerin Özellikleri.....	12
1.2.3.1. Nem.....	12
1.2.3.2. Kül.....	13
1.2.3.3. Kükürt.....	13
1.2.4. Kömür Yıkamanın Gerekçeleri.....	14
1.3. Türkiye’ deki Kömür Yıkama Tesisleri.....	15
1.4. Ağır Ortam Ayırması.....	18
1.4.1. Ağır Ortam Ayırıcıları.....	19
1.4.2. Kömür Yıkamada Ağır Ortam Uygulaması.....	24
1.4.2.1. Yıkama Öncesi Sınıflandırma.....	25
1.4.2.2. Yoğunluğa Göre Ayırma.....	27

1.4.3.	Ağır Ortamın Değerlendirilmesi.....	29
1.4.3.1.	Yüzdürme Batırma Testleri.....	29
1.4.3.2.	Yüzdürme Batırma Eğrileri.....	31
1.4.3.3.	Mayer Eğrisi.....	33
1.4.3.4.	Tromp Eğrisi.....	33
1.4.4.	Ağır Ortam Malzemeleri.....	34
1.5.	Manyetik Ayırma ve Ağır Ortam Kazanımı.....	35
1.5.1.	Ağır Ortam (Manyetit) Kazanım Devreleri.....	41
1.6.	Ağır Ortam Devrelerinde Manyetit Kayıpları.....	44
1.7.	Alternatif Ağır Ortam Malzemeleri.....	45
1.8.	Bakır Curufu.....	47
1.9.	Pirit Külü.....	47
1.10.	Eski Çeltek Kömür Yıkama Tesisi.....	49
1.11.	Çalışmanın Gerekçesi ve Amacı.....	47
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	52
2.1.	Örnek Alma ve Hazırlama İşlemleri	52
2.1.1.	Manyetit.....	55
2.1.2.	Bakır Curufu.....	55
2.1.3.	Pirit Külü.....	55
2.2.	Yöntem.....	56
2.2.1.	Tesis Ağır Ortam Kayıplarının İncelenmesi.....	56
2.2.2.	Malzeme Karakterizasyonu ve Analizleri.....	57
2.2.2.1.	Kimyasal Analizler	57
2.2.2.2.	Mineralojik Analizler.....	58
2.2.2.3.	Manyetik Özelliklerin Analizleri.....	58
2.2.2.4.	Tane Boyut Dağılımı Analizleri.....	59
2.2.2.5.	Sedimentasyon Analizleri.....	60
2.2.2.6.	Yoğunluk Analizi.....	60
2.2.2.7.	Nem Analizi.....	61
2.2.3.	Ağır Ortam Malzemeleri Manyetik Kazanım Testleri.....	61

2.2.4.	Ağır Ortam Malzemelerinin Tesis Performans Testleri	62
2.2.5.	Performans Testlerinin Değerlendirme Yöntemi.....	63
2.2.6.	Kül Analizleri.....	64
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	66
3.1.	Ağır Ortam Malzemelerinin Karakterizasyonu.....	66
3.1.1.	Kimyasal ve Mineralojik Özellikler.....	66
3.1.2.	Tane Boyut Dağılım Özellikleri.....	70
3.1.3.	Manyetik Özellikleri.....	73
3.1.4.	Yoğunluk, Nem ve Çökelme Özellikleri.....	74
3.1.5.	Ağır Ortam Malzemelerinin Manyetik Ayıcılarda Geri Kazanılabilirliği ...	80
3.1.6.	Genel Değerlendirme.....	81
3.2.	Tesis Manyetit Kayıplarının Değerlendirilmesi.....	82
3.2.1.	Süzme ve Yıkama Eleklerinin Etkinliği.....	82
3.2.2.	Tesiste Faaliyet Gösteren Manyetik Seperatörün Etkinliği.....	83
3.2.3.	Genel Değerlendirme.....	83
3.3.	Tesiste Uygulanan Ağır Ortam Ayırmasının Değerlendirilmesi.....	84
3.4.	Alternatif Ağır Ortam Malzemelerinin Kullanılabilirliği.....	96
3.4.1.	Kahverengi Pirit Külü	96
3.4.2.	Bakır Curufu.....	100
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	104
5.	KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

PİRİT KÜLÜ VE BAKIR CURUFU ATIKLARININ AĞIR ORTAM MALZEMESİ OLARAK KÖMÜR YIKAMADA KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Sadiye YÜCE

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim ALP
2010, 110 Sayfa

Bu çalışmada, bakır curufu ve pirit külü atıklarının alternatif ağır ortam malzemeleri olarak kömür yıkamada kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca Eski Çeltik Kömür İşletmesi'nde iri kömür yıkama için Tambur ve Drewboy ayırıcı performansı değerlendirmesi yapılmış ve tesisteki manyetit kayıpları incelenerek nedenleri araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda; ağır ortam malzemesi olarak kullanılan manyetitin kuvars ve hematit gibi safsızlıklar içerdiği, alternatif ağır ortam malzemelerinden pirit külünde manyetitin yanında ağırlıklı olarak hematit bulunduğu, bakır curufunun ise manyetitin yanında çoğunlukla fayalit ve kuvars içerdiği görülmüştür. Bu nedenle malzemelerin manyetik duyarlılıkları ve geri kazanılabilirlik verimleri düşük olarak bulunmuştur. Ayrıca tesisteki manyetit kayıplarının gerek yıkama ünitesinde ve gerekse geri kazanım ünitesinde standartların çok üzerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Tesiste çift yoğunluklu ayırma Tambur ($1,8 \text{ gr/cm}^3$) ve Drewboy ($1,7 \text{ gr/cm}^3$) ayırıcı ile manyetitle yapılan çalışmalarda yıkama performansının standartlara göre kabul edilebilir sınırlarda olduğu bulunmuştur. Bunun yanı sıra alternatif malzemeler (bakır curufu ve pirit külü kahverengi) ile yapılan ayırma sonuçları da kabul edilebilir sınırlarda bulunmasına rağmen malzemelerin geri kazanılabilirlik verimleri çok düşük bulunmuştur. Bu nedenden dolayı, bu malzemelerin ağır ortam olarak kullanılmadan önce manyetik ayırıcı ile zenginleştirilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kömür Yıkama, Ağır Ortam Zenginleştirme, Alternatif Ağır Ortam, Pirit Külü, Bakır Curufu, Performans Değerlendirme

Master Thesis

SUMMARY

UTILIZATION OF PYRITE ASH AND COPPER SLAG AS HEAVY MEDIA IN COAL
WASHING

Sadiye YÜCE

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mining Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. İbrahim ALP
2011, 110 Pages

In this study, utilization of copper slag and pyrite ash which is mining waste as alternative heavy media in coal washing was investigated. In addition, performance evaluation of heavy media separation devices (Drum and Drewboy) and medium loss was investigated for Eski Çeltek Coal Washing Plant.

As a result of studies, It was observed that the magnetite, copper slag and pyrite ash include some impurities such as hematite, quartz etc. Therefore, magnetic susceptibility of these materials and efficiency of medium recovery were found to be low. In addition, the medium loss in both washing and recovery units of the plant were determined to be over standards.

In this plant, double-density heavy media separation is applied with drum (1.8 gr/cm³) and Drewboy (1.7 gr/cm³) type heavy media units in which magnetite is used as heavy media. Separation efficiency of the washing process was attained in the range of acceptable levels mentioned in the standards. Although, the result of separation conducted with copper slag and pyrite ash is also acceptable. Pre-enrichment with magnetic separator for these materials should be applied due to their unsatisfactory recovery efficiencies.

Key Words: Coal Washing, Heavy Media Separation, Alternative Heavy Media, Pyrite Ash, Copper Slag, Performance Measurement

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Kömür ranklarına göre kullanım alanları.....	4
Şekil 1.2. Doğada karbon çevrimi.....	5
Şekil 1.3. Tunçbilek lavvarı akım şeması	17
Şekil 1.4. Tipik bir ağır ortam yıkama devresi.....	20
Şekil 1.5. Kömürün önceden elenmeden yıkanması.....	26
Şekil 1.6. Kömürün önceden elenerek yıkanması.....	27
Şekil 1.7. İki kademeli ağır ortam ayırmasının tipik devreleri.....	28
Şekil 1.8. Artan bağıl yoğunluk sırasına göre yüzdürme - batırma deneyleri.....	29
Şekil 1.9. İri tane büyüklüğü fraksiyonlarının ayırımında kullanılan yüzmeye – batırma aletleri.....	30
Şekil 1.10. Malzemelerin manyetizma eğrileri	37
Şekil 1.11. Manyetik proses seçimi.....	38
Şekil 1.12. Manyetik ayırıcı seçimi.....	39
Şekil 1.13. Eş akışlı manyetik ayırıcılar.....	40
Şekil 1.14. Ters dönüşlü manyetik ayırıcı.....	40
Şekil 1.15. Ters akışlı manyetik ayırıcı.....	41
Şekil 1.16. Genel ağır ortam geri kazanım devreleri (a-g) ve sıfır kayıplı ağır ortam geri kazanım devresi (h)	42
Şekil 1.17. Tek aşamalı (a), iki aşamalı (b) ve üç aşamalı (c) manyetit kazanımı devre düzenlemeleri	43
Şekil 1.18. Eski Çelttek Kömür İşletmesi tesis akım şeması.....	50
Şekil 2.1. Drewboy ayırıcısında pirit külü ile ağır ortam zenginleştirme.....	52
Şekil 2.2. Kül analizi için örnek hazırlama	54
Şekil 2.3. Deneylerde kullanılan örnek hazırlama ünitesi.....	54
Şekil 2.4. Manyetit kayıplarının belirlenmesi için ağır ortam devresi örnek noktaları.....	57
Şekil 2.5. Deneylerde kullanılan Bartington MS2B ve Satmagan cihazının görünümü.....	58
Şekil 2.6. Tane boyut analizlerinde kullanılan Mastersizer 2000 MU cihazının görünümü.....	60
Şekil 2.7. Deneylerde kullanılan düşük alan şiddetli manyetik ayırıcı ve çalışma sistemi.....	62
Şekil 2.8. Deneylerde kullanılan ağır ortam malzemeleri.....	63

Şekil 2.9.	Kül Analiz Ünitesi.....	65
Şekil 3.1.	Ağır ortam malzemesi olarak kullanılan manyetit (a) kahverengi pirit külü (b) siyah pirit külü (c) ve bakır curufu (d) örneklerinin cevher mikroskopunda görünümü.....	67
Şekil 3.2.a.	Manyetit örneklerinin XRD değerlendirme grafiği.....	68
Şekil 3.2.b.	Kahverengi Pirit külü örneklerinin XRD değerlendirme grafiği.....	69
Şekil 3.2.c.	Siyah pirit külü örneklerinin XRD değerlendirme grafiği.....	69
Şekil 3.2.d.	Bakır curufu örneklerinin XRD değerlendirme grafiği.....	70
Şekil 3.3.a.	Manyetitin tane boyut dağılımı.....	71
Şekil 3.3.b.	Kahverengi pirit külünün tane boyut dağılımı.....	71
Şekil 3.3.c.	Siyah pirit külünün tane boyut dağılımı.....	72
Şekil 3.3.d.	Bakır curufunun tane boyut dağılımı.....	72
Şekil 3.4.a.	Manyetitin çökeltme yüksekliği-süre grafiği (1,68 gr/cm ³).....	75
Şekil 3.4.b.	Kahverengi pirit külünün çökeltme yüksekliği-süre grafiği (1,68 gr/cm ³)	75
Şekil 3.4.c.	Siyah pirit külünün çökeltme yüksekliği-süre grafiği (1,68 gr/cm ³).....	76
Şekil 3.4.d.	Bakır curufunun çökeltme yüksekliği-süre grafiği (1,68 gr/cm ³).....	76
Şekil 3.5.	Malzemelerin 1,7 gr/cm ³ (a) ve 1,8 gr/cm ³ (b) yoğunluğu için çökeltme yüksekliği-süre grafiği.....	77
Şekil 3.6.	Malzemelerin 1,7 gr/cm ³ (a) ve 1,8 gr/cm ³ ayırma yoğunluğu için stabilite-süre grafiği.....	78
Şekil 3.7.	1,7 gr/cm ³ (a) ve 1,8 gr/cm ³ (b) ayırma yoğunluğu için çökeltme hızı-süre grafiği.....	79
Şekil 3.8.	Malzemelerin 120. sn' deki çökeltme hızı-yoğunluk grafiği.....	80
Şekil 3.9.	Tambur ağır ortam ayırıcısı, tüvenan ayırıcısı iri kömür (+18 mm fraksiyonu) yüzdürme-batırma test sonuçları.....	85
Şekil 3.10.	Tambur ağır ortam ayırıcısı için hatalı ayrılmış malzeme eğrisi.....	88
Şekil 3.11.	Tambur ağır ortam ayırıcısının performans eğrisi.....	89
Şekil 3.12.	Drewboy beslemesi iri kömür (+18 mm) yüzdürme-batırma test sonuçları.....	91
Şekil 3.13.	Drewboy ayırıcısı için hatalı ayrılmış malzeme eğrisi.....	93
Şekil 3.14.	Drewboy ayırıcısının performans eğrisi.....	94
Şekil 3.15.	Mayer eğrisi.....	95
Şekil 3.16.	Kahverengi pirit külü ile drewboy ayırıcısı için hatalı ayrılmış malzeme eğrisi.....	98
Şekil 3.17.	Kahverengi pirit külü ile ayırım yapan Drewboy ayırıcısının performans eğrisi.....	99

- Şekil 3.18. Bakır curufu ile Drewboy ayırıcısı için hatalı ayrılmış malzeme eğrisi... 101
- Şekil 3.19. Bakır curufu ile ayırım yapan Drewboy ayırıcının performans eğrisi..... 102

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Bitki ana maddeleri ve oranları.....	6
Tablo 1.2. Uluslararası genel kömür sınıflaması.....	7
Tablo 1.3. Amerikan sınıflaması	8
Tablo 1.4. Bazı doğal yakıtların element bileşimi.....	9
Tablo 1.5. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri.....	9
Tablo 1.6. Ağır ortam ayırıcıları.....	23
Tablo 1.7. Türkiye’de ki kömür yıkama tesisleri.....	16
Tablo 1.8. Ayırma zorluğu ve proses uygulanabilirliği arasındaki yaklaşık ilişki ...	32
Tablo 1.9. Bazı minerallerin manyetik özellikleri ve manyetik duyarlılıkları.....	36
Tablo 1.10. Eski Çeltek kömür zenginleştirme tesisinde bulunan cihazlar ve özellikleri.....	51
Tablo 2.1. Alınan örnekler ve gerekçeleri.....	53
Tablo 3.1. Ağır ortam malzemesi olarak kullanılan malzemelerin yaş kimyasal analiz sonuçları.....	66
Tablo 3.2. Ağır ortam malzemelerinin tane boyut dağılımlarında aranan özellikler ve bulgular.....	72
Tablo 3.3. Ağır ortam malzemelerinin manyetik özellikleri ve bulgular.....	74
Tablo 3.4. Ağır ortam malzemelerinin yoğunluk, nem, çökeltme hızı özellikleri ve bulgular.....	76
Tablo 3.5. Manyetik ayırma sonucunda ağır ortam malzemelerinin kazanma verimi.....	80
Tablo 3.6. Ağır ortam ayırımı sonunda duşlama eleğinde ürünler üzerindeki ortam kaybı.....	83
Tablo 3.7. Seperatör beslemesi özellikleri.....	83
Tablo 3.8. Tambur ağır ortam ayırıcısı beslemesinin (+18 mm) yüzdürme - batıma deney sonuçları.....	85
Tablo 3.9. Tambur ağır ortam ayırıcısından temiz kömür yüzdürme sonuçları.....	86
Tablo 3.10. Tambur ağır ortam ayırıcısından atık şist yüzdürme sonuçları.....	86
Tablo 3.11. Tambur ağır ortam ayırıcısından tüvenanın hesaben bulunan sonuçları...	87
Tablo 3.12. Drewboy besleme malzemesi yüzdürme - batıma deney sonuçları.....	90
Tablo 3.13. Drewboy ayırıcısı temiz kömür yüzdürme sonuçları.....	92
Tablo 3.14. Drewboy ayırıcısı atık şist yüzdürme sonuçları.....	92
Tablo 3.15. Drewboy ayırıcısı tüvenanın hesaben bulunan yüzdürme sonuçları.....	92

Tablo 3.16.	Kahverengi pirit külü ile Drewboy ayırıcısı temiz kömür yüzdürme sonuçları.....	96
Tablo 3.17.	Kahverengi pirit külü ile Drewboy ayırıcısı atık şist yüzdürme sonuçları	97
Tablo 3.18.	Kahverengi pirit külü ile Drewboy ayırıcısı tüvenanın hesaben bulunan yüzdürme sonuçları.....	97
Tablo 3.19.	Bakır curufu ile Drewboy ayırıcısı temiz kömür yüzdürme sonuçları.....	100
Tablo 3.20.	Bakır curufu ile Drewboy ayırıcısı atık şist yüzdürme sonuçları.....	100
Tablo 3.21.	Bakır curufu ile Drewboy ayırıcısı tüvenanın hesaben bulunan yüzdürme sonuçları.....	101

SEMBOLLER DİZİNİ

L	Malzemenin aldığı yol, metre
T	Temizleme süresi, dakika
V_s	Malzemenin hızı, metre/dakika
N	Oluk derinliği, metre
q	Oluğa doğru akış miktarı, m ³ / dakika/ metre
V_s	Tane boyutu ve ağır ortam yoğunluğuna bağlı çökme hızı, metre/dakika
π	Pi sayısı
ρ	Yoğunluk
D	Tane çapı
s	Katı malzeme yoğunluğu
f	Değişim katsayısı
XRD	X-Işını Difraktometresi (X-Ray Diffraction)
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
TS	Türk Standartları
KPK	Kahverengi Pirit Külü
PKS	Siyah Pirit Külü
BC	Bakır Curufu
DM	Divriği Manyetit

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya enerji kaynakları; fosil kaynaklar, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer kaynaklar olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Konvansiyonel kaynaklar olarak adlandırdığımız fosil kaynakların büyük bir bölümünü (% 72'si) kömür oluşturmaktadır. Türkiye, büyük kömür rezervlerine sahip olmasına karşın bu rezervlerin çoğunluğu, düşük kaliteli, yüksek kül, nem ve kükürt içeriğine sahiptir (Boylu ve Ateşok, 1999). %20'den az kül içeren linyitlerin toplam rezerv içindeki payı %3,73'tür. Toplam linyit rezervinin sadece %3,70'i %1'den az kükürt içerir. %20 den az nem içeren linyit oranı %15,14'tür. Isıl değeri 4000kcal/kg' dan fazla olan linyitlerin rezervdeki payı sadece %1,83'tür (Şahinoğlu, 2006).

Ülkemizde enerji üretiminde vazgeçilmez enerji kaynaklarından biri olan kömür; yaygın, emniyetli, güvenilir ve ucuz olmasından dolayı önemlidir. Kömürün ülkemiz için önemli bir öz kaynak varlığı olması, dışa bağımlılığın azaltılmasında ve enerji güvenliğimizin artırılmasında daha fazla önem kazanmasına neden olmaktadır (Arslan, 2006). Ancak kömür; yapısı gereği ve üretim sırasında içine karışan yan kayaçlardan dolayı çoğu durumda yüksek kül ve düşük kalori değerleri nedeniyle ocaktan üretildiği şekilde kullanılamamaktadır. Kömürün enerjide ve diğer alanlarda kullanımında çevre ve hava kirliliği açısından büyük problemler yaşanmaktadır. Özellikle çevre kirliliğine karşı duyarlılığın arttığı günümüzde, kömür kullanımı büyük engellerle karşılaşmaktadır (Boylu ve Ateşok, 1999). Bu bağlamda, kömürün çevreye en az zarar verecek yöntemlerle üretilmesi ve tüketimi esnasında çevreye en az zararlı gaz çıkışı verecek şekilde hazırlanması şart olmuştur. Bu nedenle kömür üretiminde yıkama işlemlerinin uygulanması olması gereken bir uygulama haline gelmiştir (Üzülmez ve Yeldan, 1990, Kural, 1991, Arslan, 2004).

Kömür temizleme (Kömür yıkama) kuru ve yaş yöntemler kullanılmaktadır (Önal, 1994). Kuru temizleme ayıklama ve akışkan yatak sistemleri ile gerçekleştirilirken yaş temizlemede; ağır ortam, jig ve spiral gibi gravite ayırma yöntemleri kullanılmaktadır (Arslan, 2006). Bu yöntemler içinden kesin, etkili, ayırma kontrolü kolay ve yüksek kalitede temiz kömür üretiminde başarılı olmasından dolayı ağır ortam ayırma yöntemi

diğer yöntemlere tercih edilmektedir. Bu yöntemde su ile ağır bir katının karışımından oluşan bir ortam kullanılmaktadır. Ağır ortam zenginleştirme yönteminde ağır ortam tamburları, ağır ortam tekneleri ve ağır ortam siklonları kullanılmaktadır. Ağır ortam oluşturmak için genellikle uygun özelliklere sahip ve tane boyutu yaklaşık olarak 45 mikronun altında olan manyetit kullanılmaktadır (Çelik, 2006). İşletme giderlerinin azaltılması için kullanılan manyetitin ürünlerden geri kazanılması gerekmektedir. Manyetitin yüksek manyetik alınganlığa sahip olması, ürünlerden yıkandıktan sonra manyetik ayırma yöntemi ile geri kazanılmasını ve tekrar kullanılabilmesini sağlamaktadır. Geri kazanım için ürünler bir seri elek üzerinden geçirilerek süzülmeaktadır. Ürünler üzerine yapışmış olan manyetit taneleri ise yıkama eleği üzerinde basınçlı su ile yıkanmaktadır. Bu durumda seyrermenin yanı sıra ürünlerden oluşan ince malzemeler de manyetitle birlikte elek altına geçmektedir. Yıkama eleği altı bu malzeme, manyetik ayırıcılardan geçirilerek temizlenmekte ve katı oranı yükselmektedir. Kazanılan bu manyetit devreye geri beslenmektedir. Yıkama elekleri ve manyetik ayırıcılarda oluşan manyetit kayıpları büyük kapasiteli kömür zenginleştirme tesislerinde işletme giderlerini önemli derecede arttırmaktadır. Ayrıca, demir cevheri üretimi sırasında elde edilen manyetite olan talebin gün geçtikçe artması nedeniyle manyetit fiyatları giderek artmaktadır. Bu da manyetite alternatif kaynakların araştırılmasına neden olmuştur. Bu bağlamda maden atıklarının ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Tüm endüstriyel faaliyetlerde olduğu gibi madenlerin işletilmesi sonucunda da atıklar ortaya çıkmaktadır (Çetinler v.d., 2006). Madenlerin üretilmesi ve işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıkların uygun olmayan bir şekilde çevreye bırakılması sonucunda doğa tahribatı, atıkların stabilitesi ve emniyeti, hava, toprak ve su kirliliği gibi başlıca çevre sorunlarına yol açabilmektedir. Bu atıkların atmosferik koşullarda bozunması çevre sorunlarının yanı sıra insan sağlığı için de tehdit oluşturmaktadır. Madenlerimizin zenginleştirilmesi sırasında ortaya çıkan ince ve iri taneli zenginleştirme atıkları atık havuzlarında veya yığınlar şeklinde depolanmaktadır. Maden atıklarının atık sahasında çok fazla yer kaplamaması ve çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla atıklardan yararlanmak veya bu mümkün değilse atıkları uygun bir biçimde bertaraf etme yoluna gidilmelidir (Demirci, 2007). Avrupa'da maden atıklarının depolandığı atık barajlarında meydana gelen kazaların ciddi çevresel sorunlar yaratması bu konu üzerindeki çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Büyük yığınlar halinde veya büyük havuzlarda depolanan zenginleştirme

atıkları, bu yığınların kayması, havuzların çökmesi veya barajlarda oluşan çatlamlar sonucu çevre, insan sağlığı ve güvenliği üzerinde ciddi etkilere neden olabilmektedir (Varınca, 2006).

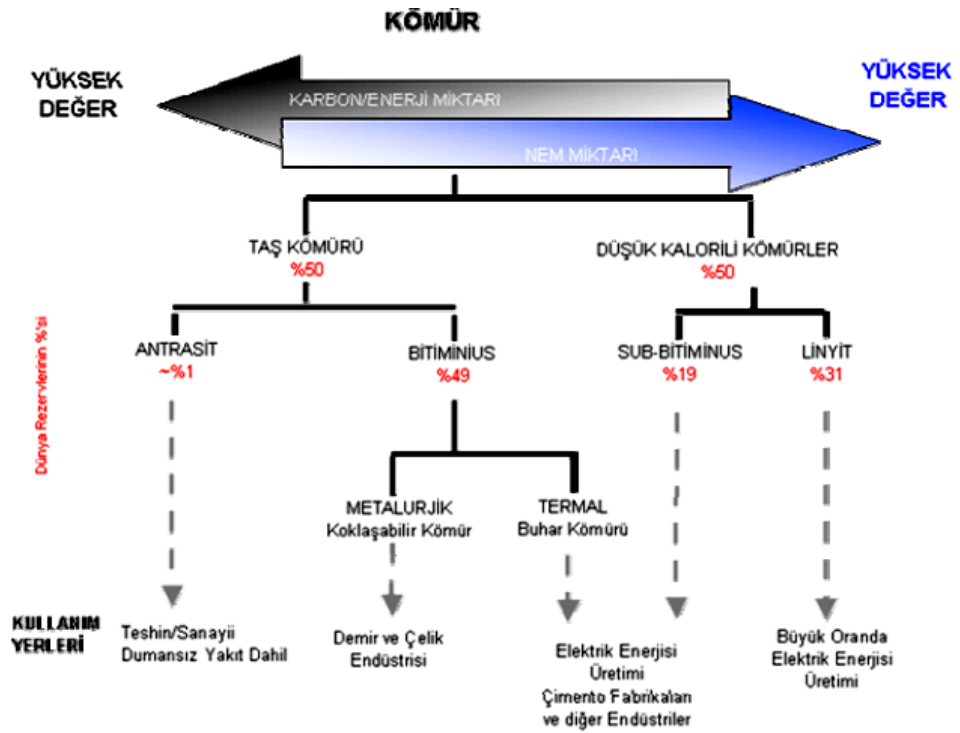
Eski Çeltek Kömürü, 3500-5000 kcal/kg'lık ısı değeriyle, Türkiye linyit rezervinin %5'lik dilimine girmektedir. Eski Çeltek Kömür Hazırlama Tesisi'nde ağır ortam malzemesi olarak manyetit kullanıldığı çift yoğunluklu ağır ortam zenginleştirme yöntemi uygulanmaktadır. İşletmede önemli oranlarda manyetit kaçağı olmakta ve bundan dolayı işletme maliyeti artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı manyetit dışında alternatif olarak Eti Bakır Samsun İzabe Tesisi flotasyon atığı olan bakır curufu ve Bandırma Sülfürik Asit Fabrikası'nda asit üretimi sırasında oluşan pirit konsantresinin akışkan yataklarda kavrulması sonucu atık olarak elde edilen pirit külünün ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmada Eski Çeltek Kömür Hazırlama Tesisi'nde iri boyutta ağır ortam ayırma performans değerlendirilmesi ve uygulanan ağır ortam ayırımında manyetit kaybına neden olabilecek problemler de araştırılmıştır. Manyetit kayıplarının fazla olması ve manyetite olana talebin artmasından dolayı işletme maliyetleri yüksek olmaktadır. Ayrıca tesiste Drewboy ağır ortam ayırıcı ile yapılan deneme çalışmaları sonucu performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.2. Kömür ve Yıkılması

Kömür, dünyada en yaşlı şekilde bulunan, güvenilir, aynı zamanda düşük maliyetlerle elde edilebilen, temiz bir fosil yakıttır. Kömür yaygındır; dünyada 50'den fazla ülkede üretilmektedir. Kömür rezervleri diğer fosil yakıtlar gibi (petrol ve doğalgaz) dünyanın belli bir bölümünde değil, tüm dünyada yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Kömür; kullanımı, depolaması ve nakliyesi açısından en emniyetli fosil yakıttır. Endüstriyel ve diğer alanlarda elektrik enerjisinin, rekabetçi fiyatlarla ve güvenilir olarak temini açısından; kömürün dünyada yaygın bir şekilde bulunması ve birçok ülke tarafından üretiliyor olması tedarikte güvenilirliği sağlamaktadır. Günümüzde kömür, tüm dünyada temiz kömür teknolojileri kullanılarak doğayı kirletmeden kullanılmaktadır. Şekil 1.1'de dünya kömür rezervinin ranklarına göre kullanım alanları görülmektedir.

Elektrik enerjisi üretiminde ucuz ve rekabetçi bir yakıt olması nedeniyle, dünya elektrik üretiminin yaklaşık %40'ı kömürden karşılanmaktadır. Fosil kaynaklardan petrol ve doğalgaz rezervlerimizin az olması, gelecekte kömürü bugünkünden daha fazla ön

planda tutacaktır. Diğer fosil kaynaklara göre rezervin büyüklüğünün yanında kömür yataklarının yurdumuzun çeşitli bölgelerine dağılmış olması, ekonomik, bölgesel ve kültürel kalkınmaya son derece olumlu etkide bulunması, işletilmesi nedeniyle ortaya çıkan katma değer, elektrik enerjisi üretiminde kW-h başına ucuz hammadde olması ve emniyetli taşınması vb. faktörler, kömürü ülkemizin en önemli fosil enerji kaynağı haline getirmektedir (Gitmez, 2005).

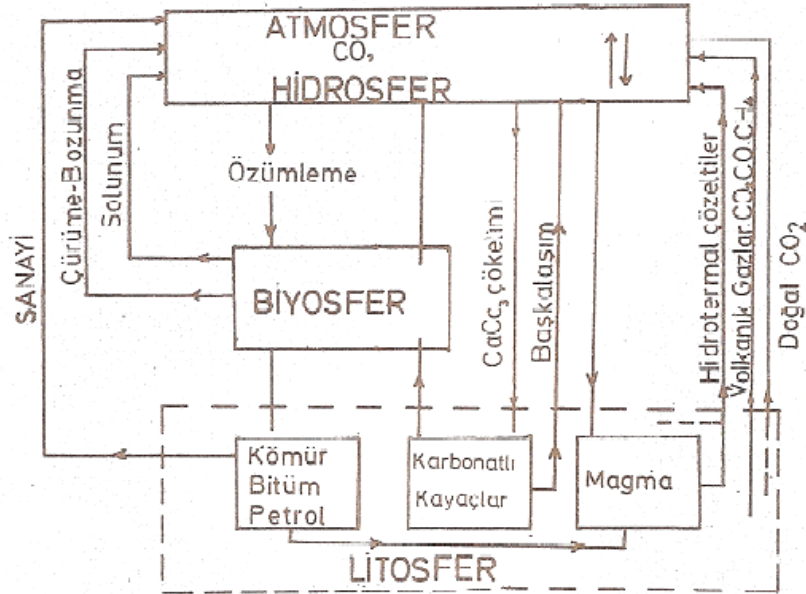


Şekil 1.1. Kömür ranklarına göre kullanım alanları (URL 1).

1.2.1 Kömürün Oluşumu

Kömürler, uygun ortamlarda, bataklıklarda bozunma ve çürümeden kurtulan, bitki ve bitki artıklarının belirli şartlar altında kömürleşmesiyle oluşan katı enerji hammaddesidir (Özpeker,1991, Kemal ve Arslan, 1999). Diğer bir tarifile, çoğunlukla karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan, az miktarda kükürt ve nitrojen içeren kimyasal ve fiziksel olarak farklı yapılara sahip olan maden veya kayaç olarak tanımlanmıştır (DPT, 2001). Kömür homojen olmayan, kompakt, çoğunlukla lignoselülozik bitki parçalarından meydana gelen, tabakalaşma gösteren, içerisinde çoğunlukla C, az miktarda H, O, S ve N elementlerinin

bulunduğu ama inorganik (kil gibi) maddelerin de olabildiği, bataklıklarda oluşan, kahverengi ve siyah renk tonlarında olan, yanabilen, katı fosil organik kütlelerdir (Gitmez, 2005). Kömürün oluşumu karbon çevrimine çok bağlıdır. Kömür çevrimi bataklıklarda baslar. Uygun ortamlarda, bataklıklarda çürüme ve bozunmadan kurtulan bitki kalıntı birikimlerinin, zamanla fiziksel ve biyokimyasal etkilerle değişimi sonucu kömür oluşmaktadır. Kömürleşmenin başlıca kaynakları bitkiler, havadan veya yüzeysel sulardan alınan CO_2 'dir. Magma az da olsa CO_2 , CO , CH_4 vb. içerir ve hidrotermal pnömatolitik ve volkanik etkinlik süreçlerinde, gaz, buhar ve çözeltilerle karbon çevrimine katılırlar. Hava ve sudaki CO_2 'in önemli bir bölümünü bitkiler özümlemeler, yaşamları için gerekli olanı yapılarında tutarlar, artığı solunum yoluyla geriye döner, doğal denge korunur. Ancak sanayi gazlarının bu dengede bozucu payını unutmamak gerekir. CO_2 'in suda çözünen bölümü, karbonatlı kayalarda ve organik tortularda birikir. Bunların başkalaşması sonucu tekrar çevrime katılır (Şekil 1.2) (Özpeker, 1991).



Şekil 1.2. Doğada karbon çevrimi (Özpeker, 1991)

Bitkiler, selüloz, hemiselüloz, linyin, yumurta akı maddesi, vakslar ve reçineler gibi bir takım temel maddelerden oluşmaktadır (Tablo 1.1). Bunlardan selülozlar ($C_6H_{10}O_5$) ve linyinler ($C_{30}H_{34}O_{11}$) kömür oluşumunda ana rolü oynamaktadır. Vaks ve reçineler, kömürleşme esnasında varlıklarını ve özelliklerini büyük ölçüde korumakta ve

probitüminatları oluşturmaktadır. Yumurta akı maddesi ise, kömürleşme esnasında tamamıyla parçalanmakta ve kömür için azot, kükürt, fosfor kaynağı yaratmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999). Tablo 1.1'den de görüleceği üzere kömürün, bitki bileşiminin büyük bir kısmını oluşturan linyin ve selülozdan oluştuğunu söylemek mümkündür.

Kömür oluşumu incelendiğinde, bitki ve bitki atıklarının bir takım kömürleşme süreçlerinden geçerek kömür haline geldikleri görülmektedir. Kömürleşme sürecinde genel olarak iki evreden bahsedilir. Bunlar; biyokimyasal ve jeokimyasal kömürleşme süreçleridir. Biyokimyasal olayların daha yaygın olarak görüldüğü turbalaşma, jeolojik ve kimyasal olayların etkisindeki jeokimyasal kömürleşme evreleridir. Turbalar, biyokimyasal evrede linyitler, bitümlü kömürler ve antrasitler jeokimyasal evrede oluşurlar (Kemal ve Arslan, 1999, Şahinoğlu, 2005). Biyokimyasal kömürleşmede, bakteriyel bir kömürleşme hüküm sürmektedir. Burada, kömür oluşabilmesi için, bitkinin hava ile hiç temas etmemesi veya çok az temas etmesi gerekmektedir. Çok fazla hava ortamında, bitkiler tamamen çürüyerek, CO₂ ve H₂O'ya ayrılmaktadır. Havasız veya yetersiz hava ortamında, bitkiler kısmi olarak çürümekte; geride karbonca zengin katı artık (turba) kalmaktadır. CO₂, H₂O ve CH₄ gazları ayrılmaktadır.

Tablo 1.1. Bitki ana maddeleri ve oranları (Kemal ve Arslan, 1999)

Ana Maddeler	%
Selüloz	40-58
Hemiselüloz	9-27
Şekerler	12-18
Linyin	18-26
Yağ ve Vakslar	3-14
Reçineler	1-3
Yumurta Akı	1-2

İlk kömürleşme basamağında olan turbalaşma evresinde kömür petrografik yapısı da ortaya çıkmakta ve bu yapı daha sonraki kömürleşme aşamalarında değişmemektedir. Jeokimyasal kömürleşmede tesirli olan ısı ve basınç, genel olarak, kömür üzerinde bulunan tabakalar tarafından oluşturulmaktadır. Bu bakımdan, aynı kömür yatağında, derinlere

indikçe kömürleşmenin daha ileri seviyelere gittiğini görmek mümkündür. Zaman unsuru da kömürleşmede rol oynayan diğer bir faktördür. Kömürleşme süreci uzadıkça kömürleşmenin daha ileri gittiğini söylemek mümkündür (Kemal ve Arslan, 1999).

1.2.2. Kömürlerin Sınıflandırılması ve Çeşitleri

Kömürleri tanımlamak ve özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli organizasyonlar tarafından, gerek ulusal gerekse uluslararası çeşitli sınıflandırma sistemleri ortaya konulmuştur. Bu sınıflandırma sistemlerinde kömürler kalorifik değer, nem içeriği, karbon içeriği, koklaşma ve koklaşma özelliği v.s. gibi çeşitli özellikler dikkate alınarak gruplara ayrılmıştır (Gitmez, 2005, OECD/IEA, 2010). Uluslararası genel kömür sınıflaması ve ulusal kömür sınıflamasına örnek olarak Amerikan sınıflaması sırasıyla Tablo 1.2 ve Tablo 1.3’de verilmiştir.

Tablo 1.2. Uluslararası genel kömür sınıflaması (DPT, 2001)

A. SERT KÖMÜRLER	B. KAHVERENGİ KÖMÜRLER
1.Koklaşabilir Kömürler (Yüksek fırınlarda kullanılmaya uygun kok üretimine izin veren kalitede)	1. Alt Bitümlü Kömürler (4.165-5.700 kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
2.Koklaşamayan Kömürler a) Bitümlü Kömürler b) Antrasit	2. Linyit (4.165 kcal/kg’ ın altında kalorifik değerde olup, topaklaşma özelliği göstermez)

Tablo 1.3. Amerikan sınıflaması (Gitmez, 2005)

SINIF	ALT GRUP	Sabit Karbon		Uçucu Madde Sınırları* (%)		Isıl Değer (kcal/Kg)	
		>=	<	>	<=	>=	<
Antrasit	Meta-antrasit	98			2	7780	
	Antrasit	92	98	2		7780	
	Semi-Antrasit	86	92	8	14	7780	
Bitümlü Kömürler	Düşük uçuculu	78	86	14	22	7780	
	Orta uçuculu	69	78	22	31	7780	
	Y. uçuculu-A		69	31		7780	
	Y. uçuculu-B		69	31		7220	7780
	Y. uçuculu-C		69	31		5835	7220
Alt Bitümlü Kömürler	Alt Bitümlü A		69	31		5835	6390
	Alt Bitümlü B		69	31		5275	5835
	Alt Bitümlü C		69	31		4610	5275
Linyit	Linyit A		69	31		3500	4610
	Linyit B		69	31			3500

(*): Kuru mineral maddesiz bazda

Kömürleşme ortamındaki basınç ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak bünyedeki su, uçucu maddeler (CO₂, CO, O₂, CH₄, NO_x, SO₂, H₂S, H₂ vs.) azalmakta, karbon oranı, kalori değeri (antrasit seviyesine kadar) artmaktadır. Burada ideal fiziksel ve kimyasal değişimlere bağlı olarak sırasıyla; turba, linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür (taşkömürü), antrasit, grafit kömür türleri oluşmaktadır. Turbadan grafitte doğru gidildikçe metamorfizma şiddeti (basınç + sıcaklık etkisi) artmakta, karbon yüzdesi ve kalori miktarı artmakta, buna bağlı olarak su ve uçucu maddeler azalmaktadır (URL-2, 2006). Ayrıca kömürün sertliği artmakta ve tozlanma azalmaktadır. (Kemal, 1991). Kömürleşme derecesine bağlı olarak C, H, O, N, S oranlarındaki ve üst ısıl değerlerdeki değişim Tablo 1.4'de gösterilmektedir. Genel sınıflamada yer alan kömürlerin özellikleri Tablo 1.5'de verilmiştir.

Tablo 1.4. Bazı doğal yakıtların element bileşimi (Kemal ve Arslan, 1999)

Yakıt	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Üst ısı (kcal/kg)
Linyin	63	5,5	31,5	-	-	
Selüloz	44,4	6,2	49,4			3855
Odun	48-50	5,9-6,3	43-45	0,03-0,3	Eser	4620-5055
Turba	58-60	5,5-6,0	34-35	0,7-3,4	0,1-0,3	5065-5820
Linyit	63-69	4,2-6,5	29-27	0,3-0,6	2,7-2,4	5975-7000
Uzun alevli taşkömürü	83-87	5,8-5,2	10-5	1,0-1,8	0,8-1,2	8260
Yağlı taşkömürü	87-90	5,2-4,5	5-3	1,0-1,8	0,8-1,2	8730
Antrasit	95-97	2-3	3-2	1,0-1,5	0,7-1,1	8460
Kok	97	0,4	0,6	1,0	1,0	8100

Tablo 1.5. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (Mervit v.d., 1986)

LİNYİT	ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	BİTİMLÜ KÖMÜRLER	ANTRASİT
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırılgan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz	Bloksu kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsisi	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı
Isıl değer; 4610 kcal/kg 'ın altında	Isıl değer; 4610-6390 kcal/kg	Isıl değer; 5390-7700 kcal/kg	Isıl değer; 7000 kcal/kg'm üzerinde
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde ve nem içerikleri düşük
Düşük sabit karbon içeriği	Sabit karbon içeriği Bitümlü kömürden	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek

1.2.2.1. Turba

Biyokimyasal kömürleşmeye uğramış en genç kömür türüdür. Renkleri sarı, kahverengi ve siyah olabilen turbaların sertliği azdır. Turbalarda odunumsu yapıyı görmek mümkündür (Kemal ve Aslan, 1999). Turbaların taşıdıkları özellikler, başlangıçtaki bitki türlerine, oluşum koşullarına ve çeşitli bitki kısımlarının çürüme derecelerine bağlı olarak değişiklikler gösterir (Ateşok, 1986). Turbaların önemli bazı özelliklerini şöyle sıralamak mümkündür:

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

Turbalar, havada kurutulduktan sonra yakıt olarak kullanıldığı gibi, düşük küllü olanları, yarı kok ve aktif kömür yapımında da kullanılmaktadır. Ülkemizde, Kayseri bölgesinde ve Hakkâri-Yüksekova'da turba yatağı bulunmaktadır. Ancak, bu yataklardaki turbaların kül oranları yüksek ve ısı değerleri düşüktür (Kemal ve Aslan, 1999).

1.2.2.2. Linyit

Linyit kömürleri, turbalarla taşkömürleri arasında geniş bir bant oluştururlar. Kömürleşme derecesine göre, değişik oranlarda orijinal nem içerirler. Az nem içeren linyit türleri biyokimyasal kömürleşme yanında, etkin bir jeokimyasal kömürleşmeye de uğramışlardır. Orijinal nem oranı yükseldikçe, jeokimyasal kömürleşmenin etkisi azalmakta ve yumuşak linyitlerde minimum seviyeye inmektedir.

Linyit kömürleri dış görünüşlerine göre, yumuşak ve sert linyitler diye ikiye ayrılır. Yumuşak linyitler, %35-75 arasında orijinal neme sahip linyitlerdir. Yumuşak linyitler çok az parça sağlamlığına sahiptir. Değişik türlerin parça sağlamlılığı 2,4 ile 9,4 kg/cm² arasında ölçülmüştür. Ocaktan çıkarılarak depolandıkları takdirde, zamanla tamamıyla toz haline gelirler. Su ile temasa geçtiklerinde önemli ölçüde su alarak şişerler ve dağılırlar. Bu bakımdan yumuşak linyitlerin ocaktan çıkarıldıkları şekilde, ev yakıtı olarak kullanılmaları mümkün değildir. Bazı tür yumuşak linyitler, bağlayıcısız olarak yeterli sağlamlıkta briket

vermektedir. Bu tür yumuşak linyitlerden elde edilen briketler, ev yakıtı olarak kullanılmaktadır. Briketlenmeye elverişli olmayan yumuşak linyitler ise, elektrik üretiminde ve sanayi yakıtı olarak kullanılmaktadır.

Sert linyitler, yumuşak linyitlerden sonra başlayarak taşkömürü sınırına kadar geniş bir alana yayılan kömür türleridir. Verilen isimden de anlaşıldığı gibi, bu tür kömürler yumuşak linyitlere göre daha fazla parça sağlamlığına sahiptir (75 kg/cm² ye kadar). Orijinal nemi az olan türleri, taşıma ve depolanma esnasında fazla tozlanmaz. Orijinal nem oranı arttıkça hem parça sağlamlılığı azalır, hem de tozlanma özelliği artar.

Linyitleri taşkömürlerinden ayıran özellikleri de şöyle sıralamak mümkündür:

- Linyitin porselendeki çizgisi genellikle kahve renkli, taşkömürününki siyahtır.
- Seyreltilmiş alkalide kaynatıldığında:
 - Linyit, humik asit çıkışı dolayısıyla koyu renk verir,
 - Taşkömürü renk vermez.
- Kaynayan benzolde ekstraksiyona tabi tutulduğunda:
 - Linyit koyu sarı ekstrakt verir ve ekstrakt flüoresans vermez,
 - Taşkömürü, flüoresans veren ekstrakt verir (aromatik çözeltiler dolayısıyla)
- Higroskopik nem:
 - Linyitlerde %7'nin üzerinde,
 - Taşkömürlerinde %7'nin altındadır (Kemal ve Aslan, 1999).

1.2.2.3. Taşkömürü

Bu kömürlerin orijinal nem oranları oldukça azdır (%1-2) ve karbon oranları yüksektir. Gerek nem oranlarının az olması ve gerekse de daha sağlam yapıya sahip olmaları nedeni ile taşkömürleri taşıma ve depolamada parça büyüklüklerini büyük ölçüde korurlar. Diğer kömür türlerine nispeten daha yüksek ısı değerine sahip olan taşkömürleri, birçok kullanım alanına sahiptir. Taşkömürleri, kömürleşme derecelerine göre değişik özelliklere sahiptir. Az kömürleşmeye uğramış, genç taşkömürüyle (uçucu madde oranı % 36'nın üzerinde) ileri kömürleşmeye uğramış taş kömürleri (uçucu madde oranı % 18'in altında) koklaşma özelliğine sahip değildir. Genel olarak uçucu madde oranı % 18-36 (saf kömürde) arasında olan taş kömürleri belirli oranda koklaşma özelliğine sahiptir. Bu aradaki kömürler yeterli koklaşma özelliğine sahip olduklarında, kok üretiminde kullanılmaktadır (Kemal ve Aslan, 1999).

1.2.2.4. Antrasit

Demir siyahı rengi, yarı metalik parlaklığı ile tanınır. Bitümlü kömürler gibi eli boyamaz, kısa ve sönük mavi alevle yanar, az bir koku çıkarır ve koklaşmaz. Antrasitin ısı değeri taşkömürü kadar fazla değildir. Çünkü yüksek sıcaklıklara hızla çıkamaz. Buna karşın, toz ve is oluşturmadiğı ve uzun süreli yandığı için ev yakıtı olarak çok aranır.

Antrasit kömür çeşitleri arasında en sert olanıdır. Özgül ağırlığı da 1,27 ile 1,7 gr/cm³ arasında değişir. Çıkarıldığı ocağa göre özellikleri önemli farklılıklar gösterir (Kural, 1991).

1.2.3. Kömürlerin Özellikleri

Kömürün değerlendirilme olanakları, fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Kömürün nem ve kül gibi istenmeyen içeriklerinin oranları, uçucu madde, karbon oranı, elementer bileşimi, katran ve gaz verimleri, koklaşma ve şişme özelliğı, sertlik ve kırılğanlığı, yanma özelliğı, petrografik yapısı gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri, onun teknolojik kullanımını ve değerlendirilmesini yönlendirmektedir (Kemal ve Aslan, 1999).

1.2.3.1. Nem

Kömürler kömürleşme derecesine göre, ocak çıkışında belli oranda nem içerirler. Ocak çıkışından herhangi bir nemlendirme veya kurutma olmadığı takdirde, turbalar %75' in üzerinde, yumuşak linyitler %35-75 ve sert linyitler %10-35 arasında nem içermektedir. Taş kömürü ve antrasitlerin orijinal nem oranları ise, çok azdır (%1-2). Bu durumda gösteriyor ki, ocak çıkışı nem oranı kömürleşme derecesi ilerledikçe düşmektedir.

Kömürün nemi, suyun kömür bünyesinde bulunuş şekline göre, yüzey nemi ve bünye nemi olmak üzere 2'ye ayrılır. Bünye nemi, kömürün yapısında yer alır ve kömür tarafından adsorbe edilmiş olan ve inorganik maddelere bağlı bulunan sudan meydana gelir (Kemal ve Aslan, 1999, Gitmez, 2005) .

Bünye nemi kömürleşme derecesine bağlı olarak değişmektedir. 100±5 °C ısıtılmak suretiyle, bu nem grubunun tayini yapılabilir. Taş kömürlerinde bu nem %1-2, kömürleşme derecesi düştükçe, yükselmekte ve yumuşak linyitlere doğru %15'i geçmektedir (Kemal ve Aslan, 1999).

1.2.3.2. Kül

Kömür içinde bulunan inorganik maddeler, yanma esnasında, oksitlenme, kalsinasyon ve kavurma reaksiyonlarına uğrayacak, geride oksitlerden oluşan bir atık bırakmaktadır. Bu atığa “Kömürün Külü” ve külün oluşmasına neden olan anorganik maddelere de “Kömürün Mineral Madde İçeriği” adı verilir (Kemal ve Aslan, 1999). Kömürün mineral madde içeriği genellikle bilimsel çalışmalara yönelik olarak tayin edilirken, kül oranı kömürün teknolojik özelliğinin tespit için yapılmaktadır.

Kömür kül analizlerinde genellikle SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , P_2O_5 gibi oksitler tayin edilmektedir. Bu oksitlerin oranları kömürün oluştuğu jeolojik şartlara bağlıdır ve genellikle taşkömüründe SiO_2 fazla iken linyit kömürlerinde CaO fazladır. Kömürün külü istenmeyen bir özellik olup kül oranının yükselmesi aşağıdaki olumsuzluklara neden olmaktadır:

- Kül oranı yükseldikçe, kömür yanıcı madde oranı azalmakta ve buna bağlı olarak, kömür ısı değeri düşmektedir.
- Kül oranı yükseldikçe, kömürün yanması zorlaşmakta ve belirli bir kül oranından sonra tamamen durmaktadır. Çok küllü kömür, termik santrallerde stabil olarak yakılamamakta ve çok küllü iri kömür parçaları yakıldığında, ortada yanmamış kısımlar kalmaktadır.
- Fazla kül, kömür veya kok kullanılan reaktörlerin kapasitelerinin düşmelerine neden olur.
- Fazla kül, yüksek fırında spesifik kok tüketimini arttırmaktadır.
- Kömür uzun mesafelere taşındığında, kül de beraberinde taşınacağından nakliye masrafı artmaktadır (Kemal ve Aslan, 1999).

1.2.3.3. Kükürt

Bütün kömürler az miktarda da olsa, kükürt içerir. Kömürlerde bulunan kükürt üç formda olabilir: Organik, inorganik ve sülfat kükürdü. Bunlara ek olarak, bazı kömürlerde elementer kükürtle karşılaşmıştır. Organik kükürt, kömürün organik materyalinin bir parçasıdır. Bu nedenle, kömürden fiziksel yöntemlerle uzaklaştırılması mümkün değildir. Sülfat kükürdü, kömürde toplam kükürdün çok az bir kısmını oluşturur. Jips (CaSO_4) halinde bulunduğu gibi, kömürün hava ile uzun süre teması sonucu FeSO_4 olarak da bulunabilir. Piritik kükürt ise, pirit ve markasit minerallerine bağlı olarak bulunur. Kömür

içerisinde bantlar, damarlar, merccekler, küresel tanecikler halinde, türlü şekil ve biçimlerde dağılıbilir. İster gözle görülebilir (makroskobik), ister mikroskobik olsun piritik kükürt, kömürden serbestleştiği takdirde, flotasyon veya diğer zenginleştirme yöntemleriyle kömürden temizlenebilir (Gitmez,2005).

1.2.4. Kömür Yıkamanın Gerekçeleri

Öncelikle, ülkemizin nüfus dağılımı, linyit rezervlerinin dağılımı, kalitesi ve çevreye etkileri dikkate alındığında; ısıtma sektöründe iri taneli, az kül kükürt- nem içerikli ve yüksek ısı değerli linyitlerin kullanılması, büyük önem arz etmektedir (Gitmez,2005). Ocaktan çıkarılan kömür, iri parçalardan daha ince boyutlara kadar değişik tane iriliklerinde elde edilmelerinin yanı sıra kömür içeriği yanında, kömürle birlikte bulunan mineral madde ve kömürün kazanılması sırasında karışan yan kayaç, tahta, demir parçaları v.b gibi maddeler içermektedir. Bu nedenle ülkemizde kömürlerin üretildikleri gibi kullanılmaları, hem ekonomik açıdan hem de çevresel açıdan zarar vermektedir. Kömürde mekanize üretimin artması üretimi arttırdığı gibi kömüre karışan yabancı madde içeriğinin artmasına ve kömürün daha ince boyutlu olmasına sebep olmuştur. Bu durumda kırma eleme tesisleri yetersiz kaldığı gibi çevresel faktörlerde göz önünde bulundurularak tüketime ve talebe daha uygun kömür üretimi için temizleme işlemleri kullanılmıştır.

Kömürde bulunan zararlı maddeler, kül yapıcı mineraller, kükürt kaynağını oluşturan organik ve inorganik bileşikler ve nem'dir. Kömürün ısı değerini yükseltmek, taşıma masraflarını azaltmak, çevre kirliliğini önlemek amacı ile ve ayrıca tüketim alanındaki zararlı etkilerden ötürü, bu zararlı maddeler kömür temizleme tesislerinde kömürden uzaklaştırılırlar (Atak, 1991). Kömür temizleme işlemi toz kömürün (<0,5 mm) dışında, genelde yoğunluğa göre ayırım esasına göre uygulanmaktadır (Kemal ve Arslan, 1999).

Linyitlerimizin niteliklerinin düzeltilmesi için, ilk aşama külün azaltılması amacıyla linyitlerin yıkanması gereklidir. Yıkama, lavvar denilen kömür yıkama tesislerinde gerçekleştirilir (Üzülmez, 1990). Kömür genellikle ızgaralı yakma sistemlerinde yakıldığından, kömür temizlemede, cevher zenginleştirmeden farklı olarak, kömürün iri boyutta temizlenmesi söz konusu olmaktadır. Bu durumda ocaktan gelen kömür genellikle 150 mm'nin altına indirildikten sonra, tane sınıflarında ayrılmakta ve bu tane sınıflarında ayrı ayrı işlemlere tabi tutulmaktadır. Kömür temizleme yöntemleri, kömür özelliği ve yıkanacak kömür tane iriliğine göre değişmektedir (Kemal ve Arslan, 1999).

İri boyutlu kömür temizlenmesinde, genel olarak ağır ortam sistemi ve jigler kullanılmaktadır. Genellikle temizlenmesi güç olan kömürlerin temizlenmesinde ağır ortamla temizlenmesi tercih edilir (Şahinoğlu, 2006). İnce kömürler feldspatlı jig, ağır ortam siklonları, sallantılı masa ve oluklar ile temizlenir (Şahinoğlu, 2006). Toz kömürler ise genellikle flotasyon ile temizlenmektedir.

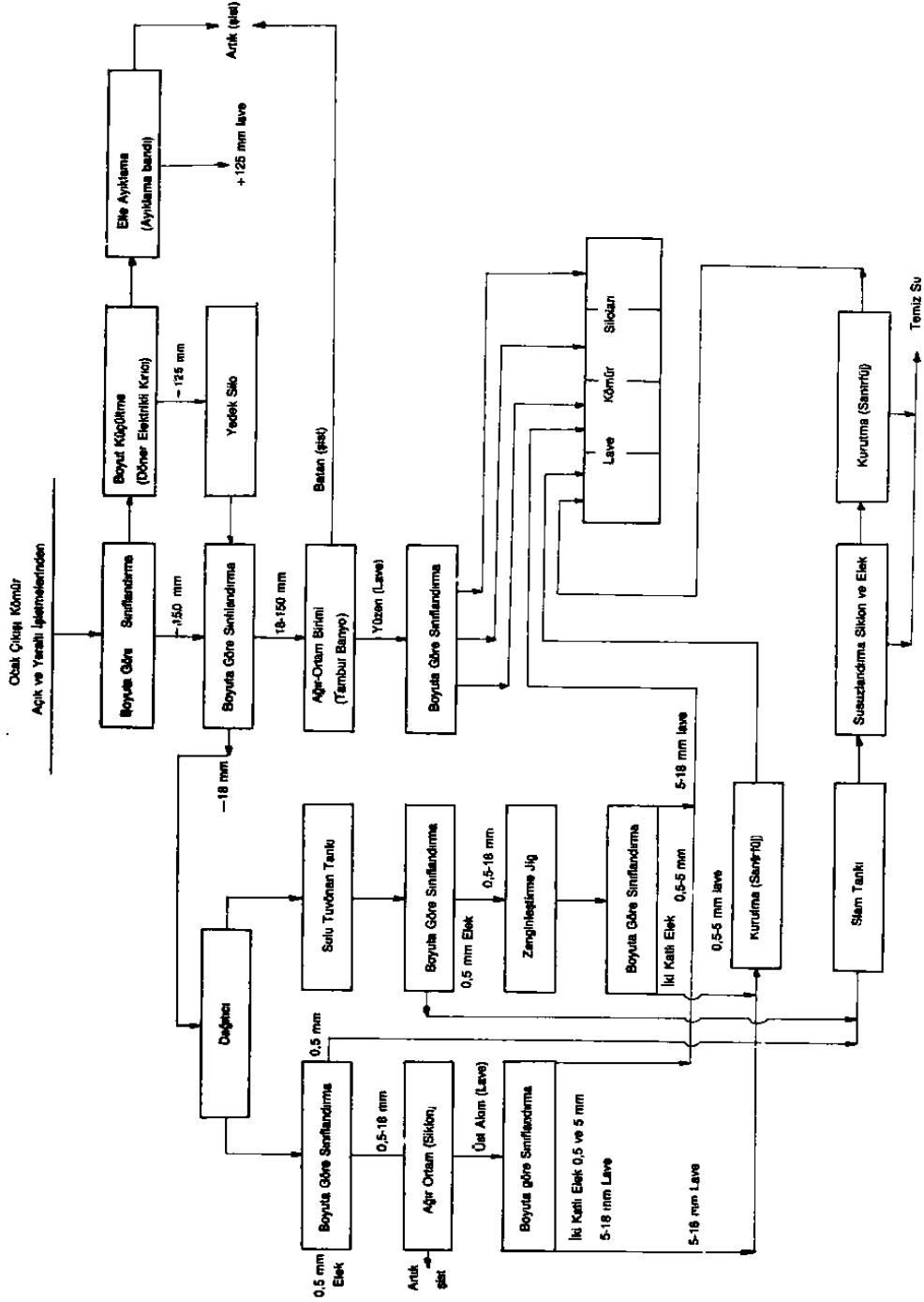
1.3. Türkiye'deki Kömür Yıkama Tesisleri

Ülkemizdeki kömür hazırlama uygulamaları, birçok alanda olduğu gibi kamu işletmeleri tarafından başlatılmış olup; bu işletmeler 1950 yılından bu yana üretim yapmaktadırlar. Ülkemizde bulunan kömür hazırlama tesisleri Tablo 1.6'de verilmiştir.

Taşkömürlerinin yıkanması için ülkemizde 4 adet tesis kurulmuştur. Zonguldak Merkez Lavvarı, 1950' li yılların başlarında projelendirilmiş ve 1957 yılında işletmeye alınmıştır. İlk kuruluşunda 750 ton/saat yıkama kapasitesine sahip olan bu tesis 1973 yılında 250 t/h kapasiteli ağır ortam siklon ünitesinin eklenmesiyle toplam kapasite 1000 t/saat'e çıkarılarak ülkemizin en büyük yıkama tesisi durumuna getirilmiştir. Üç ünite olarak çalıştırılan tesiste daha önce iri ve ince devrelerinde jig (sığ) ve 0-0,5 mm şamların kazanılması için flotasyon devreleri mevcuttur. 1975 yılında ince devre için ağır ortam siklonları ilave edilmiş ve 1994 yılında da flotasyon devresinden elde edile kömürün kül yüzdesinde bir yükselme görülmesinden dolayı iptal edilerek toz kömür için filtrasyon tesisi kurulmuştur. Karadon Bölgesi kömürlerinin zenginleştirilmesi için Çatalağzı Lavvarı da Merkez lavvarının bir benzeri olarak kurulmuş olup Merkez Lavvarında yapılan değişiklikler bu lavvarda da gerçekleştirilmiştir. Armutçuk Lavvarı 220 t/s kapasiteye sahiptir. Bu lavvarda iri kömürler (100-6 mm) jigde, ince kömürler sallantılı masada, toz kömürler ise filtrasyon ile kazanılmaktadır. 210 t/s kapasiteye sahip Amasra Lavvarında ise iri kömürler (100-10 mm) ağır ortam tamburunda, ince kömürler (10-0,5 mm) ağır ortam siklonunda, toz kömürler de flotasyon ile ayırma tabi tutulmuştur. (Ateşok v.d., 1992, Özbayoğlu v.d., 1997, DPT, 2001; Arslan v.d., 2004;). Bu tesislerde kullanılan yıkama cihazlarının genel yıkama hassasiyeti, gerek kapasite ve gerekse otomasyonu günümüz teknolojisinin gerisinde kalmış olup verimleri düşmüş ve işletme giderleri artmıştır. Sonuç olarak bu tesislerin verimlerinin düşmesi nedeniyle ürün kalitesi düşmüş ve kok üretiminde daha fazla yüksek küllü ürünler üretilmek durumunda kalmıştır (DPT, 2001; Arslan v.d., 2004).

Tablo 1.6. Türkiye'deki kömür yıkama tesisleri (Arslan v.d., 2004)

Tesis	Kuruluş	Kapasite (ton/saat)	İri Devre	İnce Devre	Toz
Zonguldak Merkez	1957	1000	Jig	Jig	Filtrasyon
Çatalağzı		1000	Jig	Jig	Filtrasyon
Armutçuk		220	Jig	Sallantılı masa	Filtrasyon
Amasra		210	Ağır ortam tamburu	Ağır ort siklonu	Flotasyon
Tunçbilek	1957	700	Ağır ortam tamburu	Ağır ort siklonu	Siklon-elek
Tunçbilek Ömerler	1993	600	Ağır ortam teknesi	Ağır ort siklonu	Humprey spirali
Soma (Müteahhit)	1994	600	Drewboy	Ağır ort siklonu	Hidrosiklon
Çayırhan		4x150	Drewboy		
Hustaş		300	Ağır Ortam	Ağır ort siklonu	
Soma Kom A Ş		100	Ağır Ortam		Humprey Spirali
Eski Çeltek	2003	175	Drewboy	Ağır ort siklonu	
Yeni Çeltek		50	Ağır ortam tamburu		Pres filtre
Deka (Zonguldak-Gelik)		175	Drewboy	Ağır ort siklonu	
Dodurga		75	Drewboy	Ağır ort siklonu	
Aydın Linyit		100	Jig		
Tekirdağ Malkara (En Market)		20	Baum (0-30 mm)		
Milten A Ş			Bendeleri Jig (6-80 mm)		
Söke Şekerler Madencilik		20			
Tuncerler (Tunçbilek)		50	Baum (10-80)		
Soma (Buruyar Mad)		50	Ağır ortam tamburu		
Balıkesir-Dursunbey			Ağır ortam tamburu		



Şekil 1.3. Tunçbilek lavvarı akım şeması (Kural, 1991)

Linyit kömürlerinin yıkanması için kurulmuş tesislere bakıldığında ise ilk olarak 1952 yılında Soma lavvarı ve sonrasında da 1958 yılında Tunçbilek lavvarı kurulmuştur. Soma lavvarı 1994 yılında verimsizliğinden dolayı kapatılmıştır. Tunçbilek lavvarı (Şekil 1.3), 1968 yılında tevsi edilmiş ve 1984 yılında da atık sular içindeki kömürlerin

kazanılması için arıtma tesisi devreye alınmıştır. Tunçbilek lavvarı 750 t/h kapasiteli olup 3 ayrı yıkama sisteminden oluşmaktadır. İri kömürler ağır ortam tamburunda, ince kömürlerin, yarısı ağır ortam siklonunda, yarısı feldspat yataklı jigde yıkanmaktadır. 1984 yılında toz kömürü kazanmak ve atık suların arıtılması amaçları doğrultusunda 0,1-0,5 mm kömürün kazanıldığı bir sistem ilave edilmiştir. Tunçbilek lavvarının eskimesi ve ihtiyaca cevap verememesi nedeniyle, 1992 yılında ağır ortam esaslı Ömerler lavvarının yapımına başlanmış ve 1993 yılında devreye alınmıştır. Tesis kapasitesi 600 t/s'tir. İri kömür ağır ortam teknesinde, ince kömür ağır ortam siklonlarında yıkanmakta, 0,1-0,5 mm kömürde spirallerde kazanılmaktadır. Merkezi kontrol odasından çalıştırılabilen modern bir tesistir. Modern bir tesis olması nedeniyle verim yüksek, işçilik giderleri düşüktür (DPT, 2001; Arslan v.d., 2004).

1.4. Ağır Ortam Ayırması

Ağır ortam ayırımı gravite zenginleştirme yöntemlerinden biri olup genellikle kömür temizlemede kullanıldığı gibi demir, kurşun-çinko, krom, manganez, kalay, tungsten, manyezit, garnet, elmas gibi çeşitli cevherlerin zenginleştirilmesinde de kullanılmaktadır (URL 2). Yöntemde ayırma ortamı su ile yüksek yoğunluklu bir katının karışımından oluşan ağır bir ortam olmaktadır (Çelik, 2006).

Ağır ortam metotlarının diğer yöntemlere göre avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- ✓ Herhangi bir yıkama yoğunluğunda, yıkama yoğunluğuna yakın yoğunlukta dahi oldukça hassas ayırım yapabilmektedir.
- ✓ Ayırma yoğunluğu $\pm 0,005 \text{ gr/cm}^3$ hassasiyetle kontrol etmek mümkün olmaktadır.
- ✓ Geniş tane iriliği aralığında çalışmayı mümkün kılmaktadır.
- ✓ Piyasanın taleplerine göre ayırma yoğunluğu kolaylıkla ayarlanabilmektedir.
- ✓ Beslemedeki kalite ve miktarsal dalgalanmalar, fazla sorun yaratmamaktadır (Kemal, 1999).

Buna karşın ağır ortam prosesleri aşağıdaki olumsuz yönlere de sahiptir;

- ✓ Ağır ortam rejenerasyon ve hazırlama devresi nedeniyle, daha yüksek ilk yatırım maliyetleri söz konusudur.
- ✓ Ağır ortam devresi ve ortam kayıpları nedeniyle, göreceli olarak daha yüksek işletme giderleri vardır.

- ✓ Ortamı oluşturan süspansiyonun abrazif olması durumunda daha yüksek bakım giderleri söz konusudur.
- ✓ Ortam malzemesinin boru, pompa ve tanklarda çökmesi nedeni ile uzun süreli durma sonrası devreye alınmasında problem yaşanmaktadır (Kemal, 1999).

. Kömür temizleme için birçok yöntem vardır fakat ağır ortam ayırma yöntemi diğer yöntemlere nazaran daha ucuzdur. Bu yüzden genellikle kömür temizleme yöntemi olarak ağır ortam ayırma yöntemi kullanılmaktadır. Ağır ortam ayırmada kömürün yapısına göre, yoğunluğu 1,3-2,0 gr/cm³ arasında olan bir ağır ortamda kömürün yüzdürülmesi ve safsızlıkları batırılması sağlamaktadır. Bu amaçla kullanılan ayırıcıların çalışma prensipleri aynı olup makinelerdeki farklılıklar, tüvenan kömürün makineye beslenmesi, temizlenmiş kömürün ve batan safsızlıkların ortamdan alınmasından kaynaklanmaktadır. Ayırıcılardan ara üründe elde edilmektedir. Kömürün temizlenmesinde kullanılan makinelerin çoğu üretici firmaların ismi ile anılmaktadır (Yıldız, 2007).

1.4.1. Ağır Ortam Ayırıcıları

Ağır ortam ayırma kömür ile mineral maddeleri arasındaki özgül ağırlık farkına dayalı bir ayırma yöntemi olup bu ayırma yönteminde yaş yöntemler kullanılacaksa ayırma ortamı su ile ağır bir katının karışımından oluşan ağır bir ortam kuru yöntemler kullanılacaksa ağır ortam hava ve/ veya ağır bir katı ile olmaktadır. Her ağır ortam devresinde ortak olarak olan dört kademe vardır (Kemal, 1999). Bunlar;

- ✓ Ağır ortam ayırıcısı öncesi işlemler,
- ✓ Ağır ortam ayırıcısında ayırma,
- ✓ Elde edilen ürünlerden süspansiyonun ayrılması,
- ✓ Ürünlerin yıkanarak ağırlaştırıcının tekrar kazanılmasıdır.

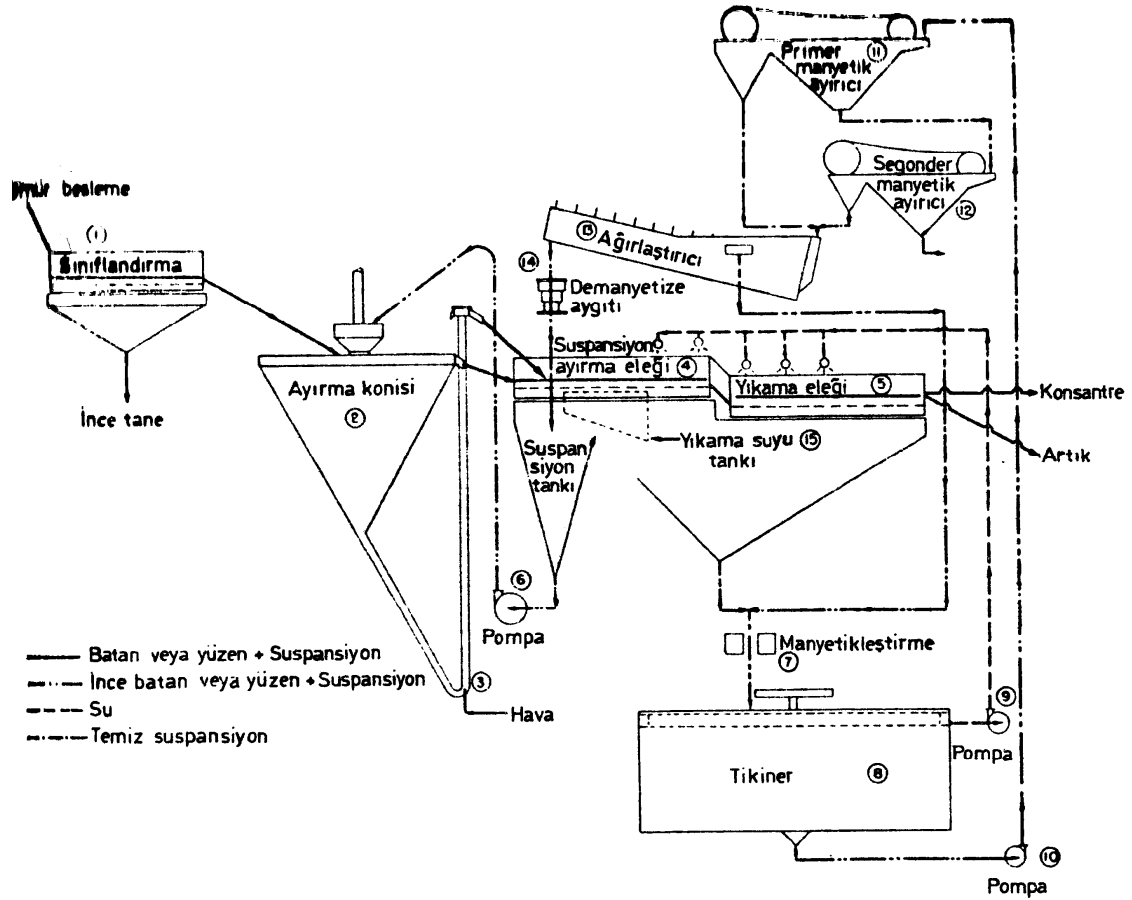
Şekil 1.3'de verilen akım şeması, her ağır ortam ayırıcısında hemen hemen aynıdır. Ancak, kullanılan teçhizat ve yöntemlerde bazı değişiklikler olmaktadır. Ağır ortam ayırıcılarının kapasite ve verimlilikleri şunlara bağlıdır;

- ✓ Malzemenin ayırıcıda kalma süresi,
- ✓ Ağır ortam oluşturucu malzemenin çöküşünün engellenmesi için uygulanan kuvvetler,
- ✓ Ayırıcının yapısı,
- ✓ Değişik boyutlardaki malzemenin çöküş hızı.

Ayırıcılarda temizlenmiş malzeme öncelikle askıda tutulmalı ve bununla eş zamanlı olarak askıda tutulan malzeme ötelenerek ortamdaki malzemeden alınmalıdır. Malzemenin askıda kalmasını ağır ortam sağlarken, ötelenmesini sisteme yeni beslenen tüvenan malzemenin itmesi ve ağır ortamın akışı sağlar.

Ağır ortam ayırıcıları 2 grup altında toplanabilir,

- ✓ Derin gövdeli ayırıcılar
- ✓ Sığ gövdeli ayırıcılar.



Şekil 1.4. Tipik bir ağır ortam yıkama devresi

Aynı kapasiteli iki ayırıcıdan derin olanlar daha çok ağır ortam malzemesi gerektirirler. Derin gövdeli ayırıcılardan, temiz kömür, ara ürün ve atık şeklinde üç ürün elde edilebilir. Genel olarak bütün ayırıcılarda temiz kömür yüzmekte, safsızlıklar batmaktadır. Ancak batan ve yüzen malzemelerin ortamdaki alınması farklı şekillerde olabilmektedir.

Ayırıcıdaki ağır ortam; malzemeyi askıda tutmakta ve malzemeyi ayırıcı oluşuna doğru taşımaktadır. Ağır ortam, temizlenmiş malzeme ve atıkla birlikte ortamdaki ayrılırken, ayırıcıya tekrar beslenmektedir. Bu sürekli bir işlem olup bu süreklilik içinde ağır ortamı oluşturan malzemenin de ayırıcıda çökmemesi gerekir. Bu da ortam hacminin, ağır ortam katısının durağan hızı ile ayırıcının kesit alan çapından ufak olmaması ile sağlanır. Ağır ortam ayırıcıları projelendirilirken dikkat edilen en önemli etken budur. Temizlenmiş malzemenin taşınması için gerekli ağır ortam genellikle temizlenecek malzeme ile birlikte ayırıcıya beslenir. Bu amaçla ayırıcıya giren ağır ortam ağırlığı beslenen malzeme ağırlığının iki katından az olmalıdır. Çoğu zaman bu ağırlık çok azdır. Ayırıcıda yüzen malzemenin alındığı çıkış oluşunun derinliği, yüzen en büyük parça çapının 2/3' ünden daha fazla olmamalıdır.

$$L = T x V_s$$

L : Malzemenin aldığı yol, metre

T : Temizleme süresi, dakika

V_s : Malzemenin hızı, metre/dakika

Kullanılabilir oluk derinliği,

$$N = 2q/\pi.V_s$$

N : Oluk derinliği, metre

q : Oluğa doğru akış miktarı, m³/ dakika/ metre

V_s : Tane boyutu ve ağır ortam yoğunluğuna bağlı çökme hızı, metre/dakika

Ayırıcıda yüzen malzemenin yatay hızı mutlaka düşey hızından yüksek olmalı, temizleme süresinden daha kısa bir sürede ayırıcının çıkış oluşunun en alt seviyesine ulaşabilmelidir. Aksi durumda temizlenmiş malzemenin ayırıcıda çökerek atığa karışma olasılığı vardır. Yüzen malzemenin yatay hareketi de ayırıcıya beslenen temizlenecek malzeme ile ağır ortam malzemesi tarafından sağlanmaktadır.

$T V_s \leq N$ olmalıdır.

$$T V_s \leq 2q/\pi.V_s$$

$$V_s \leq (2q/\pi T)^{1/2}$$

Suda kırılmış bir malzemenin serbest çöküş hızı;

$$V_s = 1,75[(d(s-1))]^{1/2}$$

V_s : (d) tane boyutunda (s) yoğunluğundaki bir malzemenin suda serbest çökme hızı, metre/dakika

Ortamda yoğunluğu (1) olan su yerine (ρ) yoğunluğunda ağır ortam kullanıldığında, V_s değişecektir. Bu değişim (f) çarpanı ile ifade edilmektedir.

$$f = [(s-\rho)/\rho(s-1)]^{1/2}$$

(f) çarpanı belirleyen (ρ) ağır ortam ve (s) malzeme yoğunluğudur. Ortam su olduğunda serbest çökme hızı (V_s) hızına eşit ya da büyük olacaktır. Ağır ortamda malzemenin çökme hızı ($v \times f$) olacaktır. İyi bir yaklaşımla;

$$V_s = v \cdot f \text{ dir. Buradan;}$$

$$V_s = 1,75[d(s-1)]^{1/2} = v [(s-\rho)/\rho(s-1)]^{1/2}$$

$$V = 1,75 [d(s-\rho)/\rho]^{1/2}$$

Bu değerin (V_s) değerine eşit ya da (V_s) değerinden büyük olması gerekir. Aksi halde malzeme ayırıcıda çıkış oluşuna ulaşmadan çökelecektir.

Ağır ortam ayırıcılarında ortamın yoğunluğu (ρ) ayarlanarak malzemenin çökme hızı değiştirilir. Ayırıcıdan istenilen kapasitede ürün elde edilebilmesi için yüzdürme batırma deneyleri yapılarak temizlenmiş üründen istenen kaliteye göre ayırıcıda kullanılacak ağır ortam yoğunluğu belirlenir (Yıldız, 2007). Kömür hazırlamada kullanılmış ve kullanılan çeşitli ağır ortam ayırıcıları geliştirilmiştir (Kemal, 1999). Tablo 1.7.'da ağır ortam ayırıcıları yaş yöntem ve kuru yöntem olarak kullanılmalarına ve çökme metodlarına göre sınıflandırılmıştır. Bunlar, ayırıcıda etkili olan fiziksel esasa göre;

- ✓ Gravite kuvveti ile çöktürme metoduna göre ayıran,
- ✓ Santrifüj kuvvetinden yararlanarak ayıran,

ayırıcılar olmak üzere, 2 ana gruba ayrılmaktadır. Çöktürme metoduna göre ayıran ayırıcılar genelde iri kömürün yıkanmasında kullanılırken, santrifüj esaslı ayırıcılar, çökme süresi uzun olan ince kömürün yıkanmasında kullanılmaktadır. Bu nedenle çöktürme esasına göre ayırım yapan ağır ortam ayırıcılarını, iri kömür yıkayan aygıtlar olarak isimlendirmekte mümkündür (Kemal, 1999). Ağır ortam ayırmasında yaş yöntemlerin tercih edilmesinin birçok nedeni vardır. Bunlar;

- ✓ Performansın çok yüksek olması,
- ✓ Kolay ayırım sağlaması,
- ✓ Farklı ürün kalitesinde üretim sağlaması,
- ✓ Geniş tane boyutu aralıklarında ayırım yapılabilmesi,
- ✓ Beslemenin nem içeriğidir.

Tablo 1.7. Ağır ortam ayırıcıları

Yöntem	Ayırma Boyutu	Method	Tipi	Ürün Sayısı	Cihazlar	
Yaş	İri	Çöktürme Metoduna Göre Ayırım Yapan	Koni	İki	Chance Kum Konisi Wemco Koni Ayırıcı	
			Tekne	İki	Tromp DSM Link-Belt DSM OCC Heyl & Patterson Ridley Scholes Teknesi Mc Nally Ağır Ortam Ayırıcısı Mc Nally Düşük Akışlı Ağır Ortam Ayırıcısı	
				Üç	Mc Nally Üç Ürünlü Ayırıcı	
			Tambur	İki	Wemco Tambur Ayırıcı Tromel (Teska) Meldco Drewboy Link-Belt	
	Orta	Santrifüj Kuvvetinden Yararlanarak Çalışan		İki	Larcodems Bretby-Vorsyl	
	İnce	Santrifüj Kuvvetinden Yararlanarak Çalışan		İki	Ağır Ortam Siklonu Dyna-Whirlpool Tri-Flo	
				Üç	Üç Ürünlü Siklon	
				İki	DSM Siklonu İnce Kömür Siklonu Su Siklonu Mc Nally Visman Magstream	
	Kuru				İki	Hava Kum Prosesi Havalı Ağır Ortam Ayırması

Kömür yıkamada kuru yöntemler fazla kullanılmamaktadır. Kuru ayırmanın yapılabilmesi için, kömürün belirli özelliklere sahip olması gerekir. Kuru ayırmanın bir çok avantajı vardır. Bunlar (Kemal, 1999, Arslan, 2007);

- ✓ Pahalı susuzlandırma işlemleri gerektirmeme (pompalama, tikner, filtre, kurutma),
- ✓ Sulu artık oluşturmama ve büyük alanlarda toprakta tuzlanma etkisi yaratmama,
- ✓ İlk yatırım maliyetinin az olması,
- ✓ İşletme masrafları, yaş ayırmadan daha fazla olmaması,
- ✓ Termik santrallerde değerlendirilen yüksek nem ve kül oranına sahip linyitler için uygun olması,
- ✓ Bir atık barajı gerektirmemesi ve çevresel düzenleme maliyetinin düşük olmasıdır.

Kuru zenginleştirmenin bu avantajlarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır.

Bunlar;

- ✓ Yaş arıtmaya göre ayırma derecesinin kötü olması,
- ✓ Kömürün daha dar tane iriliğinde sınıflandırılması,
- ✓ Kömürün kuru olması gerekmesi (Halbuki son senelerde üretilen kömür fazla nem içermektedir (% 6-7)),
- ✓ Ara ürünün sorun yaratması,
- ✓ Besleme malı miktarı ve özellik değişimlerinin çok hassas olmasıdır (Kemal, 1999)

Çöktürme metoduna göre ayıran ayırıcıları da, ayırıcı şekline ve ayırıcı içindeki süspansiyon akış durumuna göre ayırmak mümkündür (Kemal, 1999). Bu esasa göre çalışan ağır ortam ayırıcıları aygıtın tipine bağlı olarak koni tipi, tekne tipi ve tambur tipi olmak üzere 3 gruba ayrılırlar.

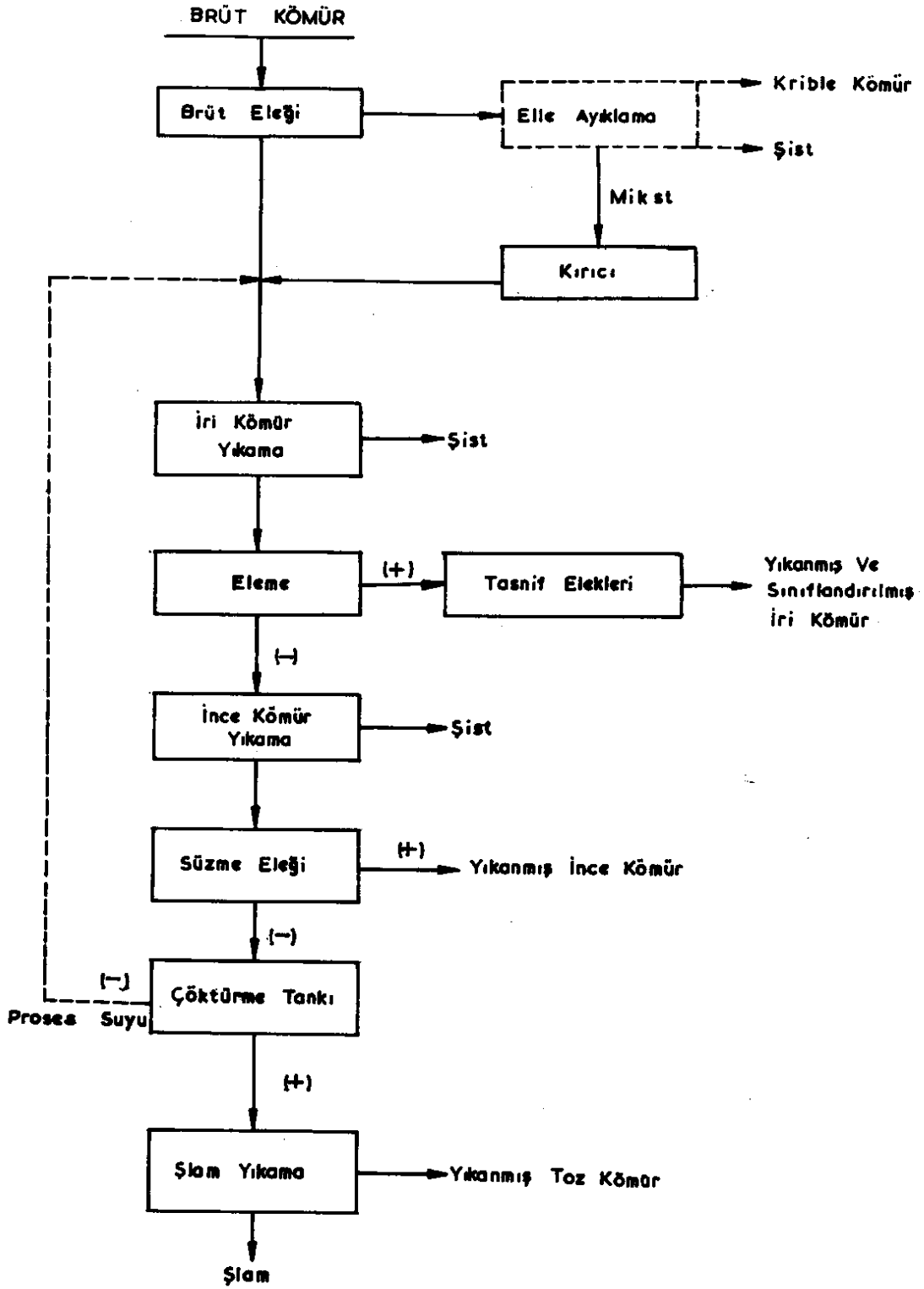
1.4.2. Kömür Yıkamada Ağır Ortam Uygulanması

Kömür temizleme tesislerinin (lavvarların) kömür teknolojisinin hizmetine girmelerinden bu yana 150 yılı aşan bir süre geçmiştir. Uzun yıllar içinde ekonomik ve teknolojik nedenlerle uygulama alanı bulan ya da bulunmayan çok sayıda kömür temizleme tekniği geliştirilmiştir. 1830'da çalışan ilk kömür zenginleştirme tesisinde pistonlu jigler kullanılmıştır. Bunu izleyerek 1860'larda sabit ağır ortam tankları, 1890'larda Baum jigi ve Sallantılı Masa, 1915'den itibaren flotasyon, 1927'de pnömatik jig ve masalar, 1935 ağır ortam tamburları, 1960'lardan sonra ağır ortam siklonları ve 1970'den sonra da Batac jigleri kömür temizlemede tesislerinde ayırıcı makineler olarak yer almıştır (Kural, 1991). Günümüzde genellikle kömür yıkama tesislerinde ağır ortam ayırması uygulanmakta olup iri kömürler tambur ve tekne tipi ayırıcılar ile, orta boyutlu kömürler ağır ortam siklonları ile temizlenirken ince kömürler ise flotasyonla temizlenmektedir.

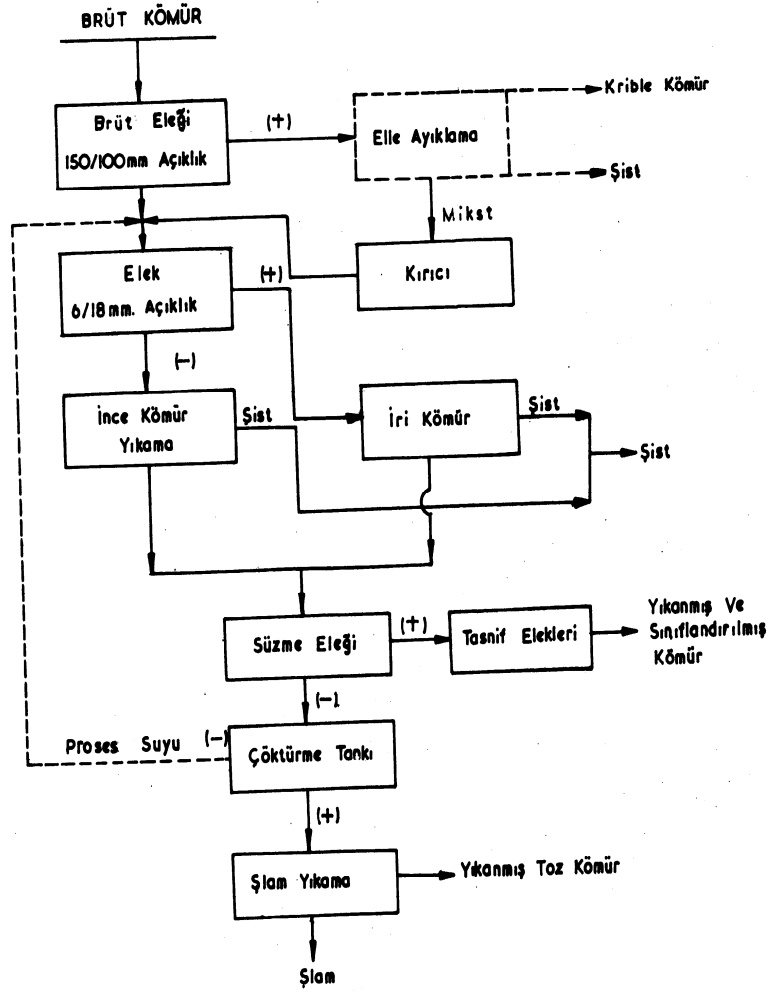
1.4.2.1. Yıkama Öncesi Sınıflandırma

Tüvenan kömür, üretim yöntemine ve kömürün kırılgenliğine bağı olarak, farklı boyutlarda olabilir. Genelde üretimden gelen kömür, maksimum boyutu 150-500 mm civarında olan ve belli bir dağılıma göre sifıra kadar değışen farklı boyut gruplarını içeren bir yapıdadır. İri boyutlardaki kömürün daha yüksek fiyata satılabildiğı dikkate alınarak kömür hazırlamada gereksiz boyut küçültme işlemlerinden sakınmak, hatta kömürün gevrekliğı ve kırılgenliğı nedeni ile ufalanmasına karşı önlemler almak yararlıdır. Tüvenan kömür silolarda biriktirilerek genellikle bantlarla yıkama tesisine gönderilir. Kömürün üstü kapalı silolarda saklanması: atmosfer etkilerinden korunması bakımından önemlidir. Tüvenan kömür yıkama tesisine girmeden önce, 150, 120 veya 100 mm açıklıklı tüvenan eleğinden elenir. Elek üstü malzeme, yapısına göre ya elle ayıklama bandına verilir veya kırılarak belirtilen eleklerin altına geçirildikten sonra, elek altı malzeme ile birlikte yıkama tesisine beslenir. Brüt eleğinin altına geçen ve maksimum boyutu 150, 120 veya 100 mm olan kömür genellikle bantlarla yıkama tesisine nakledilir.

Kömüre uygulanan temizleme işlemleri iki aşamalıdır. Birinci aşama 6,10 veya 18 mm gibi bir boyutun üstüne uygulanan "İri kömür yıkama", ikinci aşama ise bu boyutların altına uygulanan "İnce kömür yıkama" işlemidir. Bazı lavvarlar da, ince kömürün bir süzme eleğinden geçirilmesi ile elde edilen şlam veya toz kömüre de ayrıca yıkama işlemi uygulanabilir. Bir kısım yıkama tesislerinde, ilkten elenerek ayrılan iri ve ince boyutlu kömüre ayrı yöntemler ve cihazların kullanımı ile "İri ve ince kömür yıkama" işlemleri uygulanırken, bazı tesislerde kömürün tamamı iri yıkamaya gönderilir. Bu durumda elde edilen yıkanmış kömür elendikten sonra "İnce kömür" yeniden temizlenir. Süzme elekleri altına geçen şlam ise, çöktürme tanklarında çöktürüldükten sonra, gerektiğinde temizlenebilir. Her iki duruma ait akım şemaları Şekil 1.5 ve 1.6'de görülmektedir (Kural, 1991).



Şekil 1.5. Kömürün önceden elenmeden yıkanması



Şekil 1.6. Kömürün önceden elenerek yıkanması

1.4.2.2. Yoğunluğa Göre Ayırma

Kömür yıkama tesislerinde, üç ürünlü ayırma, iki kademenin iki farklı yıkama donanımında veya aynı donanımın iki farklı bölümünde gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği dikkate alınmaksızın, iki ayrı iki ürünlü ayırmanın (örneğin; bir düşük yoğunluk ve bir yüksek yoğunluk yıkaması gibi) bir kombinasyonu gibi kabul edilebilir (TS 1824, 2003). Şekil 1.7’de uygulamanın farklı kombinasyonlarını gösterilmektedir.

Orta (ara) ürün, ayrı bir ürün olarak alınabilir veya bir işlemde geçirilerek (kıırma) veya hiçbir işlemde geçirilmeden devreye tekrar beslenilerek, her iki durumda da beslenen kömür içerisinde yer aldığından sorun yaratmaz (TS 1824, 2003). Ocaktan çıkarılan kömürün oluşumuna, kömür/şist oranına ve talebe bağlı olarak yoğunluğa göre ayırma iki yöntem uygulanmaktadır. Bunlar;

- ✓ Tek yoğunlukta ayırım
- ✓ Çift yoğunlukta ayırım

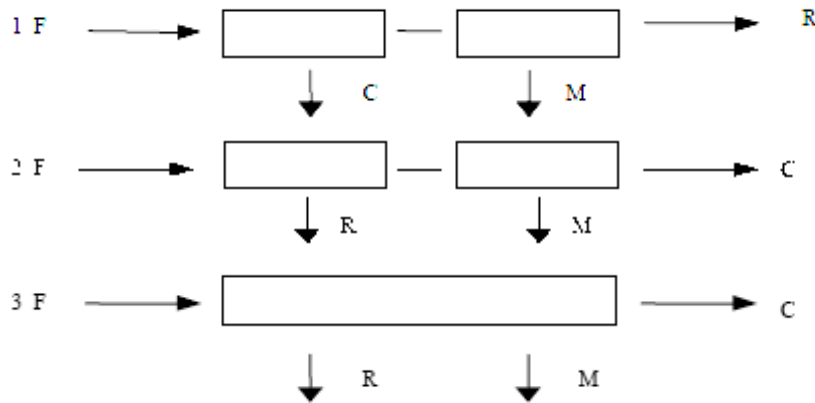
Tek yoğunlukta yıkama işlemi, kömürün oluşumunun homojen, kalorisinin düşük yani ekonomik olarak ikincil bir ayırımın maliyetli olacağı durumlarda yapılabilir. Çift yoğunlukta ayırım ise kömür / şist oranına, kömürün oluşumuna ve talebe bağlı olup eğer kömür yüksek kalorili yani ikincil ayırımı ekonomik olarak karşılayabilecek özellikte ise kullanılabilir. Çift yoğunlukta ayırım da kendi arasında ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

- ✓ Önce yüksek yoğunlukta, sonra düşük yoğunlukta ayırım
- ✓ Önce düşük yoğunlukta, sonra yüksek yoğunlukta ayırım

Kömür ocaklarında;

- ✓ Kömürün oluşumu heterojen (hem yüksek yoğunluklu hem de düşük yoğunluklu kömür)
- ✓ Kömür/şist oranında kömürün miktarı daha fazla
- ✓ Daha çok temiz kömür talebi varsa

Başlangıçta yüksek yoğunlukta ayırım yapıp şistten kömürün tamamı ayrılıp sonrasında düşük yoğunlukta ayırım yapılarak daha temiz ve birbirinden farklı iki kömür birbirinden ayrılabilir. Önce düşük yoğunlukta sonra yüksek yoğunlukta ayırma yapılması ise yukarıda bahsedilen durumların tersi olması durumlarında yapılabilir. Her iki ayırım yönteminde de daha temiz kömür elde etmek amaç olup genellikle bu yöntemlerin seçimi kömür/şist oranına ve kömürün oluşumuna bağlıdır.

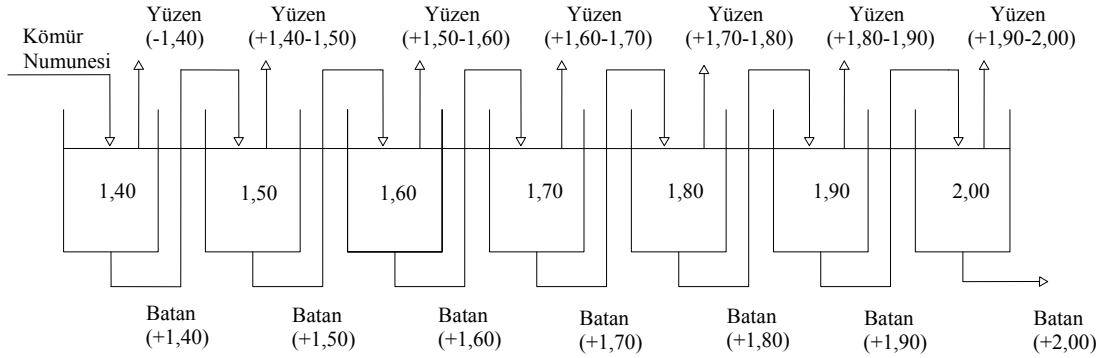


Şekil 1.7. İki kademeli ağır ortam ayırmasının tipik devreleri a) Birinci düşük yoğunluk, ikinci yüksek yoğunluk, b) birinci yüksek yoğunluk, ikinci düşük yoğunluk, c) tek cihaz içinde ayırma (F Besleme, C: Yıkamış kömür, R: Artık, M: Orta (ara) ürün)

1.4.3. Ağır Ortamın Değerlendirilmesi

1.4.3.1. Yüzdürme Batırma Testleri

Kömürlerin yıkanmaya uygun olup olmadıkları kömürün yıkanabilirlik verilerinin çıkarılması amacıyla American Society for Testing of Material bir yöntem geliştirmiştir. Yöntemde farklı tane boyutlarında hazırlanan kömür numuneleri Şekil 1.8'da gösterildiği gibi genellikle 1,3-2,1 gr/cm³ yoğunlukları arasındaki ortamda yüzdürme-batırma deneyleri yapılır (Yıldız, 2007).



Şekil 1.8. Artan bağıl yoğunluk sırasına göre yüzdürme - batırma deneyleri

Ayırma için kullanılacak ortam, organik sıvıların karışımı, inorganik tuzların sulu çözeltileri veya katıları suda oluşturdukları süspansiyonlar olabilir. Ortam seçiminde, kullanılacak kömürün miktarı ve tane büyüklüğü, kömürleşme derecesi ile bağıl yoğunluğu ve deneyin amacıyla kısmen etkilidir. Aynı uygun bağıl yoğunluk kömürleşme derecesi ile bağıl yoğunluğu ve deneyin amacı da kısmen etkilidir. En uygun bağıl yoğunluk aralığı, deneme yanılma yoluyla tespit edilmelidir. Ancak bu aralık genellikle 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9 ve 2,0 ihtiva eder. 1,3' den daha küçük ve 2,0'dan daha büyük bağıl yoğunluklarda gerekebilir (TS 1824, 2003).

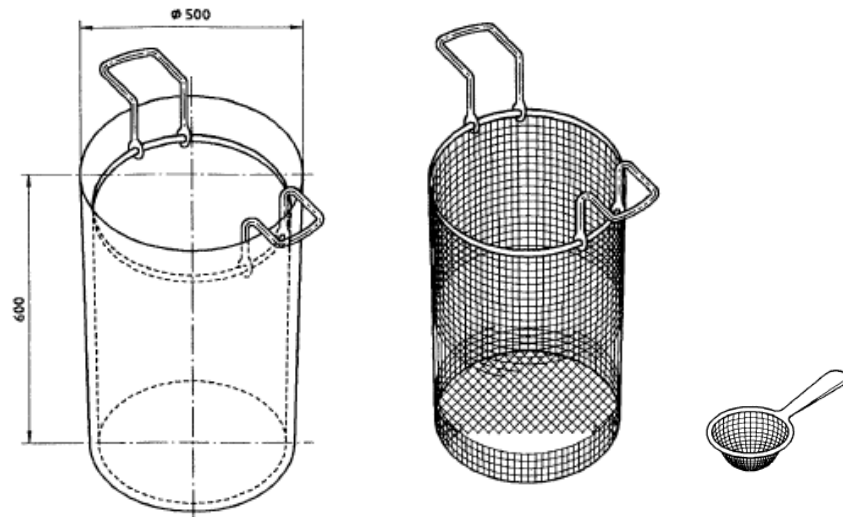
Deneyler kuru bazda yapılır (Yıldız, 2005). Malzemenin çoğunluğunun düşük bağıl yoğunluğa sahip olduğu biliniyorsa, artan bağıl yoğunluk sırasına göre kömür numunesi önce en düşük yoğunluklu ağır sıvı içine konulur. Kömür numunesinde bulunan ve yoğunluğu bu sıvının yoğunluğundan daha az olan taneler yüzer, daha fazla olanlar batar.

Yüzenler bir kenara alınır, batanlar ise bir üst yoğunluktaki ağır sıvıya beslenir. Burada, yoğunluğu ilk sıvınınkinden fazla fakat ikinci sıvınınkinden az olan taneler yüzer, yoğunluğu ikinci sıvınınkinden fazla olan taneler ise batar. İkinci sıvıda yüzenler bir kenara alınıp, batanlar bir üst yoğunluktaki sıvıya beslenir. Böylece, sırasıyla bütün yoğunluklarda aynı işlemler tekrarlanır (Ateşok, 1986).

Malzemenin çoğunluğunun yüksek bağıl yoğunluğa sahip olduğu biliniyorsa, azalan bağıl yoğunluk sırasına göre kömür numunesi önce en yüksek yoğunluklu ağır sıvıya konulur. Bu defa, her bir yoğunlukta batanlar bir kenara alınıp, yüzenler bir alt yoğunluktaki sıvıya beslenir (TS 1824, 2003; Ateşok, 1986).

Artan bağıl yoğunluk sırasına göre yapılan deneylerde ve azalan bağıl yoğunluk sırasına göre yapılan deneylerde birinci ayırmada malzemenin büyük bir kısmı uzaklaştırılarak aktarma işlemleri ve malzemenin ufalanması azaltılır (TS 1824, 2003).

Deney numunesinin çoğunluğunun, hem düşük hem de yüksek bağıl yoğunluklu malzeme karışımından ibaret olduğu ve oldukça az miktarda orta yoğunlukta malzeme içerdiği bilinesi durumunda, numune ilk olarak düşük yoğunluklu bağıl ortama konur. Yüzen kısım bir kenara alınıp batan kısım en yüksek bağıl yoğunluklu ortama konur. Nispeten az miktardaki yüzen ya artan ya da azalan bağıl yoğunluk sırasına göre uygun ortama konulur. Bu metot, orta bağıl yoğunluklarda fazla miktarda malzemenin işleme tabi tutulmasını önler (TS 1824, 2003).



Şekil 1.9. İri tane büyüklüğü fraksiyonlarının ayırımında kullanılan yüzme – batma aletleri

Deney numunesinin fazla miktarda orta bağıl yoğunlukta malzeme içermesi durumunda, numune ora bağıl yoğunluklu ortama konulur. Bu sayede, sonraki işlemler için malzeme miktarı azaltılır. Yüzen kısım, artan bağıl yoğunluk sırasına göre işleme tabi tutulurken batan kısım, azalan bağıl yoğunluk sırasına göre işleme tabi tutulur (TS 1824, 2003). Şekil 1.9 'da iri tane büyüklüğü fraksiyonlarının ayırımında kullanılan yüzme - batma aletleri görülmektedir.

Yüzdürme-batırma deneyleri sırasında şu hususlara dikkat etmek gerekir (Ateşok, 1986).

- 1) Kömür numunesi başlangıçta iyice yıkanıp kurutulmuş olmalıdır.
- 2) Önceden hazırlanmış olan bir ağır sıvı kullanılmadan önce iyice karıştırılmalı ve yoğunluğu kontrol edilmelidir.
- 3) Kullanılan bir ağır sıvı ikinci bir defa kullanılmadan önce yoğunluğu kontrol edilmeli, gerekirse yoğunluğu yeniden ayarlanmalıdır. Zira, buharlaşma yoluyla veya bir önceki sıvıdan gelen malzemenin getirdiği farklı yoğunluktaki sıvı nedeniyle bir ağır sıvının yoğunluğu bozulabilir.
- 4) Bir sıvıda yüzen veya batan malzeme diğer bir sıvıya aktarılmadan önce iyice süzülmalıdır.
- 5) Yoğunluğu sıvınıninkine yakın olan tanelerin tamamen yüzer veya batar duruma gelmesi zaman alır. Böyle tanelerin yerlerini bulmaları için gerekli zaman tanınmalıdır.
- 6) Özellikle ince tane boyutlarında ortaya çıkabilen salkımlaşma olayına mümkün olduğu kadar meydan verilmemelidir.
- 7) Sıvılarda yüzen ve batan kısımların alınması veya bir sıvıdan diğerine aktarılması sırasında numune kayıplarına meydan verilmemelidir.
- 8) Tuz eriyikleri kullanarak yapılan deneylerde alınan ürünler ılık su ile iyice yıkanmalıdır.
- 9) Solunumu zararlı sıvılar kullanılması halinde, deney iyi havalandırılmış bir yerde yapılmalıdır.

1.4.3.2. Yüzdürme Batırma Eğrileri

Bir kömürün yıkanabilirlik davranımını tanımlamak amacıyla aşağıda verilen 5 eğri çizilmektedir.

- a) Yoğunluk eğrisi
- b) Yüzen eğrisi
- c) Batan eğrisi
- d) Parça kül eğrisi
- e) Dağılım eğrisi ($\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme eğrisi)

Kömür yıkama eğrilerinden yararlanarak (Ateşok, 1986),

- 1) Her hangi bir yoğunlukta ayırma yapıldığı zaman elde edilecek temiz kömür ve artığın miktar ve kül yüzdeleri bulunabilir (Bu bilgiler için yoğunluk eğrisi ile yüzen ve batan eğrileri kullanılır.).
- 2) İstenilen kül yüzdesine sahip bir tem kömür elde etmek için, hangi yoğunlukta bir ayırma yapılması gerektiği saptanabilir (Bu bilgi için yüzen eğrisi ile yoğunluk eğrisi kullanılır).
- 3) Herhangi bir yoğunlukta yapılarak ayırmanın güç mü yoksa kolay mı olacağı hakkında fikir edinilebilir (Bu bilgi için parça kül eğrisi ve dağılım eğrisi kullanılır).
- 4) Yapılan bir ayırma sonunda elde edilen temiz kömürdeki yüksek küllü parçanın külü ile artıktaki en düşük küllü parçanın külü bulunabilir (bu bilgi için parça kül eğrisi kullanılır).

$\pm 0,1$ yoğunluğundaki malzeme değişimi ile ayırma zorluğu arasındaki ilişki Tablo 1.8'de gösterilmiştir.

Tablo 1.8. Ayırma zorluğu ve proses uygulanabilirliği arasındaki yaklaşık ilişki (Mills, 1980)

$\pm 0,1$ yoğ. malzeme değişimi	Ayırım zorluğu	Tavsiye edilen gravite prosesi	Zenginleştirme ekipmanı tipi
0 - 7	Basit	Herhangi bir proses	Jigler, Sallantılı Masalar, Olujlar, Reichert Konileri, Spiraller, Ağır ortam ayırıcıları ve diğerleri...
7 - 10	Orta zor	Verimli bir proses	
10 - 15	Zor	Verimli bir proses Doğru bir operasyon	
15 - 20	Çok zor	Çok verimli bir proses Hassas bir operasyon	Ağır ortam ayırıcıları
20 - 25	Son derece zor	Çok verimli bir proses Hassas bir operasyon	
> 25	Korkunç derecede zor	Olağanüstü verimli bir proses Hassas bir operasyon	Sıkı kontrollü ağır ortam ayırıcıları

1.4.3.3. Mayer Eğrisi

Kömür yıkama işlemlerinde tüvenan kömür, temiz kömür (lave), ara ürün (mikst) ve atık (şist) olmak üzere üç ürüne ayırmaktadır. Yüzdürme – batırma eğrileri sadece iki ürünlü (lave ve artık) yıkama işlemlerinde değerlendirme yapmaya uygundur (Önal, 1998). M-Eğrisi üç ürünlü bir yıkama işleminde, bilinmesi gereken bütün bilgileri yani ürünlerin miktarını, küllerini ve ayırma yoğunluklarını bir grafikte verir. M- Eğrisi bulucusunun adıyla Mayer eğrisi olarak da bilinir ve kömür hazırlamada iki amaçla kullanılır (Ünlü, 1989). Bunlar;

- a) Tüvenan kömürlerin yıkama özelliklerinin saptanması,
- b) İki kömürün harmanlama sonuçlarının tahmin edilmesidir.

1.4.3.4. Tromp Eğrisi

Dağılım eğrisi (Tromp Eğrisi), tüvenanda belirli yoğunluktaki malzemenin ayırma sonunda temiz kömüre ve atık şiste geçen nispetini gösteren bir eğridir. Bu eğri ilk defa 1937 yılında Tromp tarafından önerilmiş ve şimdiye kadar Tromp eğrisi, ayırım eğrisi, dağılım eğrisi ve hata eğrisi gibi isimler altında kullanılmıştır.

Dağılım eğrisinin çiziminde, temiz kömür ve artık şistin yüzdürme deney sonuçları ile tüvenan bunlardan hesaplanarak bulunan yüzdürme sonuçları kullanılır. Her yoğunluk aralığında, temiz kömür ve artık şiste bulunan ve tüvenana göre ifade edilen miktarlar, tüvenandaki miktara bölünerek temiz kömür ve artık şist için dağılım faktörleri hesaplanılır. Dağılım faktörlerini ortalama yoğunluk değerlerine karşı çizerek dağılım eğrisi elde edilir. Temiz kömür ve artık şistin dağılım faktörleri birbirini 100'e tamamladıklarından, bunlardan sadece birinin tespiti eğrinin çizimi için yeterlidir.

Dağılım eğrisinin şekli, tüvenan kömürün özelliklerinden ziyade, kullanılan cihazın ayırma hassasiyetine bağlıdır. Bu eğriden yararlanılarak, farklı yıkama cihazları arasında mukayese yapılabildiği gibi, aynı yıkama cihazında uygulanan farklı yıkama koşullarında mukayese edilebilir (URL4).

1.4.4. Ağır Ortam Malzemeleri

Ağır ortam olarak kullanılan malzeme yüksek yoğunlukta, ucuz, sert veya en az kırılğan yapıya sahip, kömürle kimyasal reaksiyona girmeyen, kolay geri kazanılabilir, düşük akışkanlığa sahip ve kolay yıkanılabilir özellikte olmalıdır (Önal v.d., 1994). Kömürün temizlenmesinde genellikle organik sıvılar, suda eriye tuzlar, suda askıda kalan malzemeler ve yoğunluğu yüksek katılar kullanılmaktadır (Yıldız, 2007). Son yıllarda da yeni teknoloji olan magstream cihazları ile ince boyutlu manyetik özellikte olan malzemeler kullanılarak, manyetik alan yardımı ile yoğunluk ayarlama işlemi yapıp gravite ayırımı yapılabilmektedir.

İlk olarak ağır ortam ayırma çalışmaları tuz eriyikleri ile başlamıştır. Kalsiyum klorit (CaCl_2) ve çinko klorit (ZnCl_2) kömür zenginleştirmede yaygın olmasa da kullanılmakta ve 1,4 – 1,6 kg/lt arasında bir ortam oluşturabilmektedirler. Ancak pahalı olması, çok kayıp vermesi ve istenilen yoğunlukların elde edilememesi nedeni ile tuz eriyikleri bırakılmıştır (Kemal v.d., 1999; Yıldız, 2007).

Proseste kullanılacak organik kimyasallar, uygun başka bir kimyasal sıvı ile seyreltilerek kullanılırlar. Organik madde olarak kullanılan tetra brometan'ın yoğunluğu 2,96 gr/cm³ olup beyaz ispirto veya karbon tetra klorür ile seyreltilir. Bromoformun yoğunluğu 2,89 gr/cm³, diodometan'nın 3,3 gr/cm³, talyum format-talyum monalat eriğinin yoğunluğu da 20°C' de 4,2 gr/cm³ olup sıcaklıkla yükselmektedir. Diğer taraftan gazolin ve benzen gibi kimyasallar da kömür temizlemede kullanılabilir (Yıldız, 2007). Kömür temizlemede kullanılan organik sıvıların hemen hemen tamamı zehirli gaz çıkardıklarından bu sıvılarla çalışmak özel dikkat gerektirir. Bu nedenle organik sıvılar endüstriyel boyutta yaygın olarak kullanılmazlar (Yıldız, 2007).

Organik sıvılar ile suda eriyen tuzların dezavantajlarından dolayı kömür yıkamada yoğunluğu yüksek katıların kullanıldığı süspansiyonlar kullanılmaya başlanmıştır. Süspansiyonda kullanılmak üzere manyetit 5,1 g/cm³, barit 4,2 g/cm³, ferrosilikon 6,7-6,9 g/cm³, kum 2,6 g/cm³ yoğunluğa sahip katılar kullanılmaktadır. Kömür temizlemede kuru metot olan akışkan yatak sistemlerinde kullanılan hava-kum ortam ile kömür arasında oluşturulan yoğunluk ile temizlenmektedir.

Endüstriyel ağır ortam ayırma aygıtlarında genellikle ağır ortam olarak manyetit ve ferrosilikonun su ile karışımından elde edilen süspansiyonları yada ikisinin karışımı kullanılmaktadır. Ağır ortam için 1,2 - 2,2 g/cm³ yoğunluk istenildiği durumda manyetit,

2,2 - 2,9 istenildiği durumda manyetit – ferrosilikon karışımı, 2,9 – 3,7 istendiği durumda ise ferrosilikon kullanılmaktadır. Manyetitin yoğunluğu 4,8 – 5,2 arasında olup kömür yıkama tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ferrosilikonun özgül ağırlığı ise silis içeriğine bağlı olarak 6,3–7,0 gr/cm³ arasında değişmekte olup oluşan süspansiyonun yoğunluğu yaklaşık 3,5 gr/cm³ tür. Bundan dolayı da yüksek yoğunluklu ağır ortama gerek duyulan elmas, manganez ve demir zenginleştirmesinde, geri kazanım fabrikalarında alüminyumun geri kazanımında kullanılmaktadır (Svoboda, 2004). Kömür gibi düşük yoğunluklu malzemelerin ayırımında ise bulunabilirliği ve geri kazanımının kolay oluşu nedeni ile düşük yoğunluğa sahip olan manyetit kullanılmaktadır.

Gelişen ülkelerde demir-çelik üretiminin artmasından dolayı manyetite olan talep dünya çapında önemli derece artmaktadır. Buda manyetitin fiyatında artışlara neden olmaktadır. Bu artışlara ilave olarak tesislerde meydana gelen ağır ortam kayıpları da işletme giderlerini gittikçe arttırmıştır. Buda hem ağır ortam kayıplarının incelenmesine hem de alternatif materyal arayışına olan ilginin artmasına neden olmuştur.

1.5. Manyetik Ayırma ve Ağır Ortam Kazanımı

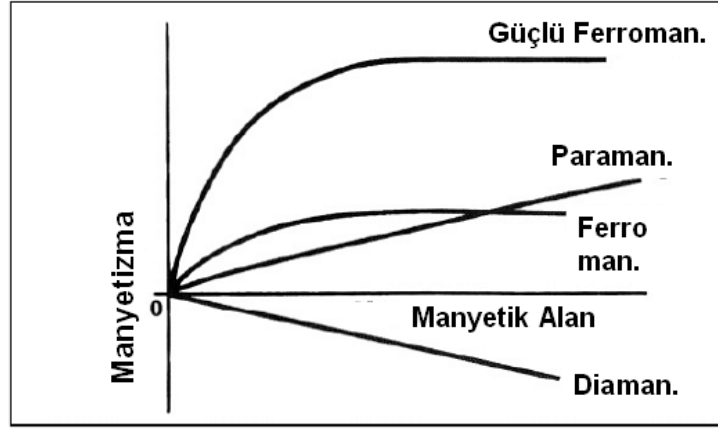
Ağır ortam zenginleştirme prosesi mineral endüstrisinde önemli bir yerdedir. Ağır ortam zenginleştirmede ağır ortam olarak en fazla su içerisinde ferrosilikon veya manyetit kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek yoğunluklarından ve manyetik özelliklerinden dolayı seçilmektedir. Ayrıca bu özellikler ağır ortam proseslerinde tekrar kullanılabilmelerine izin vermektedir. Ağır ortam tesislerinde manyetik ayırıcılar, seyreltik manyetik akışkandan manyetik katıların konsantre edilmesi ve tekrar kazanılması için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Rayner v.d., 2000).

Manyetik zenginleştirme her mineralin farklı manyetik özelliklerinden yararlanılarak yapılmaktadır. Mineraller manyetik özelliklerine göre diamanyetik, paramanyetik, ferromanyetik, antiferromanyetik ve ferrimanyetik olmak üzere 5 temel gruba bölünebilir. Son 3 grubun manyetik duyarlılıkları diğer gruplardan daha yüksektir ve ferromanyetik grup diye adlandırılır (Svoboda, 2004). Diamanyetik mineraller manyetik ayırıcılar tarafından zenginleştirilemezken paramanyetik (zayıf manyetik özellik gösteren) ve ferromanyetik (kuvvetli manyetik özellik gösteren mineraller) mineraller manyetik zenginleştirme ayırıcıları ile zenginleştirilebilmektedir.

Şekil 1.10'da materyallerin çeşitli sınıflandırmalarının manyetizma eğrileri görülmektedir. Tablo 1.9'da bazı minerallerin manyetik özellikleri ve manyetik duyarlılıkları verilmiştir. Manyetik ayırıcıların sınıflandırılmasında çeşitli sınıflandırma planları vardır. Bu planlar baskın fiziksel ve ya teknolojik özelliklere dayanmaktadır. Bu şekilde manyetik ayırıcılar farklı şekillerde gruplandırılabilirler (Svoboda, 2004).

Tablo 1.9. Bazı minerallerin manyetik özellikleri ve manyetik duyarlılıkları (Svoboda, 1987)

MİNERAL	SEMBOL	MANYETİK ÖZELLİK	MANYETİK DUYARLILIK
Manyetit	Fe ₃ O ₄	Ferrimanyetik	5-17,5 x10 ⁻⁴
Maghemit	Fe ₂ O ₃		5,73 x10 ⁻⁴
İlmenohematit	Fe _{2-y} TiyO ₃		1-1,5 x10 ⁻⁵
Titanomanyetit	Fe _{3-x} TixO ₄		1-4(SI)
Pirotit	FeS _{1+x}	Ferromanyetik	3,8-6,8 x10 ⁻⁵
Kasiterit	SnO ₂	Paramanyetik Diamanyetik	2,1 x10 ⁻⁶ -3,3 x10 ⁻⁹
Kromit	(Fe,Mg)(Cr,Al,Fe) ₂ O ₄		0,5-7,85 x10 ⁻⁶ - 6-30 x10 ⁻⁷
Wolframit	Fe _x Mn _{1-x} W ₀₄		0,38-1,2 x10 ⁻⁶
Kalkopirit	CuFeS ₂		1,6 x10 ⁻⁶ - 1,595 x10 ⁻⁹
Hematit	α Fe ₂ O ₃	Antiferromanyetik	2,5 x10 ⁻⁷
İlmenit	(Fe,Mg,Mn)TiO ₃		2-15 x10 ⁻⁷
Götite	αFeOOH	Antiferromanyetik	2,5-6 x10 ⁻⁷
Siderit	FeCO ₃	Antiferromanyetik	8-11 x10 ⁻⁷
Stannit	Cu ₂ FeSnS ₄	(kalsinasyon)	3x10 ⁻⁷ - 24 x10 ⁻⁹
Pirit	FeS ₂	(Alkali liç ile)	1-5 x10 ⁻⁷
Manyezit	MgCO ₃	Paramanyetik Diamanyetik	0,71 x10 ⁻⁷ -0,05 x10 ⁻⁷
Manganoksit	MnO		8,5 x10 ⁻⁷
Manganit	MnOOH		3,5-5,3 x10 ⁻⁷
Pirolizit	MnO ₂		3,4 x10 ⁻⁷
Anataz	TiO ₂		2,5 x10 ⁻⁷
Bornit	Cu ₅ FeS ₄		1,6 x10 ⁻⁷ 8,8 x10 ⁻⁹
Rutil	TiO ₂	Paramanyetik Diamanyetik	4,6 x10 ⁻⁹ -3,8 x10 ⁻⁹



Şekil 1.10. Malzemelerin manyetizma eğrileri (Svoboda, 2004)

Uygulama yöntemine göre;

- Yaş
- Kuru

Manyetik alan şiddetine göre;

- Düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılar
- Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar
- Yüksek gradyanlı manyetik ayırıcılar

Sistemin gerekliliklerine göre;

- Demir ve benzeri materyallerin uzaklaştırılması (zarar görme yıpranma durumunu engellemek için makineyi koruma için)
- Değerli manyetik bileşenlerin alınması
- İstenmeyen manyetik empüritelerin uzaklaştırılması
- Manyetik olan ve olmayan materyallerin ayrılması
- Materyallerle mücadele

Manyetik alan üretimine göre;

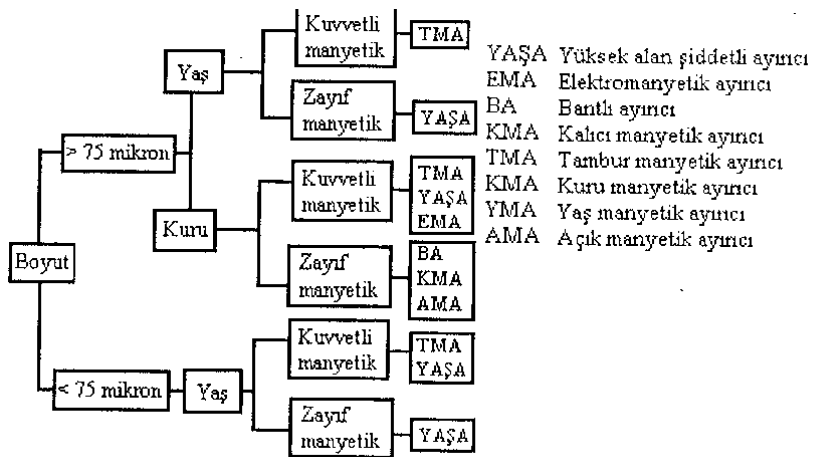
- Sabit mıknatıs
- Elektromıknatıs
- Dayanıklı selonoidler (sarmal bobinler)
- Süper iletken mıknatıslar

2000 gauss ve altı düşük alan şiddetli manyetik alan, 10000-20000 Gauss arası da yüksek alan olarak tanımlanabilir. Düşük alanlı manyetik ayırıcılar genellikle manyetik özelliği yüksek minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılır. Manyetik ayırıcı seçiminde

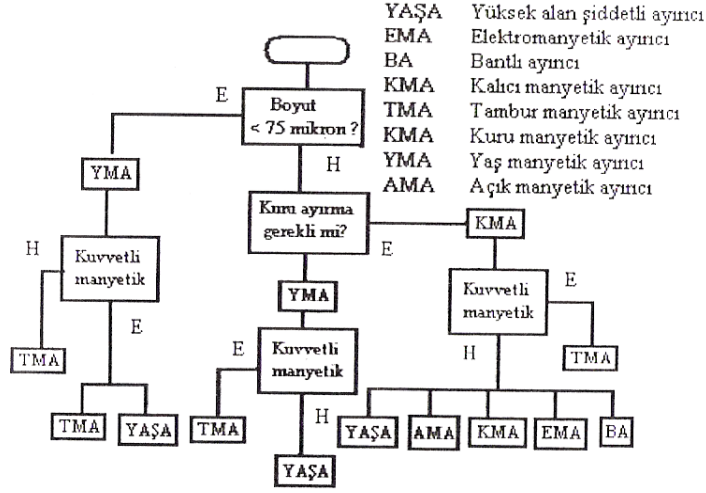
zenginleştirilecek cevherin boyutu çok önemlidir. Zenginleştirilecek boyutu 75 mikrondan küçük ise yaş manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır. Zenginleştirilecek cevher boyutunun 75 mikrondan büyük olduğu durumlarda yaş ya da kuru olarak iki uygulama vardır. Cevherin özelliğine bağlı olarak da değişik manyetik ayırıcılar kullanılabilir (Yıldız, 2007).

Düşük alan şiddetli ayırıcılar birincil olarak yüksek manyetik duyarlılığa sahip paramanyetik materyal veya ferromanyetik materyallerin elde edilmesi için kullanılır. Bu ayırıcılar yaş ve kuru olarak kullanılabilir. Yüksek alan şiddetli ayırıcılar zayıf manyetik malzemeleri, iri ve ince malzemelerin elde edilmesinde yaş ve ya kuru olarak kullanılabilir. Şekil 1.11'de manyetik zenginleştirme işlemi, Şekil 1.12'de zenginleştirmede kullanılacak manyetik zenginleştirici seçimi için yönlendirici akım şemaları verilmiştir (Yıldız, 2007).

Ağır ortam zenginleştirme sonrasında ağır ortam olarak kullanılan malzemeler (manyetit, ferrosilikon) paramanyetik veya ferromanyetik özellikte olup manyetik duyarlılıkları yüksek olduğundan geri kazanımları amacıyla düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar ile konsantre edilerek tekrar kullanılabilir. Yaş manyetik ayırıcıları da ortamdaki malzeme üzerine, malzemenin ağırlığından dolayı yerçekimi kuvveti, hareket halindeki suyun sürüklenme kuvvet ve ortamdaki manyetik kuvvet etki etmektedir. Bu ortamda manyetik kuvvetin etkisi ile manyetik malzeme ayrılıp manyetik olmayan bölgeye kadar taşınabilmelidir (Yıldız, 2007). Zenginleştirilecek malzemenin manyetik özelliğine, boyutuna, içindeki safsızlığa ve zenginleştirme kademelerine göre yaş manyetik ayırıcılar değişik şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 1.11. Manyetik proses seçimi (Yıldız, 2007)



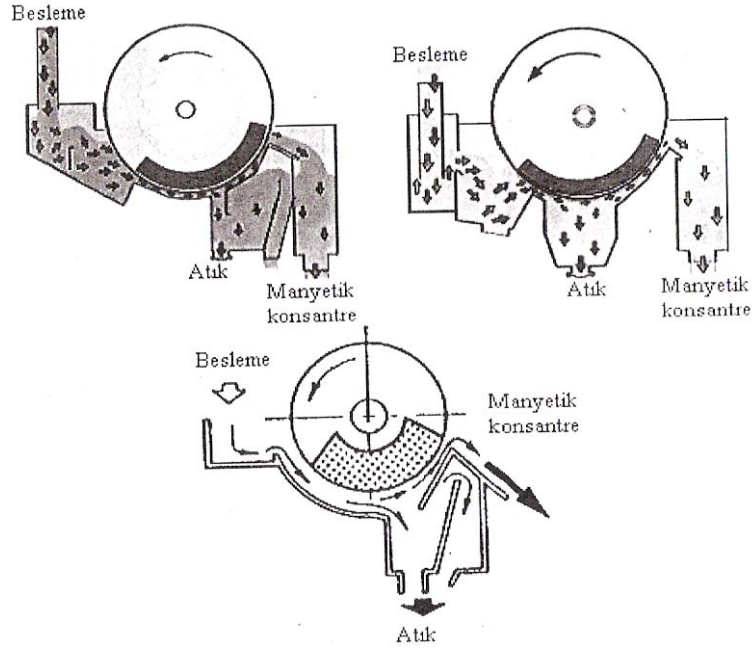
Şekil 1.12. Manyetik ayırıcı seçimi (Yıldız, 2007)

Eş akışlı (Concurrent) ayırıcılar, ayırıcı tankı içinde malzeme akışı ile tamburun dönüş yolu aynıdır. Şekil 1.13'te ayırıcının şekli verilmiştir. Mıknatıs tarafından manyetik malzeme tutulur ve manyetik olmayan malzeme atık boşaltma çıkışından alta doğru boşaltılır. Tamburun yüzeyine yapışan manyetik taneler tank duvarı ve tambur çevresi arasındaki açıklığa doğru ilerler ve toplama kısmına boşalır. Bu ayırıcılar genellikle ilk kademe ayırıcı olarak kullanılır. Bu ayırıcılar 5 mm ve altındaki tane boyutlarının muamelesi için kullanılır. Manyetik konsantrenin yüksek kapasite ve yüksek üretimle gerçekleştirilmesi bu ayırıcıların karakteristik özeliğidir (Svoboda, 2004; Yıldız, 2007).

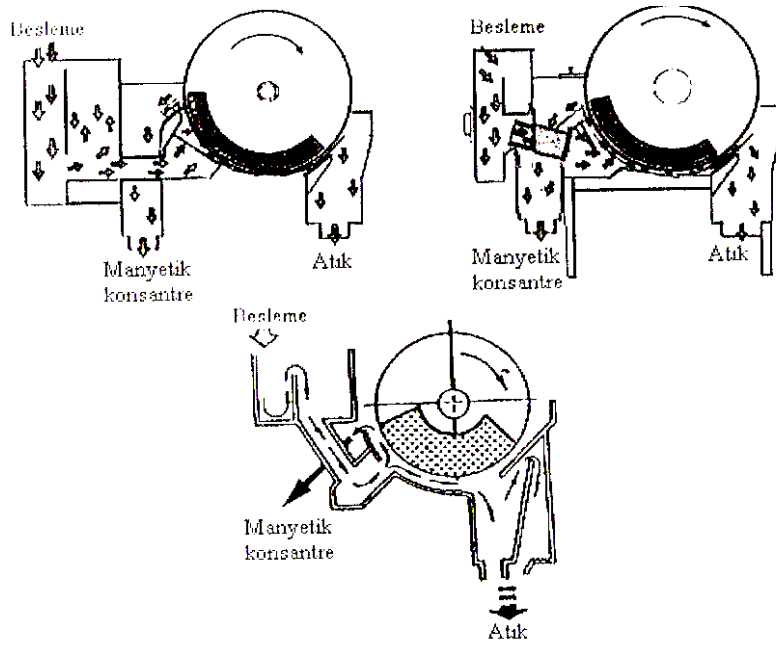
Ters dönüşlü (Counter rotation) ayırıcılarda (Şekil 1.14) tambur dönüş yönüne göre pulpün akış yönü terstir. Manyetik malzeme tambur tarafından tutulur ve hızlıca hemen boşaltılır. Atık akışı tamburun manyetik yay girişi arasında olduğundan kayıplar minimumdur. İkinci ve son kademe zenginleştirmede kullanılır. Yüksek manyetik malzeme içeriği mümkündür. Bu dizayn ile çok yüksek geri kazanımlar sağlanabilir, fakat 0,5 mmden daha küçük taneler tercih edilebilir (Svoboda,2004; Yıldız, 2007).

Ters akışlı (counter-current) ayırıcılarda (Şekil 1.15) tambur dönüş yönü ile pulpün akış önü terstir. Besleme tambur tabanına yakından yapılır ve yıkama su jetleri tarafından çalkalanır. Atık malzeme atık boşaltma üst akış tarafından tankın karşı sonundan dışarı akar. Buda yüksek manyetik malzeme kazanımı ve yüksek konsantre kalitesi sağlar. Bu ayırıcılar 100 mikron ve daha az ince boyutlu malzemeler için uygundur. Daha büyük boyutta malzemelerin ayırımında çökme riski vardır (Svoboda,2004, Yıldız, 2007). Ağır

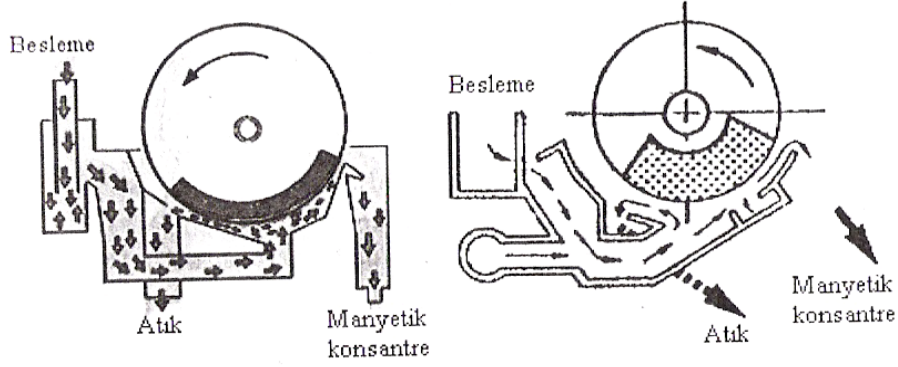
ortam zenginleştirme sonrası ağır ortam malzemelerinin tekrar kazanılmasında kullanılan manyetik ayırıcıların tipi eş akışlı manyetik ayırıcılardandır.



Şekil 1.13. Eş akışlı manyetik ayırıcılar (Yıldız, 2007)



Şekil 1.14. Ters dönüşlü manyetik ayırıcı

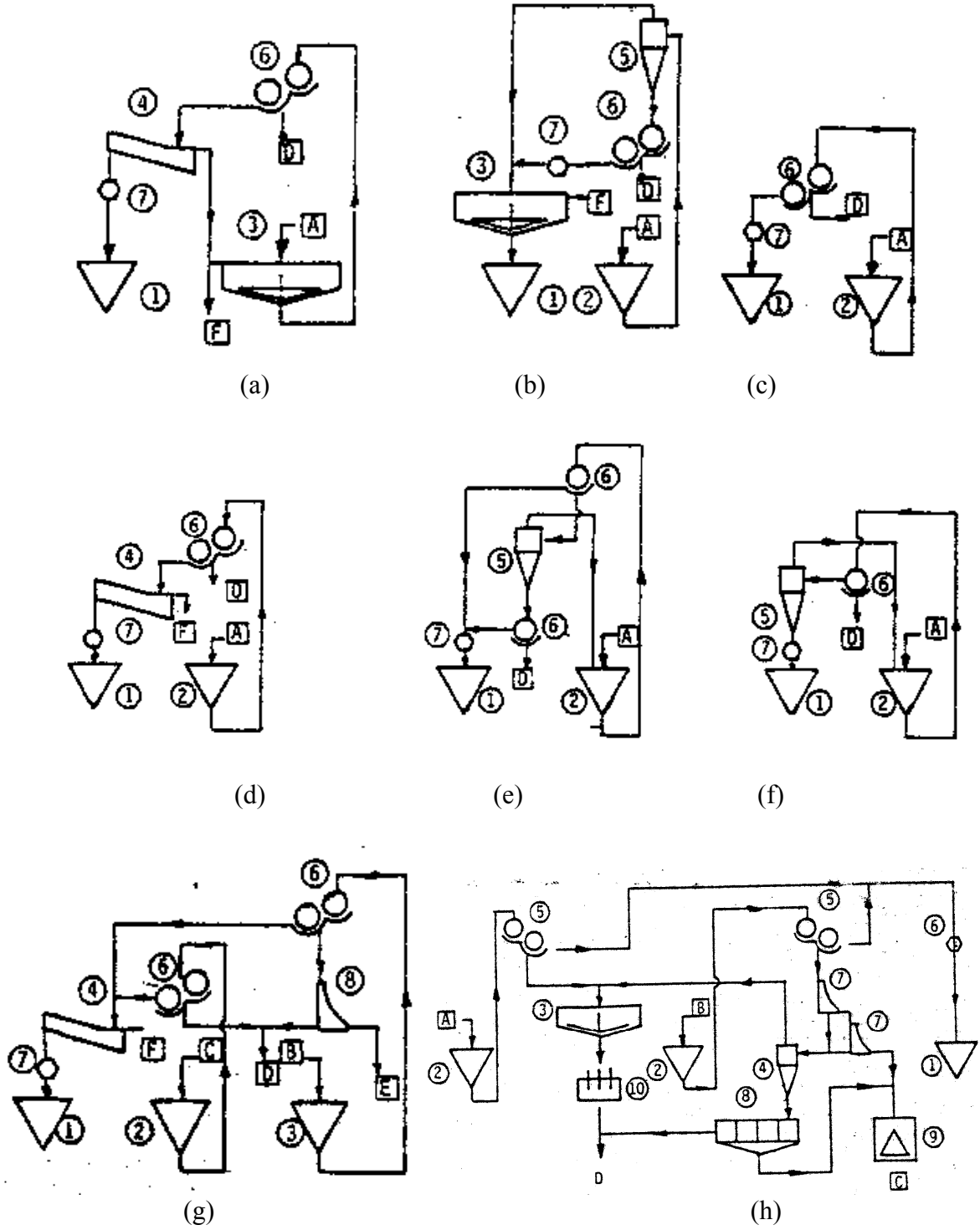


Şekil 1.15. Ters akışlı manyetik ayırıcı

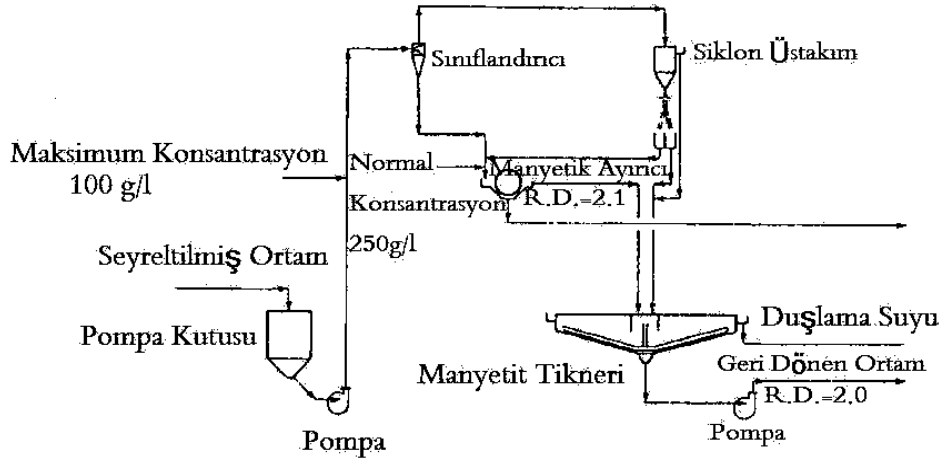
1.5.1. Ağır Ortam (Manyetit) Kazanım Devreleri

Ağır ortam kazanımında kullanılan devreler çeşitlilik göstermekte olup kömür yıkama tesislerinde genel olarak kullanılan yedi ağır ortam kazanım devresi vardır. Bunlar Şekil 1.16'da verilmiştir (Burt, 1984). Kömür yıkama tesislerinde uygulanabilir sıfır kayıplı geri kazanım devre dizaynı karmaşık ve geniş alan kapsamaktadır. Şekil 1.16.h'de tipik bir sıfır kayıpsız ağır ortam geri kazanım dizaynı verilmiştir. Ancak literatürde önerilen üç ağır ortam geri kazanım devresi vardır. Etkili ayırım için sulu ortam yoğunluğuna bağlı olarak aşağıdaki devrelerden birinin kullanılması önerilmektedir (Mikhail, 1990);

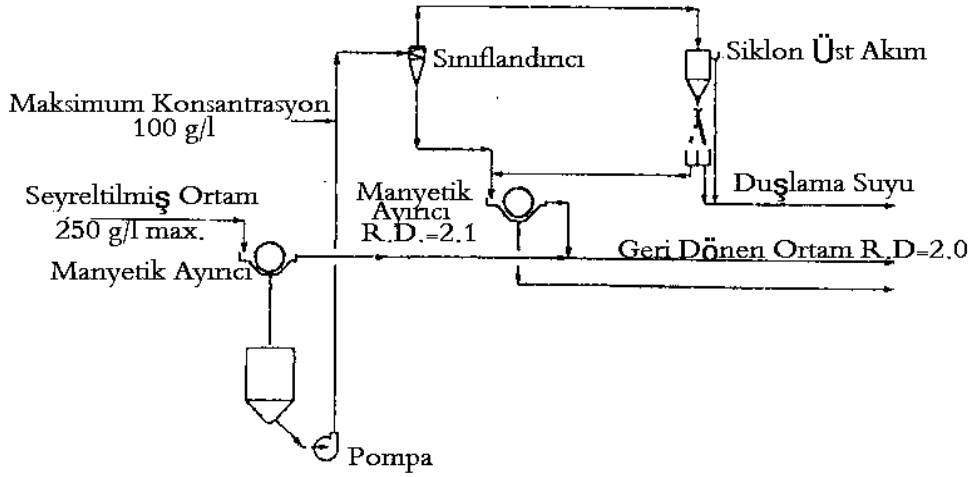
- 100 gr/l den az manyetit içeren ortamlar için hidrosiklon kullanılan tek devre manyetik ayırma (Şekil 1.17.a),
- ortamın konsantrasyonu 100 gr/l den yüksek olduğunda ikincil manyetik ayırmadan önce koyulaştırma ile iki aşamalı manyetik ayırma (Şekil 1.17.b),
- çok düşük yoğunluklu ortamlar bir manyetik seperatöre beslendiğinde 2. ve 3. manyetik seperatörden önce tikner kullanılan üçlü manyetik ayırma (Şekil 1.17.c).



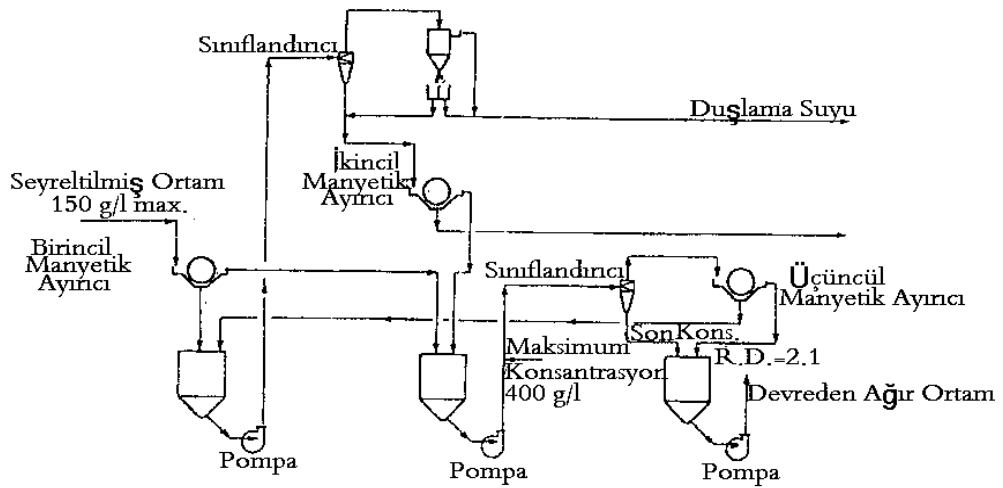
Şekil 1.16. Genel ağır ortam geri kazanım devreleri (a-g) ve sıfır kayıplı ağır ortam geri kazanım devresi (h) (1: Ana ağır ortam, 2: Seyreltik ağır ortam, 3: Tikner 4: Sınıflandırıcı/Yoğunlaştırıcı, 5: Siklon, 6: Manyetik ayırıcı 7: Demagnetize birimi 8: Oyuk elek, A: Toplam seyreltik ortam, B: Ağır seyreltik ortam, C: Hafif seyreltik ortam, D: Non-manyetik inceler, E: Non-manyetik tozlar F: Geri besleme suyu)



a)



b)



c)

Şekil 1.17. Tek aşamalı (a), iki aşamalı (b) ve üç aşamalı (c) manyetit kazanımı devre düzenlemeleri (Yüce v.d., 2009)

1.6. Ağır Ortam Devrelerinde Manyetit Kayıpları

Kömür yıkama tesislerimde yaygın olarak kullanılan ağır ortam temizleme işleminin dezavantajlarından biri olana manyetit kayıpları işletme maliyetini arttırmaktadır. Genellikle tesislerde ortalama manyetit kayıpları manyetik ayırma, yapışma ve korozyonla 6:3:1 oranında değişmektedir (Svoboda, 2004). Avrupa'daki kömür yıkama tesislerinde manyetit kaybı ince kömür (10-0,6 mm) için 0,15 kg/ton ve iri kömür (+10 mm) için ise 0,05 kg/ton olarak kabul edilmektedir (Mikhail, 1990). Manyetit kayıpları üzerine yapılmış birkaç çalışma bulunmaktadır. Sripriya ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan çalışmada yıkama suyu, yıkama zamanı, ortamın göreceli yoğunluğu ve cihazın hızının manyetit kaybı üzerinde etkili olduğunu rapor etmişlerdir. Dardis (1989), çok sayıda tesis üzerinde yaptığı çalışmalar sonunda tüvenan kömür başına manyetit kaybının 0,27-0,90 kg/ton değerlerinde değiştiği belirtmektedir. Bazı çalışmalarda ağır ortam kayıplarının statik ağır ortam ayırıcılarında 0,1-0,2 kg/ton ve dinamik ağır ortam ayırıcılarında 0,3-0,6 kg/ton olarak gerçekleştiği ve toplam ağır ortam kaybının %75'inin manyetik geri kazanım sisteminden kaynaklandığı belirtilmektedir (Çelik, 2006). Ağır ortam yöntemini uygulayan bir kömür hazırlama tesisinde manyetit kayıpları iki önemli noktada oluşmaktadır;

- ✓ Süzme ve yıkama sonrasında elde edilen nihai ürünlerde bulunma,
- ✓ Ortam kazanma prosesinin nihai atığında bulunma.

Bu kayıpların belli başlı nedenleri ise,

- ✓ Cevher ve ortam taneleri arasındaki çekim gücü ve tanelerin porozitesi nedeniyle yetersiz yıkama,
- ✓ Manyetik ayırma ve sınıflandırmanın yetersizliği,
- ✓ Ortamın korozyonu ve aşınması,
- ✓ Taze ortam ilavesi sırasında fazla yükleme,
- ✓ Tesis arızası ve duruşlar,
- ✓ Kullanılan ortam malzemesinin özellikleri

olarak verilmektedir (Sripriya, 2005). Manyetit kayıplarına etki eden birkaç faktör vardır (Mikhail, 1990). En önemlileri;

- ✓ İşlem gören kömürün tane boyutu,
- ✓ Manyetitin tane boyutu,
- ✓ Manyetik ayırmanın etkinliği,
- ✓ Manyetit kazanım devresinin dizaynidir.

İşlem gören kömür tane boyutu küçüldükçe meydana gelen yüzey alanının artışı, yıkamayı zorlaştırmakta ve tanelere tutunarak oluşan manyetit kaybını arttırmaktadır. İnce boyutlu manyetit ise daha stabil olduğundan ağır ortam etkinliğini geliştirmektedir. Ancak yüksek viskozite göstermekte ve geri kazanımı zor olduğundan kaçaklara neden olmaktadır. Mikhail ve diğerleri (1990) tarafından ağır ortamda kullanılacak manyetitin sahip olması gereken özellikler;

- ✓ Tane boyut dağılımı: 54 μm 'dan iri tane oranı en fazla %5,
10 μm 'dan ince tane oranı en fazla %30,
- ✓ Yoğunluğu: 4,9-5,2 gr/cm^3
- ✓ Manyetit içeriği: en az %95
- ✓ Nem içeriği: en fazla %10

olarak sıralanmaktadır. Genel olarak ağır ortam malzemesi olarak kullanılacak manyetitin özgül (kütle) manyetik alınganlığı $452-685 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ (SI) değerinin üzerindedir (Svoboda, 2004). Manyetik ayırmanın etkinliğini ayırıcının manyetik alan şiddeti, sabit mıknatısın pozisyonu, besleme miktarı, beslemedeki katı ve manyetit oranı (%) etkilemektedir. Manyetik seperatörler için bazı önemli çalışma parametreleri aşağıda verilmiştir (Mikhail, 1990);

- ✓ Sabit mıknatıslı akış yönlü tambur,
- ✓ En fazla 250 g/l besleme,
- ✓ En fazla %16 katı hacim içeriği,
- ✓ Tambura 50 mm mesafede en az 750 Gauss şiddetinde manyetik alan,
- ✓ Kazanılan ortam yoğunluğu: 2,1 gr/cm^3 ,
- ✓ En fazla 0,3 gr/lt manyetit kaybı.

1.7. Alternatif Ağır Ortam Malzemeleri

Alternatif ağır ortam malzemeleri konusunda çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Sripriya ve arkadaşları (2005), kömür yıkamada ağır ortam olarak kullanmak için manyetite alternatif ağır ortam malzemeleri gelişmeler üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada; Hindistan'da bulunan bir demir çelik fabrikasındaki, ağır ortam olarak kullanım için gerekli özelliklere sahip olduğu düşünülen yüksek fırın uçucu tozlarının manyetik bölümü (MFFD) incelenmiştir. Demir çelik fabrikalarında yüksek fırınlardan atık malzeme olarak atılan uçucu tozlar toz tutucular tarafından tutularak geri kazanılmaktadır çünkü bu

atıklar yüksek alkali içeriklerinden (%0,8 – 0,9) dolayı sinter fabrikalarında yasaklıdır. Hindistan / Tata' da ki yüksek fırın uçucu tozlarının yıllık üretimi yaklaşık 40000 ton'dur. Bu kadar çok yüksek içeriklerinden dolayı bu uçucuların alkalilerinin uzaklaştırılmaları gerekmiştir. Bu bağlamda 500 ve 1000 Gauss alan şiddetine sahip yaşı düşük alan şiddetli manyetik ayırıcı ile yapılan çalışma sonucunda uçucu tozların manyetik fraksiyonunun ağır ortam olarak kullanılmaya uygun olduğu bulunmuştur. Bu elde edilen ürünler manyetit ile kıyaslandığında şu sonuçlara ulaşılmıştır; manyetitin yoğunluğu $4,6 \text{ gr/cm}^3$ iken uçucu tozun 4 gr/cm^3 tür. Ayrıca uçucu tozların XRD ölçümlerinde içeriğinde ağırlıklı olarak manyetit ve yan ürün olarak hematit ihtiva ettiği belirlenmiştir (Sripriya vd., 2005).

Ayrıca ağır ortamın viskozitesi ve stabilitesi için tane boyutu önemli olduğundan bu çalışmada uçucu tozlar bilyeli değirmende öğütülerek iki farklı tane boyutu fraksiyonu elde edilmiştir. Manyetit, ince boyutlu uçucu toz (%90 – 0,045 mm) ile iri boyutlu uçucu tozun (%80 – 0,045 mm) stabilite durumları kıyaslanmıştır. Stabilite testleri sonucunda iri boyutlu uçucu tozların manyetite kıyasla ince tozlara rağmen neredeyse eşdeğer stabilitede oldukları belirlenmiştir. Bu malzemelerin SEM tarafından belirlenen kimyasal içeriklerine bakıldığında ticari olarak kullanılan manyetit % 88,28 Fe_2O_3 , % 6,10 SiO_2 , % 0,16 CaO_2 içermesine karşın, uçucu tozlar % 86,92 Fe_2O_3 , % 4,42 SiO_2 , % 5,58 CaO_2 belirlenmiş olup ağır ortam malzemesi olarak kullanılan manyetit ile yakın özellikleri içermektedir. Bu çalışmalar neticesinde ağır ortam siklonunda ağır ortam malzemesi olarak kullanılan uçucu malzeme ile yapılan zenginleştirmede manyetitle yapılan zenginleştirmeden daha düşük verimle düşük kül içerikli temiz kömür elde edilmiştir (Sripriya vd., 2005).

Alternatif malzemelerin kullanımına yönelik bir diğer çalışma Zhang ve arkadaşları tarafından 2004 yılında, katı ortam olarak atık demir tozları kullanılarak iri boyutlu andaluzitin ağır ortam zenginleştirmesi üzerine yapılmıştır. Bu çalışma Çin'de bulunan andaluzit yatağından elde edilen cevher üzerine yapılmıştır. Andaluzit yatağından elde edilen cevher farklı boyut fraksiyonuna ayrılarak ağır ortamda zenginleştirme için uygun olan -1+0,5 mm'lik tane boyut fraksiyonu için çalışma yapılmıştır. Alternatif ağır ortam malzemesi Çin'deki demir çelik fabrikası ilave edilen toz metalurji fabrikasından elde edilmiştir. Bu tozlar demir indirgeme prosesinden elde edilen küller ve atıkların karışımıdır. Bu malzemeden karbon tozları ve çok ince boyutlu malzemeler uzaklaştırıldığında temiz demir tozlarının %95 Fe içerikli ve $7-25 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğunda olduğu belirlenmiştir. Bu demir tozlar 0,05 T alan şiddetindeki bir tambur manyetik ayırıcı ile kolay kazanılabilmektedir. Çalışmada ağır ortamın viskozitesini düşürmek için

kullanılan ağır ortam malzemesine sodyum silikat ilavesi yapılmıştır. Yüzdürme-batırma testleri için tetraklorit ve tetrabrometan kullanılmıştır. Yüzdürme-batırma tesleri 2,65; 2,75; 2,84; 2,90 ve 2,96 gr/cm³ yoğunluklarında gerçekleştirilmiştir. Yüzdürme-batırma deneyleri sonucunda 2,96 gr/cm³ ayırma yoğunluğunda yapılan zenginleştirme sonucunda %94,33 tenörlü andaluzit %38,7 verimle elde edilmiştir. İri boyutta andaluzit konsantresi eldesi %92,5 tenör ve %55 verimle gerçekleşmiştir (Zhang vd., 2004)

1.8. Bakır Curufu

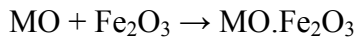
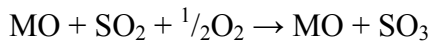
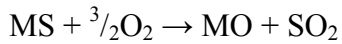
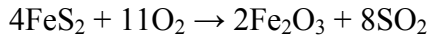
Büyük miktarlardaki maden atıkları (bakır curufu, pirit külü gibi) endüstriyel işlemler sonrasında yan ürün olarak üretilmektedir ve değerlendirilmedikleri takdirde atık olarak çevreye ve denizlere atılmaktadır. Bakır üretiminin her bir tonu için yaklaşık 2,2 ton curuf üretilmekte olup dünya çapında yıllık yaklaşık olarak 24,6 milyon ton bakır curufu üretimi gerçekleşmektedir (Garas v.d., 2003). Sülfütlü cevherlerden bakırın zenginleştirilmesi genellikle pirometalurjik süreç olan kavurma ile gerçekleşmektedir. Bu süreç maden işletme ve konsantre etme işlemleri olup konsantre etme işlemi olan flotasyon ile zenginleştirme ardına ergitme ve saflaştırma işlemleri ile gerçekleşmektedir (Devanport v.d., 2002). Ergitme süresince zengin oksitli faz olarak bilinen curuf formu bakır matı (sülfide) fazından ayrılmaktadır. Curuf fazı ağırlıklı olarak FeO, Fe₂O₃ ve SiO₂ ile az miktarda Al₂O₃, CaO ve MgO, metal olarak Cu, Co ve Ni içermektedir (Devanport v.d., 2002; Deng v.d., 2002). Karadeniz Bakır İşletmeleri İzabe tesisinde, bakır curuflarından bakır geri kazanmak için cevher hazırlama ve flotasyonla bakır curuflarının tekrar muamele işlemi gerçekleştirilmektedir. Yıllık flotasyon atığı yaklaşık 150000 ton olup bu atıklar yıllardır Yeşil Irmak deltasına boşaltılmaktadır ve bu miktar yaklaşık 1,2-2 milyon tonu bulmuştur.

1.9. Pirit Külü

Dünya çapında yıllık yaklaşık 165 milyon ton sülfirik asit üretimi gerçekleşmektedir. Sülfirik asit üretimi için kullanılan sülfürün çok önemli kaynağı % 53,33 ile pirittir (Alp, 2009). Sülfirik asit üretiminde hammadde olarak pirit kullanan tesislerde işlem ilk olarak piritin kavrulması ile başlamaktadır. Bu işlem kullanılan fırın türüne göre 850 – 1200°C arasında değişmektedir. Kavurma işlemi sırasında bir gaz ve birde katı kısım oluşmaktadır. Gaz kısmından sülfirik asit üretilirken geride kalan katı kısım pirit külünü oluşturur.

Kavurma sonrasında çıkan gazların içerdiği tozların tutulması için bir elektrikli toz tutucudan geçirilir. Pirit (FeS_2) kavrulma sonucunda hematit (Fe_2O_3) ve manyetit (Fe_3O_4) formuna dönüşmektedir. Elde edilen pirit külü yüksek oranda demir (>%67) ve cobalt, altın, gümüş, bakır, çinko, kurşun, arsenik, sülfür içermektedir. Yüksek oranda demir içermesine rağmen bünyesinde bulunan toksin oluşturuvcu metallere dolaylı (As, Pb, S) direkt olarak demir sanayisinde kullanılamamaktadır. Tozlardan arındırılmış gaz karışımı içindeki arsenik ve selenyum gibi zararlı bileşiklerin uzaklaştırılması için gaz yıkayıcılara gönderilir. SO_2 içeren gaza yıkama kulelerinde, zayıf asit püskürtülerek empüritelerden arındırıldığı gibi sıcaklığı da $40 - 45^\circ\text{C}$ 'ye düşürülür (Biçer v.d. 2007, Alp, 2009).

Yıkama kulesinden çıkan gaz bünyesinde bulunan asit sisinden arındırılmak üzere sis tutucularına gelir. Elektrostatik sis tutucuları sayesinde gaz içindeki asitsisinden arındırılmış olur. Yıkama ve sis tutucularından geçen gaz, ayrıca bünyesinde su ihtiva etmektedir. Nem içeren gaz kurutma kulesine geçerek, %93 H_2SO_4 'lü sülfürik asit ile muamelesi sonucu nemi uzaklaştırılır (Biçer v.d. 2007). Toz, asit sisi ve nemden temizlenen gaz, ısı değiştiricilerinde sıcaklığı 425°C 'ye ısıtılarak konvertere gönderilir. Gaz içerisindeki SO_2 konverterde bulunan vanadyum pentaoksit katalizörü yardımıyla SO_3 gazına dönüştürülür. Konverterdeki SO_3 gazı absorpsiyon kulesine alınarak %96 H_2SO_4 konsantrasyonunda asit sirkülasyonu ile SO_3 gazından sülfürik asit elde edilir. Atık gazlar ise absorpsiyon kulesinden ana bacaya gönderilerek çevreden uzaklaştırılır (Biçer v.d. 2007). Kavurma fırınlarında gerçekleşen reaksiyon sonucu pirit külleri çok kompleks yapılar oluşturmaktadır. Bu reaksiyonlar aşağıdaki gibidir (Virals v.d. 2002; Sidenko, 1999; Vomerali v.d., 2009);

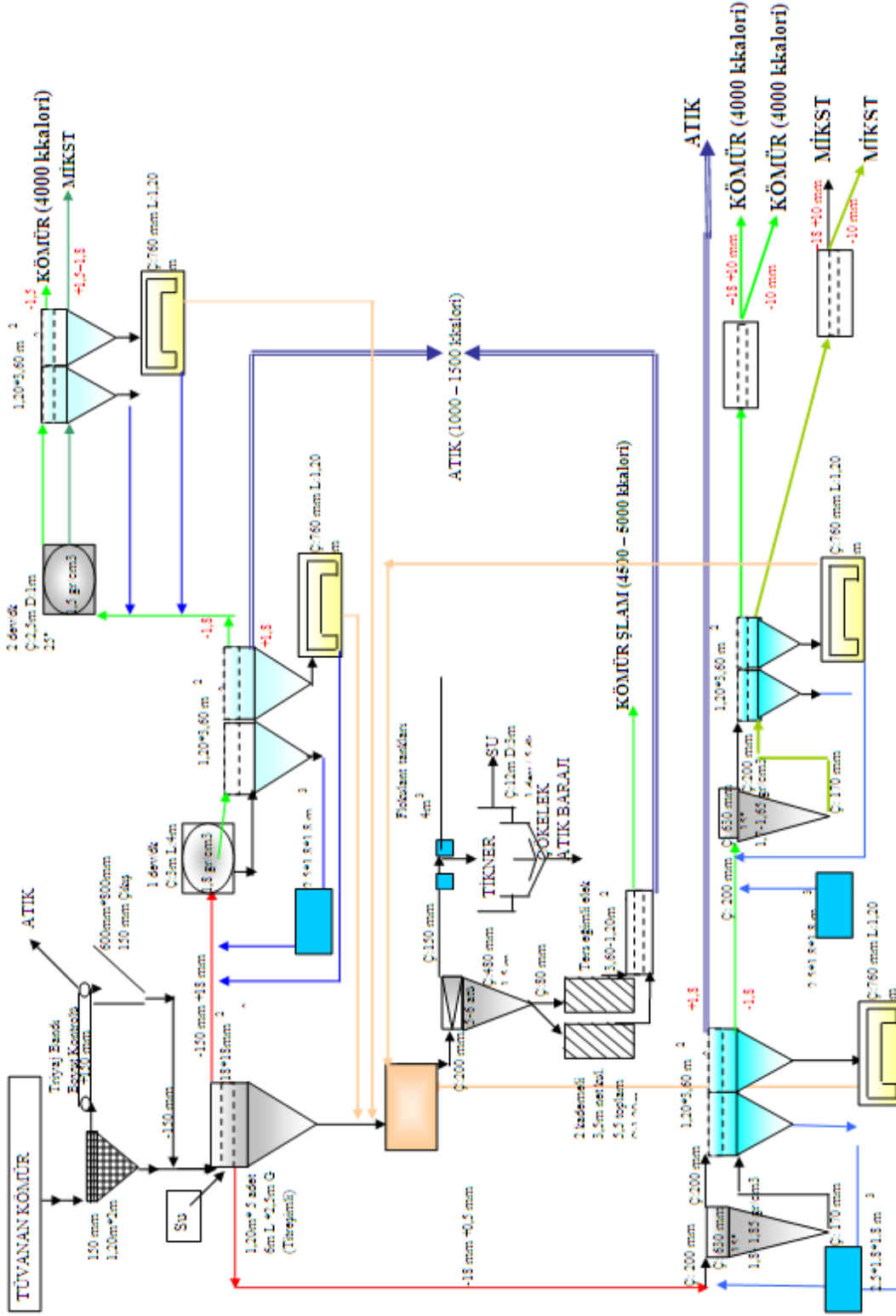


Bandırma Sülfürik Asit fabrikasında yıllık yaklaşık olarak 95000 ton teknik oranda ve 25000 ton da analitik oranda sülfürik asit üretimi gerçekleşmektedir. Bu üretin sırasında oluşan pirit külü ise genellikle çevreye yada Marmara denizine boşaltılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı hem empüriteleri uzaklaştırmak hem de içerdiği değerli metalleri kazanmak için ya da atıkların tekrar başka alanlarda değerlendirilmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

1.10. Eski Çeltek Kömür Yıkama Tesisi

Eski Çeltek Kömür İşletmesi; İl Özel İdaresine bağlı olup, Suluova İlçesi'nin Çeltek Köyü yakınında faaliyet gösterip, yıllık üretim miktarı 89.000.ton/yıl'dır. İşletmenin 1.700.000 Ton rezervi bulunmaktadır. Eski Çeltek Kömürü, 3500-5000 kcal/kg'lık kalitesiyle, Türkiye linyit rezervi'nin %5'lik dilimine girmektedir (URL 2-3). Eski Çeltek Kömür Zenginleştirme Tesisinde tüvenan kömür +150 mm üstü kırma işlemine tabi tutulduktan sonra yaş olarak sınıflandırılmakta ve ince boyutlu malzeme (-0,5mm) ayrılmaktadır. Zenginleştirme iri ve orta boyutlarda ağır ortam ayırması, ince boyutlarda ise spiral ayırıcılar ile gerçekleştirilmektedir. Ağır ortam ayırmasında ağır ortam tamburu, ağır ortam teknesi (Drewboy) ve ağır ortam siklonları olmak üzere üç farklı ağır ortam ayırma cihazı kullanılmaktadır (Yüce, 2009) (Şekil 1.18) (Tablo 1.10).

Tesiste iri ayırmada 1,80-1,85 ve 1,65-1,70 gr/cm³ yoğunlukları olmak üzere çift yoğunluklu ayırma uygulanmaktadır. Sınıflandırma sonrasında üretilen +18 mm boyutundaki malzeme 1,8-1,85 gr/cm³ yoğunluğundaki ağır ortam tambur ayırıcısına beslenmektedir. Ağır ortam tamburundan elde edilen yüzen ürün 1,65-1,70 gr/cm³ yoğunluğundaki Drewboy ağır ortam teknesinde ikincil zenginleştirmeye tabi tutulmaktadır (Yüce, 2009). -18+0,5 mm boyutundaki malzeme ise 1,8-1,85 gr/cm³ yoğunluğundaki ağır ortam siklonuna beslenmektedir. Yüzen ürün 1,65-1,70 gr/cm³ yoğunluğundaki ağır ortam siklonunda ikincil zenginleştirmeye tabi tutulmaktadır. Her bir ağır ortam ayırıcısından gelen yüzen ve batan ürünler süzme ve yıkama eleklerinden geçirildikten sonra ürün olarak alınmaktadır. Süzme eleğinden süzülen ağır ortam devreye geri beslenirken yıkama eleğinden süzülen seyrelmiş ortam ise manyetik seperatörle kazanıldıktan sonra devreye geri beslenmektedir (Yüce,2009).



Şekil 1.18. Eski Çelttek Kömür İşletmesi tesis akım şeması

Tablo 1.10. Eski Çelttek kömür zenginleştirme tesisinde bulunan cihazlar ve özellikleri

CİHAZ	ÖZELLİKLER
Ağır ortam tamburu	Ayırma yoğ: 1,80-1,85 gr/cm ³ , Ø: 3 m – L: 4 m, 1 dev/dk
Ağır ortam teknesi	Ayırma yoğ: 1,65-1,70 gr/cm ³
Ağır ortam siklonu	1,80 - 1,85 gr/cm ³ , gövde Ø: 630 mm, giriş Ø: 200 mm, üst çıkış: Ø 200 mm, alt çıkış: Ø 170 mm, eğim: 15°
Manyetik Seperatör	Ø: 0,76 m, L: 1,20 m, 2800 Gauss
Süzme Eleği	Boyut : 1,20 x 3,60 m, Elek açıklığı: 0,5 x 10 mm (nxL)
Yıkama Eleği	Boyut: 1,20 x 3,60 m, Elek açıklığı: 0,5 x 10 mm (nxL)

1.11. Çalışmanın Gerekçesi ve Amacı

Ülkemiz büyük kömür rezervlerine sahip olmasında rağmen bu rezervlerin çoğu düşük kaliteli, yüksek kül, nem ve kükürt içeriğine sahiptir. Kömürlerin gerek kalitesinin artırılması gerekse çevreye en az zarar verecek şekilde olmasını sağlamak için temizleme işlemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu bağlamda yaygın olarak ağır ortam temizlenmesi uygulanmaktadır.

Kömür yıkama tesislerin de ağır ortam ile temizlenmesinde manyetit yaygın olarak kullanılmaktadır. Kömür yıkama tesislerinde önemli miktarda ağır ortam malzemesi olarak kullanılan manyetit kaybının olduğu bildirilmiştir. Bu manyetit kayıplarının sebeplerinin irdelenmesi ve bu konuda çözüm yolu aranması kömür yıkama tesislerinin performanslarının artırılması ve işletme giderlerinin azaltılması bakımından önem arz etmektedir. Ayrıca demir-çelik endüstrisindeki gelişmelerle birlikte manyetite olana talebin giderek artması, manyetitin fiyatlarının artmasına neden olmuştur. Bu durum da manyetite alternatif olarak malzemelerin araştırılmasına yol açmıştır. Araştırmalar, maden atıklarının miktarının çok olması ve bu atıkların çevresel açıdan problemlere neden olmasından dolayı bu malzemelerin üzerine odaklanmıştır.

Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada,

- Eski Çelttek Kömür İşletmesi tesisinin performans değerlendirmesi ve tesiste meydana gelen manyetit kayıpları,
- Maden atığı olan pirit külü ve bakır curufunun ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışmalarda öncelikle bir ağır ortam tesisindeki manyetit kayıpları incelenmiş ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. Sonraki aşamada ise bakır curufu ve pirit külü atıklarının alternatif ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenerek ve tesiste denenerek performans değerlendirmesi yapılmıştır. İnceleme ve çalışmalar Amasya İl Özel İdaresine bağlı olarak çalışan Eski Çelttek Kömür İşletmesi Kömür Yıkama Tesisi'nde gerçekleştirilmiştir.

2.1. Örnek Alma ve Hazırlama İşlemleri

Bu çalışmada Eski Çelttek Kömür İşletmesinde gerçekleştirilen gerek tesiste kullanılan manyetit ve alternatif ağır ortam malzemesi olarak düşünülen pirit külü ve bakır curufu kullanılmıştır. Yapılan temizleme çalışmaları sırasında performans değerlendirmesi için manyetitle çalışmada tambur ağır ortam ayırıcısının, pirit külü ve bakır curufu ile çalışmada ise Drewboy ağır ortam ayırıcısının beslemesinden, yüzen üründen (Mikst) ve batan üründen (Şist) örnekler alınmıştır. Şekil 2.1'de tesisteki Drewboy ayırıcısında pirit külü ile zenginleştirme görülmektedir. Ayrıca tesiste meydana gelen manyetit kayıplarının incelenmesi için tambur ve Drewboy ayırıcı sonrasında süzme-yıkama eleklerinden duşlama öncesinde ve sonrasında örnekler alınmıştır. Tablo 2.1'de deneyler sırasında kullanılan örneklerin alındığı yerler ve gerekçeleri yer almaktadır.



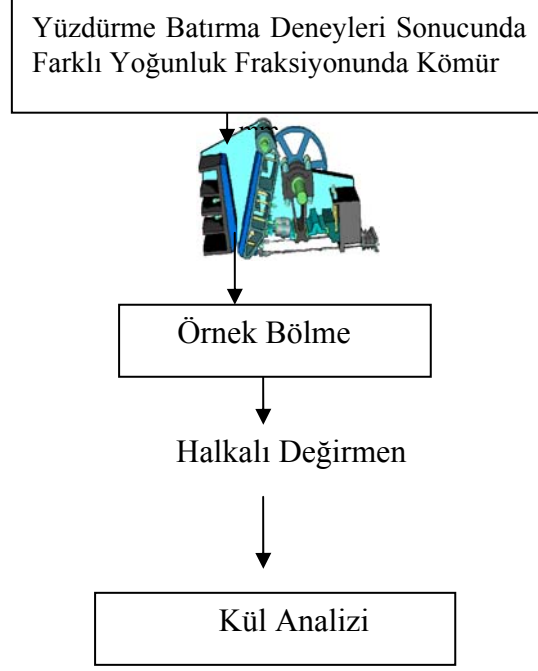
Şekil 2.1. Drewboy ayırıcısında pirit külü ile ağır ortam zenginleştirme

Tablo 2.1. Alınan örnekler ve gerekçeleri

Alınan Örnekler ve Alım noktaları				Gereçesi	
Ağır Ortam Malzemesi	Eski Çeltek Kömür İşletmesi	Manyetit		Karakterizasyon Analizleri İçin	
	Bandırma Sülfürik Asit Tesisi	Pirit Külü			
	Karadeniz Bakır İşlemesi İzabe Tesisi	Bakır Curufu			
Zenginleştirme Ünitesi Ürünü	Eski Çeltek Kömür İşletmesi	Manyetit ile Zenginleştirme	Tambur Ayırıcı	Besleme	Manyetit Kayıpları Yüzdürme-Batırma Testleri
				Yüzen (Mikst)	
			Batan (Şist)		
			Drewboy Ayırıcı	Besleme (Tambur Mikst)	
	Yüzen (Kömür)				
	Pirit Külü -Bakır Curufu ile Zenginleştirme	Drewboy Ayırıcı	Batan (Şist)	Besleme	
			Yüzen (Kömür)		
			Batan (Şist)		
Ağır Ortam Kazanım Ünitesi	Eski Çeltek Kömür İşletmesi	Ağır Ortam Zeng. Ünitesi	Tambur Ayırıcı	Süzme Eleği	Manyetit Kayıpları
				Yıkama Eleği	
		Drewboy Ayırıcı	Süzme Eleği		
			Yıkama Eleği		
	Manyetik Ayırıcı	Besleme (Yıkama Eleği)			
		Konsantre (Ağır Maye/Manyetit)			

Yüzdürme-batırma testleri sonucunda performans değerlendirmesinde gerekli eğrilerin çizilebilmesi için kül analizi yapılmıştır. Kül analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için farklı yoğunluk fraksiyonlarında yüzen ve batan şeklinde sınıflandıran iri boyuttaki kömür numuneleri önce çeneli kırıcı -4 mm altına incek şekilde kırılmıştır. Kırılan kömür numunelerinden örnek bölücüler yardımıyla temsili numune çekilmiştir. Sonrasında kül

analizlerine hazır hale getirilebilmesi için halkalı değirmende pudra haline getirilinceye kadar öğütülmüştür. Şekil 2.3'te deneyler sırasında kullanılan kırıcı, öğütücü ve bölücünün görülmektedir.



Şekil 2.2. Kül analizi için örnek hazırlama



Şekil 2.3. Deneylerde kullanılan örnek hazırlama ünitesi a) Çeneli Kırıcı, b) Merdaneli Kırıcı c) Örnek Bölücü

2.1.1. Manyetit

Eski Çeltek Kömür İşletmesi kömür yıkama tesisinde Sivas Divriği Manyetit zenginleştirme tesisinden manyetik zenginleştirme sonucu elde edilen manyetit kullanılmaktadır. Bu kullanılan manyetitin karakterizasyonun belirlenmesi için tesiste yerinde uygun numune alma yöntemiyle yaklaşık 30 kg numune alınmıştır. Alınan numuneden öncelikle konileme - dörtlleme yöntemiyle sonrasında da örnek bölücüler yardımıyla temsili örnekler çekilmiştir. Çekilen yaklaşık 1kg' lık numune 105°C de etüvde kurutularak analizler yapılmıştır.

2.1.2. Bakır Curufu

Eti Bakır İşletmeleri İzabe tesisinde konsantreden bakırın üretimi sırasında üretilen bakır curufları flotasyon işlemi ile temizlenmektedir. Bu tesiste yılda 150.000 ton flotasyon atığı çıkmakta ve bu atıklar Yeşilirmak deltasına bırakılmaktadır. Bu deltada yaklaşık 1,5-2 milyon ton atık birikmiştir (Tuğrul v.d., 2007, Alp v.d., 2008).

Bu flotasyon atığından uygun örnek alma yöntemiyle örnek alınmıştır ve tesisteki uygulama öncesinde malzemenin karakterizasyonun belirlenmesi için uygun yöntemlerle örnek azaltılarak 105°C' de kurutulmuştur ve analizler yapılmıştır.

2.1.3. Pirit Külü

Pirit külü sülfürik asit üretimi sırasında pirit konsantresinin akışkan yataklarda kavrulması sonucu atık olarak elde edilmektedir. Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletmesi Sülfürik Asit Fabrikasında uygulanan benzer süreç sonunda da önemli miktarlarda pirit külü atığı ortaya çıkmaktadır.

Bu atıktan uygun örnek alım yöntemiyle numune alınmıştır. Fakat tesisteki uygulama öncesinde malzemenin karakterizasyonun belirlenmesi için uygun yöntemlerle örnek azaltılarak 105°C' de kurutulmuştur ve analiz işlemler yapılmıştır.

2.2. Yöntem

Eski Çelttek Kömür İşletmesi yıkama tesisinin Tambur ve Drewboy ağır ortam ayırıcı ile elde edilen yüzen ve batan malzemelerden alınan örneklere yüzdürme batırma testleri uygulanmıştır.

Kömürlerin yıkanmaya uygun olup olmadıkları kömürün yıkanabilirlik verilerinin çıkarılması amacıyla yüzdürme batırma testleri TS 3037 (2003) ve TS 1824 (2003) standartları doğrultusunda deney düzeneği kurularak ağır ortam olarak da $ZnCl_2$ kullanılarak yapılmıştır.

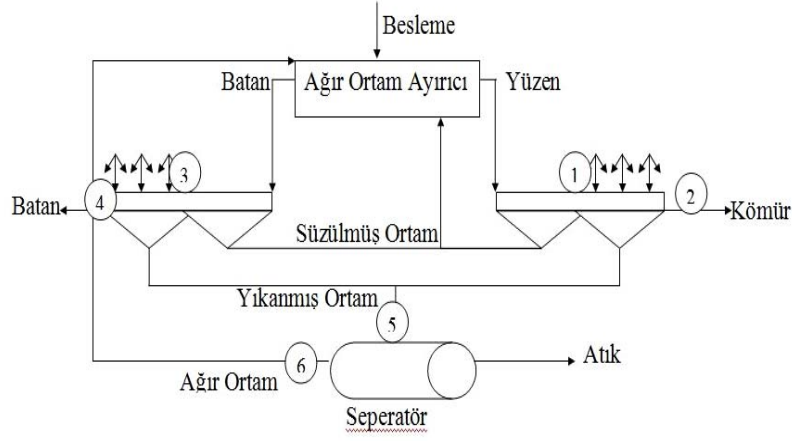
Yüzdürme batırma testleri yanı sıra manyetit kayıplarının belirlenmesi için tesiste yıkama-süzme eleklerinden alınan numuneler ve manyetik ayırıcıdan alınan numuneler için yaş yöntemle yüksek alan şiddetli mıknatıs ile manyetit ve kömür tozları birbirinden ayrılarak kayıp oranı belirlenmiştir.

2.2.1. Tesis Ağır Ortam Kayıplarının İncelenmesi

İlk olarak tesiste kullanılan manyetitin özellikleri araştırılarak kullanım için gerekli özellikleri taşıyıp taşımadığı araştırılmıştır. Bunun için tesiste kullanılan manyetitten yeterli miktarda örnek alınmıştır. Gerekli karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. İkinci aşamada; ağır ortam ayırması sonrası süzme ve yıkama işlemlerinin performansı araştırılarak yüzen ve batan ürünlerle manyetit kaybının miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için her bir ağır ortam ayırıcısının (tambur ve siklon) yüzen ve batan ürünlerine ait yıkama/süzme eleklerinden duşlama öncesi ve duşlama sonrasında örnekler toplanmıştır (Şekil 2.4). Alınan örnekler, ufalanmaya neden olmayacak şekilde yıkanmış ve yıkama suyu içinde bir arada bulunan toz kömür ve manyetit tanelerinin birbirinden ayrılması için yüksek alan şiddetli mıknatıs yardımıyla yaş yöntemle ayırım gerçekleştirilmiştir. Yaş ayırma sonucu elde edilen manyetit ve toz kömür $105^{\circ}C$ 'de etüvde kurutularak tartılmıştır ve % kayıp hesaplamaları yapılmıştır.

Son olarak manyetik ayırıcıların çalışma performanslarını değerlendirmek için manyetik ayırıcı beslemesi ve konsantresinden örnekler alınmıştır. Bu ürünlerin katı içerikleri ve manyetit içerikleri, yaş yöntemle yüksek alan şiddetli bir mıknatıs ile belirlenerek ayırıcıların ayırma etkinlikleri ve sebep oldukları manyetit kayıpları

belirlenmeye çalışılmıştır. Bu aşamada manyetitın geri kazanımında uygulanan devrenin tasarımını literatür verileriyle tekrar gözden geçirilmiştir.



Şekil 2.4 Manyetit kayıplarının belirlenmesi için ağır ortam devresi örnek noktaları

2.2.2. Malzeme Karakterizasyonu ve Analizleri

Ağır ortam malzemesi olarak kullanılan manyetitın ve alternatif ağır ortam malzemesi olarak kullanılması araştırılan pirit külü ve bakır curufunun içerisindeki mineral dağılımını belirlemek için yaş kimyasal analiz ve mineralojik incelemeler (X-ışınları kırınımı (XRD) ve mikroskopik inceleme) yapılmıştır. Tane boyut dağılımı, ağır ortam malzemesinin manyetik duyarlılığı ve numuneler içerisindeki manyetit oranı belirlenmiştir. Ayrıca numunenin farklı yoğunluklarda ($1,3-1,8 \text{ g/cm}^3$) farklı zamana (30- 180 sn.) göre çökme grafikleri çizilerek serbest çökme hızları hesaplanmıştır.

2.2.2.1. Kimyasal Analizler

Örnek içerisindeki mineral dağılımını belirlemek için ACME Laboratuvarlarında, yaş kimyasal analiz ICP-MS ile gerçekleştirilmiş olup bu analiz sonucunda malzemelerin içindeki elementlerin tayini yüzde olarak belirlenmiştir.

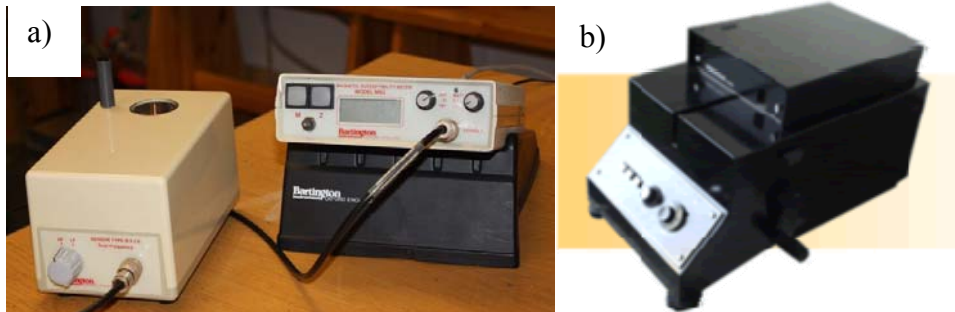
2.2.2.2. Mineralojik Analizler

Mineralojik incelemeler X-ışınları kırınımı cihazı (XRD) ve mikroskop yardımıyla yapılmıştır. XRD incelemeleri Rigaku Geigerflex cihazı ile ($2\theta=5-65^\circ$) gerçekleştirilmiştir. Mikroskopik incelemeler ise; alınan örneklerden parlak kesitlerin hazırlanması, Leitz Wetzlar Ortholux yansıtımlı cevher mikroskobu ile incelenmesi ve Nikon Coolpix 5400 (5MP, NCD lens) dijital fotoğraf makinesi ile fotoğraflanması şeklinde gerçekleşmiştir.

2.2.2.3. Manyetik Özelliklerin Analizleri

Ağır ortam malzemesinin manyetik duyarlılığı Bartington MS2B cihazı ile belirlenmiştir. Manyetik duyarlılık analizi için ölçümün gerçekleştirileceği bölemeye 10 gr saf su ile kalibrasyon yapılmıştır. Sonrasında ölçülmesi istenilen numuneden su kalibrasyon hizasına kadar numune konulmuş ve tartımı alınmıştır. Tartılan numune cihazın numune koyma bölümüne yerleştirerek ölçüm, yüksek ve düşük frekanslarda yapılarak ortalamaları alınmıştır. Hesaplamalar, ağırlık ve hacimsel dönüşümleri yapılarak gerçekleştirilmektedir.

Satmagan cihazı ile numuneler içerisindeki manyetit oranı belirlenmiştir. Satmagan cihazı, manyetik alan içerisinde yer alan manyetik materyalin kütledeki yön değiştirmeyi ölçer. Numuneden belli mesafede yer alan mıknatısa numune maruz kaldığı zaman belirli manyetit miktarının duyarlılığı cam tüp içerisindeki yön saptırıcı gösterge tarafından ölçülerek belirlenir (Mikhail v.d., 1990).



Şekil 2.5. Deneylerde kullanılan Bartington MS2B (a) ve Satmagan (b) cihazının görünümü

2.2.2.4. Tane Boyut Dağılımı Analizleri

Tane boyut dağılımı Malvern Mastersizer (Hidro MU2000) kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 2.6). Bu cihaz lazer kırınım yöntemiyle tane boyutu belirlemektedir. Genellikle bir lazer ünitesi, örnek hazırlama ünitesi ve bilgisayar olmak üzere üç ana parçadan meydana gelmektedir. Lazer ünitesinde, tek-renkli, yoğun ve paralel ışınlar üretmek için bir lazer kaynağı (genellikle He-Ne lazeri), ışın genişletici, ölçüm hücresi, Fourier merceği ve dedektör bulunmaktadır. Örnek hazırlama ünitesinde, mekanik karıştırıcı, santrifüjlü pompa ve ultrasonik enerji uygulama özellikleri bulunmaktadır. Analiz süresince çalışır durumda tutulan ultrasonik enerji sayesinde topakların dağıtılması, mekanik karıştırıcı sayesinde süspansiyonun analiz boyunca homojen kalması ve pompa sayesinde süspansiyonun lazer ışınlarının önüne pompalanması sağlanmaktadır. Bilgisayar ise, lazer kırınım cihazını kontrol etmek ve analiz sonuçlarını değerlendirmek için kullanılmaktadır.

Örnek haznesinin içerisinde yaklaşık 1 litre suyla karışmış halde bulunan örnek, lazer ışınlarının önüne pompalanarak sürekli dolaşım yapması sağlanmaktadır. Bu sırada, zemin tanelerine çarparak belli açılarla kırılan lazer ışınları, Fourier merceğinden geçip, detektörün üzerine odaklanmaktadır. Detektörün üzerine düşen ışınlar bilgisayara bağlı analog-dijital dönüştürücü vasıtasıyla aynı anda sayısallaştırılarak bilgisayara aktarılmakta ve özel bir yazılım vasıtasıyla ışınların kırılma açısından tane büyüklüğü, yoğunluğundan ise hacimce tane yüzdeleri hesaplanmaktadır. Tanelerin büyüklüğüyle, tanelere çarparak kırılan ışınların kırılma açısı arasında ters orantı ilişkisi bulunmaktadır. Büyük taneler ışınları küçük açıyla, küçük taneler ise daha büyük bir açıyla kırarlar. Elektromanyetik kurama dayanan bu ilkedен yararlanılarak tane büyüklüğü ve dağılımı belirlenmektedir (Özer ve Orhan, 2007). Manyetizasyon ve de-manyetizasyon sonrası tane boyutu dağılımları incelenerek değişimler araştırılmıştır. De-manyetize işlemi de manyetize bobini ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.6. Tane boyut analizlerinde kullanılan Mastersizer 2000 MU cihazının görünümü

2.2.2.5. Sedimantasyon Analizleri

Tesiste kullanılan manyetit kullanıldığı durumda, de-manyetize edildikten sonra ve manyetikleştirildikten sonraki çökme davranışı çökme test metodu ile 1,68 gr/cm³ yoğunluklu ortam için yapılmıştır. Ayrıca manyetit, pirit külü ve bakır curufu için kullanıldığı durumdaki çökme hızlarının belirlenmesi için farklı yoğunluklarda (1,3-1,8 gr/cm³) farklı zamana (30-180 sn.) göre çökme grafikleri çizilerek serbest çökme hızları hesaplanmıştır. Çökme hızlarının belirlenmesi için 50 ml' lik mezür içersine belirlenen yoğunlukta pulp hazırlanıp iyice çalkalandıktan sonra belirli süredeki çökme mesafesi belirlenerek buradan çökme hızlarına gidilmiştir.

2.2.2.6. Yoğunluk Analizi

TSE 10450 (1992)' ye göre; yoğunluk tayini yapılmıştır. Bu standarda göre uygun yoğunluk şişesi ve uygun deney sıvısı kullanılarak, kütlesi bilinen numunenin hacmi tayin edilir. Tayinler oda sıcaklığında ve paralel ölçüm şeklinde gerçekleştirilmiştir. 50 ml'lik iki adet yoğunluk şişesi alınarak tartılır (m_1). Sonrasında yoğunluk şişesi içersine yaklaşık 15 gr numune konularak tartımı alınır (m_2). Sonra yoğunluk şişesi doluncaya kadar saf su ilavesi yapılır bu işlem yapılırken arada havasının alınması için vakum yapılır. İşlem bittikten sonra numune + su + yoğunluk şişesi tartımları alınır (m_3). Sonrasında kalibrasyon için saf su + yoğunluk şişesi ağırlığı tartılır (m_4). Son olarak da yoğunluk hesaplaması yapılır.

$$\text{Yoğunluk} : (m_2 - m_1) / [(m_2 - m_1) - (m_3 - m_4)] \times 100$$

2.2.2.7. Nem Analizi

TSE 10450 (1992)' ye göre nem tayini yapılmıştır. Bu standarda göre öncelikle numunenin konulacağı tepsi ağırlığı tartılır (m_1), sonra yaklaşık 100 gr alınan numune konularak numune + tepsi ağırlığı (m_2) tartılır.

Havada kuru nemini belirlemek için oda sıcaklığında kurutulan numune için tepsi + numune ağırlığı tartılır (m_3) ve havada kurutulduktan sonra;

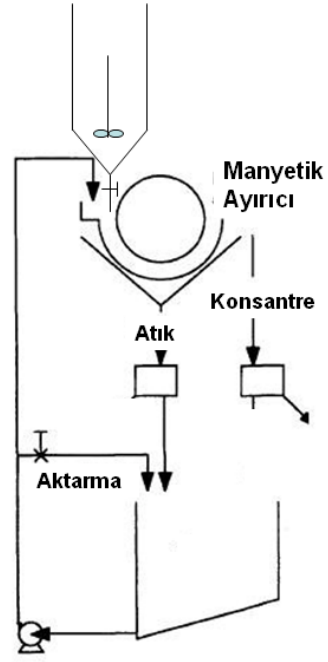
$$\text{Serbest Nem (S)} = [(m_2 - m_3) / (m_2 - m_1)] \times 100$$

Sonrasında numune 105 °C de etüvde kurutulur kuru numune + tepsi ağırlığı tartılır (m_4),

$$\text{Kuru Nem} = [(m_2 - m_4) / (m_2 - m_1)] \times 100 \text{ olarak hesaplanır.}$$

2.2.3. Ağır Ortam Malzemeleri Manyetik Kazanım Testleri

Ağır ortam olarak kullanılacak malzemelerden işletme maliyet açısından önemli olan geri kazanılabilirliğinin incelenmesi açısından tesiste ağır ortama malzemesi olarak denenmiş olan manyetit, pirit külü ve bakır curufu düşük alan şiddetli manyetik ayırıcıya beslenmiştir. Manyetik ayırma sonucu elde edilen atık ve konsantre malzemeleri etüvde kurutulur tartılmıştır ve kazanım verimi değerlendirilmiştir. Bu ayırıcının aktarma kısmı iptal edilerek ayırıcının üst kısmına besleme haznesi ilave edilmiştir. Bunun nedeni malzemenin aktarma sırasında manyetize olmasını engellemektir. Çalışmalar sırasında kullanılan manyetik ayırıcı Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Deneysel olarak kullanılan düşük alan şiddetli manyetik ayırıcı ve çalışma sistemi

2.2.4. Ağır Ortam Malzemelerinin Tesis Performans Testleri

Ağır ortam malzemelerinin tesis performanslarının hem manyetit hem de maden atıkları olan bakır curufu ve pirit külünün alternatif ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Şekil 2.8’de deneyler sırasında kullanılan malzemeler görülmektedir.

Bu malzemelerin ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliğini test etmek için bu tesislerden temin edilen numuneler Eski Çeltik Kömür İşletmesinde Drewboy ayırıcı devresinde 1,7 yoğunluğunda ayırım gerçekleştirilecek şekilde deneme zenginleştirilmesi yapılmıştır. Pirit külü numunesi tesis denemeleri sırasında kahverengi renktedir fakat daha önceden inceleme amacıyla talep edilen pirit külü numunesi siyah renkte gelmiştir. Bu da üretim sırasında çıkan atığın farklılık gösterebildiğini göstermektedir. Bu nedenden dolayı çalışmalar sırasında iki numunenin de özellikleri incelenmiştir.



Şekil 2.8. Deneylede kullanılan ağır ortam malzemeleri

2.2.5. Performans Testlerinin Değerlendirme Yöntemi

Eski Çelttek Kömür İşletmesi'nde manyetitın ağır ortam olarak kullanıldığı durumda tambur ve Drewboy ağır ortam ayırıcısının, maden atıkları olan pirit külü ve bakır curufunun kullanıldığı durumda ise Drewboy ağır ortam ayırıcısının besleme, lave ve atığından numuneler alınmıştır. Alınan bu numuneler üzerine farklı yoğunluklarda (1,4; 1,6; 1,8; 2 gr /cm³) gerçekleştirilmiş olan yüzdürme batırma testleri sonucunda performans değerlendirmesi yapılmıştır. Yüzdürme-batırma eğrisi, tromp eğrisi, hatalı ayrılmış malzeme eğrisi çizilmiştir.

Tesiste ayırma yoğunluğu 1,8 olan tambur ağır ortam ayırıcısı ve ayırma yoğunluğu 1,7 olan Drewboy ağır ortam ayırıcısı ile, tüvenan kömürden üretilebilecek temiz kömür miktarını ve yıkama işleminde oluşabilecek performansın tahminini yapabilmek için çinkoklorür (ZnCl₂) ile hazırlanan farklı yoğunluklarda (1,4; 1,6; 1,8; 2 gr /cm³) gerçekleştirilmiş olan yüzdürme batırma testleri yapılmıştır. Yüzdürme- batırma deneylerine başlamadan önce kömürün ufalanmasına izin vermeden kömür üzerindeki ince boyutlu kömür taneleri farklı yoğunluklarda hazırlanmış olan ağır ortamın yoğunluğunu etkilememesi için yıkanılmıştır. Yüzdürme batırma deneyleri hazırlanan ağır ortamın yoğunluklarının ayarlanması için yoğunluk-ölçerler kullanılmıştır. Deneyler sırasında düşük yoğunluktan başlayarak yüzen numuneler ayrılmıştır ve batan numuneler bir sonraki üst yoğunluğa aktarılacak şekilde yapılmıştır. Her numune için ağır ortam yoğunluğunda

gerçekleşebilecek olası yoğunluk değişimlerini en aza indirmek için yoğunluk kontrolleri yapılmıştır ve tekrardan yoğunlukları ayarlanmıştır. Her yoğunluk fraksiyonuna ait yüzen ve en sonunda yüksek yoğunluktan elde edilen numuneler yıkanıp kömür taneleri üzerine yapılmış olan çinko-klorür uzaklaştırılmıştır. Elde edilen örnekler kurutma ve tartım sonrasında kül analizi gerçekleştirilmiştir. Kül analizlerinin sonucunda yüzdürme-batırma eğrisi, tromp eğrisi, hatalı ayrılmış malzeme eğrisi ve mayer eğrisi çizilerek performans değerlendirmesi yapılmıştır. Deneyler standarda uyumlu bir şekilde yapılmış olup literatür bilgilerinden de yararlanılarak değerlendirilmiştir.

2.2.6. Kül Analizleri

Yüzdürme-Batırma deneylerden elde edilen örnekler kurutulduktan sonra önce çeneli kırıcı ile 4 mm altına indirilmiştir. Boyut küçültme işlemine tabi tutulan numuneden örnek bölücüler yardımıyla temsili numune çekilmiştir ve sonrasında halkalı değirmende öğütülmüştür. Öğütülen numune kül analizi için hazır hale gelmiştir. Kül analizi standardına göre yapılmıştır (TSE ISO 1171, 2006). Öncelikle 815°C de kayık krozelere sabit tartıma getirilmiş ve tartımları alınmıştır (m_1). Kayık krozelere yaklaşık numuneden 1 gr alınarak krozelere konulmuştur ve kroze+numune ağırlıkları alınmıştır (m_2). Tartımları alınan numune etüvde 1 saat 105°C nemi alınmak üzere bekletilmiştir. Nemi alınan numune nem almaması için desikatörde yarım saat bekletilmiş ve sonrasında tartımı alınarak numunelerin nem içerikleri belirlenmiştir. Sonra olarak da numuneler Nabertherm C290 kül fırınında kademeli olarak (2 saatte 750°C' ye çıkarılır, 750° de 3,50 saat bekletilir ve 1,50 saatte soğutmaya bırakılır) ısıtılmıştır ve kül elde edilmiştir. Elde edilen kül+kroze ağırlıkları belirlenmeden önce nem almaması için desikatörde yarım saat soğumaya bırakılmıştır sonrasında desikatörden çıkarılıp hassas terazide tartımları alınarak (m_3) kül yüzdesi hesaplanmıştır.

$$\%Kül: [(m_3-m_1) / (m_2-m_1)] \times 100$$



Şekil 2.9. Kül Analiz Ünitesi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Ağır Ortam Malzemelerinin Karakterizasyonu

3.1.1. Kimyasal ve Mineralojik Özellikler

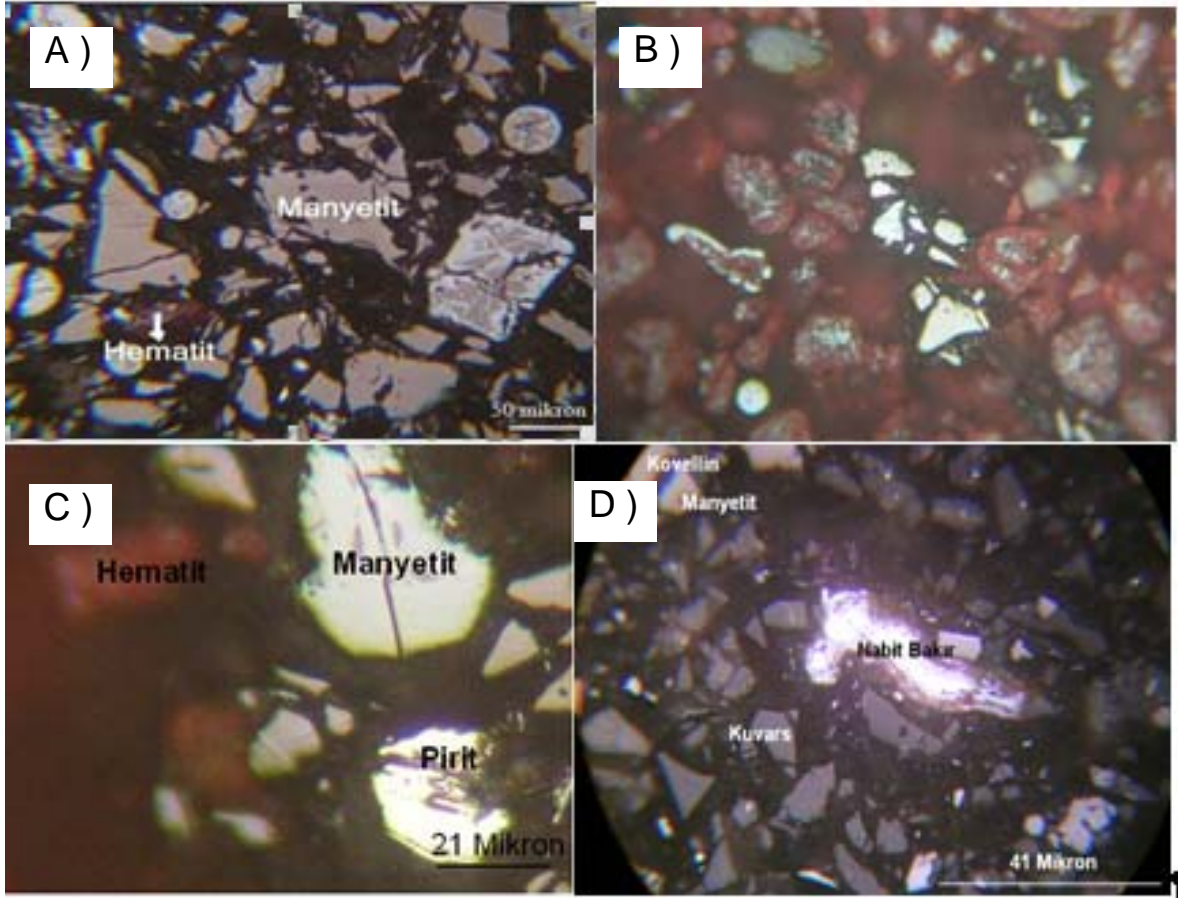
Tesiste ağır ortam malzemesi olarak kullanılan manyetit; %89,64 Fe₂O₃, %9,11 SiO₂ ve %1,32 CaO içermektedir (Tablo 3.1). Mikroskopik inceleme yardımıyla yapılan mineralojik tayinde çoğunlukla olan manyetit tanelerinin yanında az miktarda hematit tanelerinin de bulunduğu belirlenmiştir. Kuvars taneleri nadir olarak serbest olarak gözlemlenmiştir (Şekil 3.1). XRD sonuçları incelendiğinde malzemenin büyük oranda manyetit, az miktarda hematit ve çok az miktarda kuvarstan oluştuğu görülmektedir (Şekil 3.2.a). Bu sonuçlar analiz değerlerini ve mikroskop tanımlarını doğrulamaktadır. Elde edilen bu bulgulara göre malzemenin belli bir kısmını oluşturan kuvarsin serbestleşmiş olarak bulunan kısmının geri kazanılamayacağı açıktır. Malzeme içerisinde bulunan hematitin özgül (kütle) manyetik alınganlığının (0,5-3,8 10⁻⁶ m³.kg⁻¹) manyetite göre çok düşük olması ise geri kazanım devresinde olası ilave kayıplara sebep olabilecektir.

Tablo 3.1 Ağır ortam malzemesi olarak kullanılan malzemelerin yaş kimyasal analiz sonuçları

Bileşen	Divriği Manyetit	Kahve Pirit külü	Siyah Pirit külü	Bakır Curufu
Fe ₂ O ₃	89,64	84,68	86,50	59,08
SiO ₂	9,11	5,78	6,71	30,60
Al ₂ O ₃	<0,25	1,67	1,91	2,96
CaO	1,32	0,95	0,59	0,66
MgO	0,02	0,66	0,48	0,92
SO ₃	<0,25	2,65	1,38	1,01
Kız. Kaybı	<0,10	2,99		

Kahverengi pirit külü %84,68 Fe₂O₃, %5,78 SiO₂ ve %1,67 Al₂O₃ içermektedir (Tablo 3.1). Mikroskopik inceleme yardımıyla yapılan mineralojik tayinde hematit tanelerinin ağırlıklı olduğu bunun yanı sıra manyetit tanelerinin varlığı belirlenmiştir. Pirit ve kuvars taneleri nadir olarak serbest olarak gözlemlenmiştir (Şekil 3.1). XRD sonuçları incelendiğinde malzemenin büyük oranda hematit, az miktarda manyetit ve, çok az

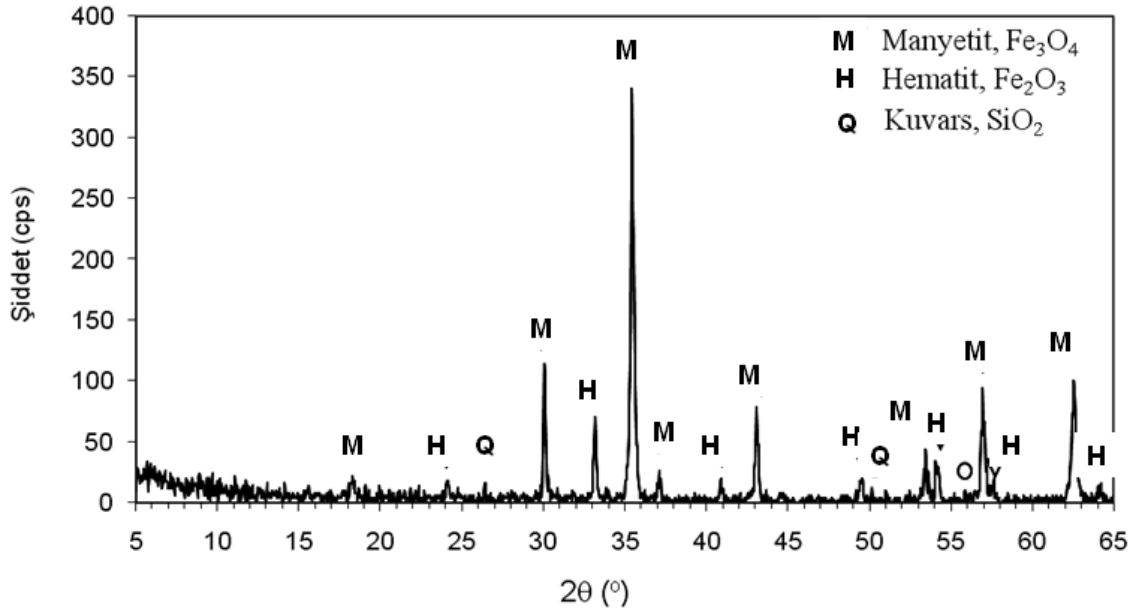
miktarda kuvars ve piritten oluştuğu görülmektedir (Şekil 3.2.b). Bu sonuçlar analiz değerlerini ve mikroskop tanımlarını doğrulamaktadır. Elde edilen bu bulgulara göre malzemenin belli bir kısmını oluşturan kuvars ve piritin serbestleşmiş olarak bulunan kısmının kazanılamayacağı açıktır. Malzeme içinde bol miktarda yer alan hematitin manyetik duyarlılığı ($0,5-3,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) manyetitte ($452-685 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) göre oldukça düşük olmasından dolayı geri kazanım devresinde büyük miktarda ağır ortam kayıplarına neden olacaktır.



Şekil 3.1. Ağır ortam malzemesi olarak kullanılan manyetit (a), pirit külü (kahverengi) (b) pirit külü (siyah) (c) ve bakır curufu (d) örneklerinin cevher mikroskobunda görünümü

Bakır curufu %59,08 Fe_2O_3 , %30,60 SiO_2 ve %2,96 Al_2O_3 içermektedir (Tablo 3.1). Mikroskobik inceleme yardımıyla yapılan mineralojik tayinde manyetit ve kuvars tanelerinin ağırlıklı olduğu bunun yanı sıra nabit bakır ve kovellin tanelerinin varlığı belirlenmiştir. Nabit bakır ve kovellin taneleri nadir olarak serbest olarak gözlemlenmiştir

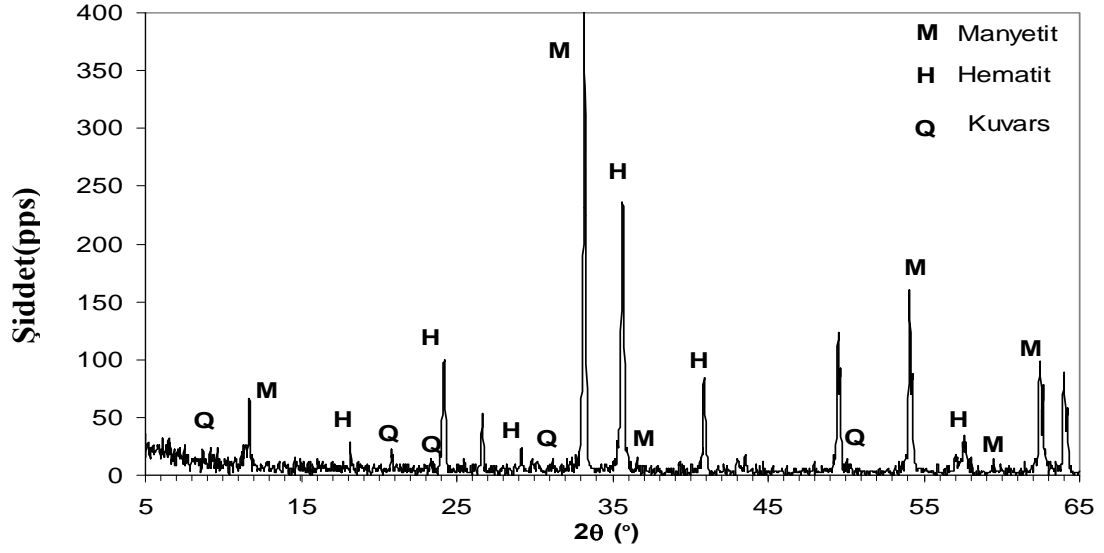
(Şekil 3.1). XRD sonuçları incelendiğinde malzemenin büyük oranda manyetit, fayalit kuvars görülmektedir (Şekil 3.2.d). Bu sonuçlar analiz değerlerini ve mikroskop tanımlarını doğrulamaktadır. Elde edilen bu bulgulara göre malzeme içinde yer alan manyetit miktarının çok olmamasından dolayı geri kazanım devresinde verimli bir kazanım gerçekleşmeyebilir.



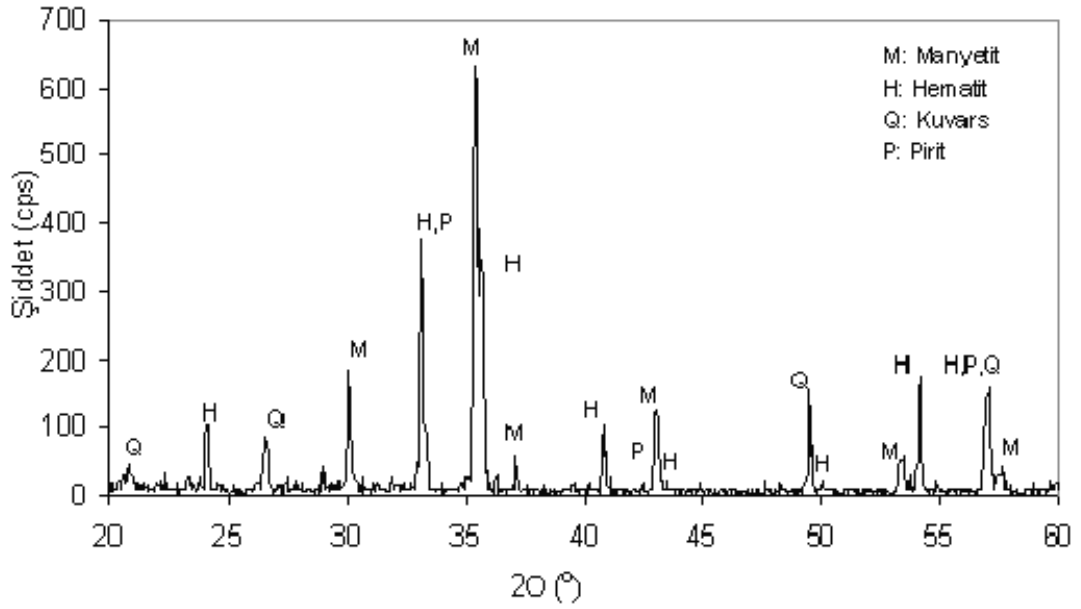
Şekil 3.2.a. Manyetit örneklerinin XRD değerlendirme grafiği

Siyah pirit külü %86,50 Fe_2O_3 , %6,71 SiO_2 ve %1,91 Al_2O_3 içermektedir (Tablo 3.1). Mikroskopik inceleme yardımıyla yapılan mineralojik tayinde hematit tanelerinin ağırlıklı olduğu bunun yanı sıra manyetit tanelerinin varlığı belirlenmiştir. Pirit ve kuvars taneleri nadir olarak serbest olarak gözlemlenmiştir (Şekil 3.1). XRD sonuçları incelendiğinde malzemenin büyük oranda hematit ve manyetit, çok az miktarda kuvars ve piritten oluştuğu görülmektedir (Şekil 3.2.c). Bu sonuçlar analiz değerlerini ve mikroskop tanımlarını doğrulamaktadır. Elde edilen bu bulgulara göre malzeme içinde bol miktarda yer alan hematitin manyetik duyarlılığı ($0,5-3,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) manyetite ($452-685 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) göre oldukça düşük olduğundan geri kazanım devresinde büyük miktarda ağır ortam kayıplarına neden olacaktır. Fakat gerek mineralojik sonucu gerekse kimyasal analizler sonucunda görülüyor ki siyah pirit külü içerisindeki manyetit oranı kahverengi

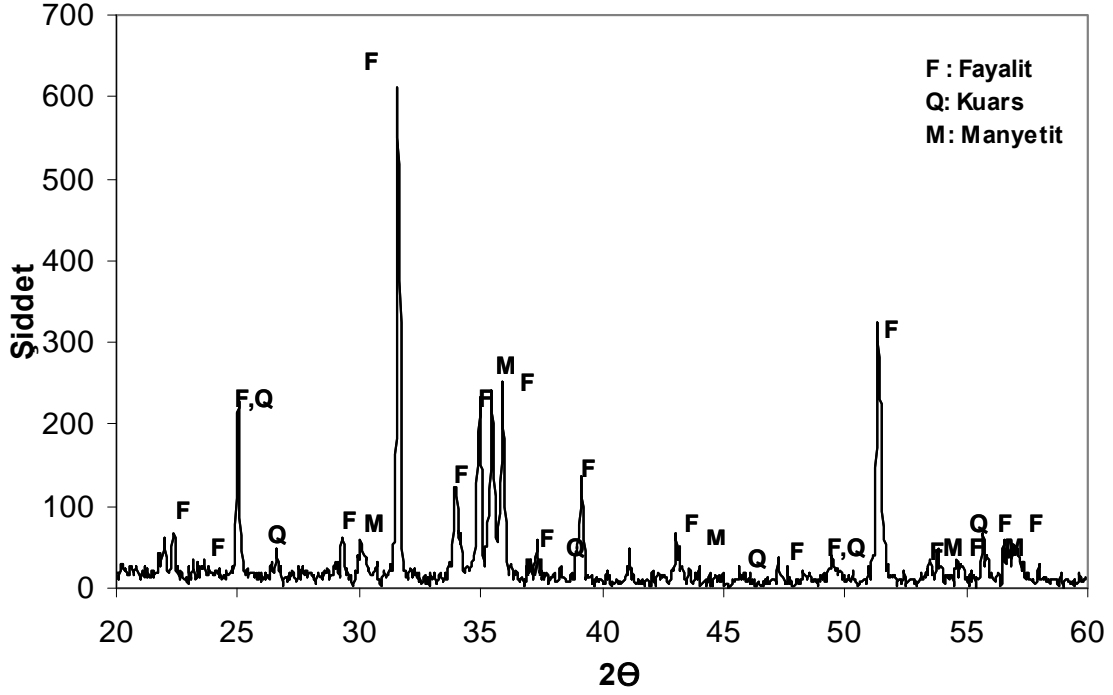
pirit külü nazaran daha fazladır ve sonuç olarak kahverengi pirit külüne göre daha az kayıplara neden olacaktır.



Şekil 3.2.b. Kahverengi pirit külü örneklerinin XRD değerlendirme grafiği



Şekil 3.2.c. Siyah pirit külü örneklerinin XRD değerlendirme grafiği



Şekil 3.2.d. Bakır curufu örneklerinin XRD değerlendirme grafiği

3.1.2. Tane Boyut Dağılım Özellikleri

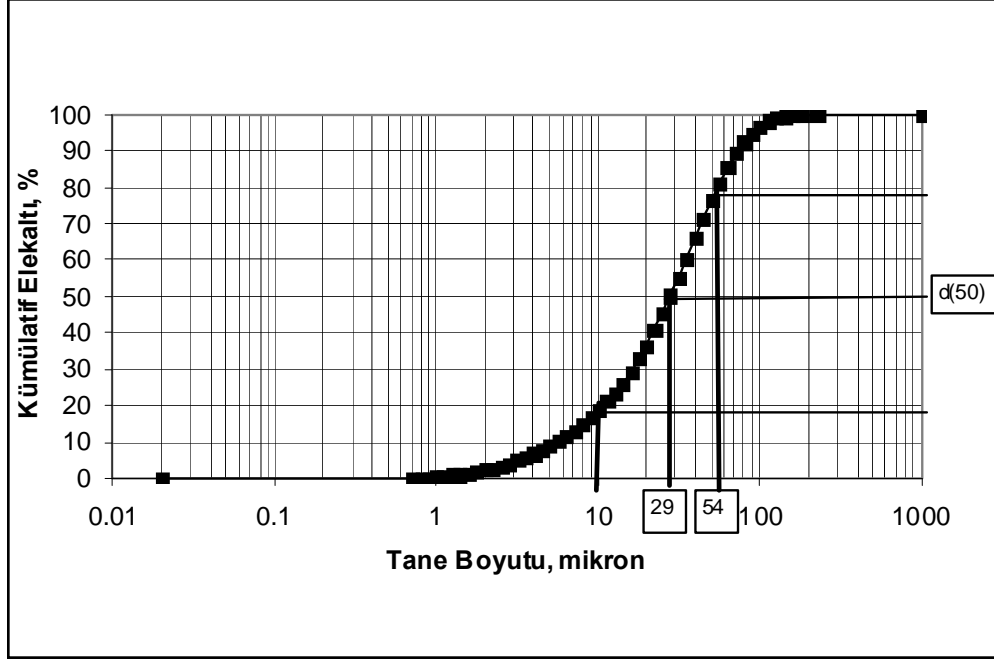
Ağır ortam malzemesi olarak kullanılan manyetit'in ortalama tane boyutu 29 mikron olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3.a). 54 μm 'den iri malzeme oranı %18 değerinde olup istenen özellikler göre (maks %5) daha yüksek orandadır. 10 μm 'den daha ince malzeme miktarı ise %20 değeri ile istenen özelliklere (maks. %30) uygun görülmektedir (Tablo 3.2).

Kahverengi pirit külünün ortalama tane boyutu 35 mikron olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3.b). 54 mikrondan iri malzeme oranı %20 olup bu değer istenen özellikten (maks %5) daha yüksektir. 10 mikrondan daha ince malzeme miktarı ise %12 olup istenen özelliklere (maks. %30) uygun olduğu görülmektedir (Tablo 3.2).

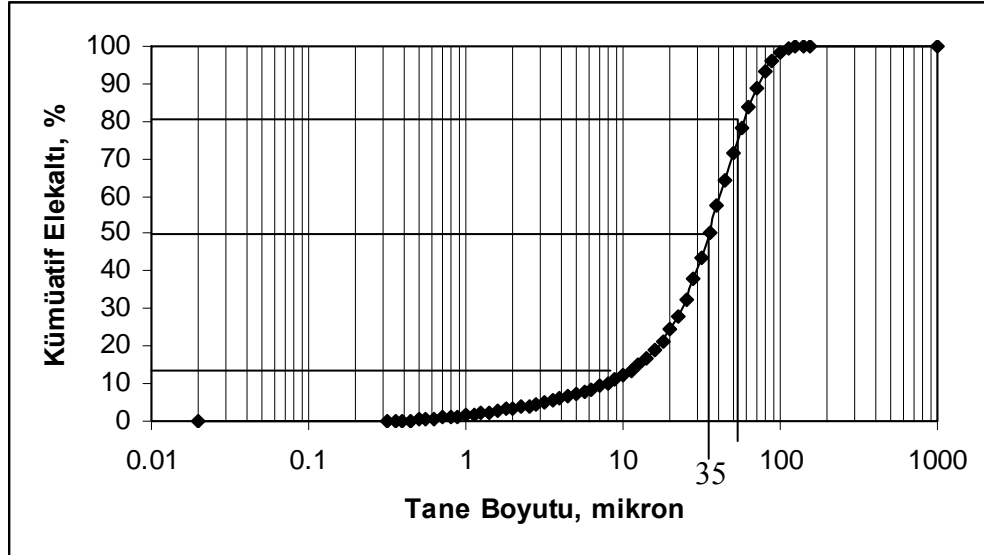
Siyah pirit külünün ortalama tane boyutu 36 mikron olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3.c). 54 mikrondan iri malzeme oranı %26 olup bu değer istenen özelliklere göre (maks %5) daha yüksek orandadır. 10 mikrondan daha ince malzeme miktarı ise %18 olup istenen özelliklere (maks. %30) uygun görülmektedir (Tablo 3.2).

Bakır curufunun ortalama tane boyutu 39 mikron olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3.d). 54 mikrondan iri malzeme oranı %33 olup bu değer istenen özelliklere göre (maks %5) çok

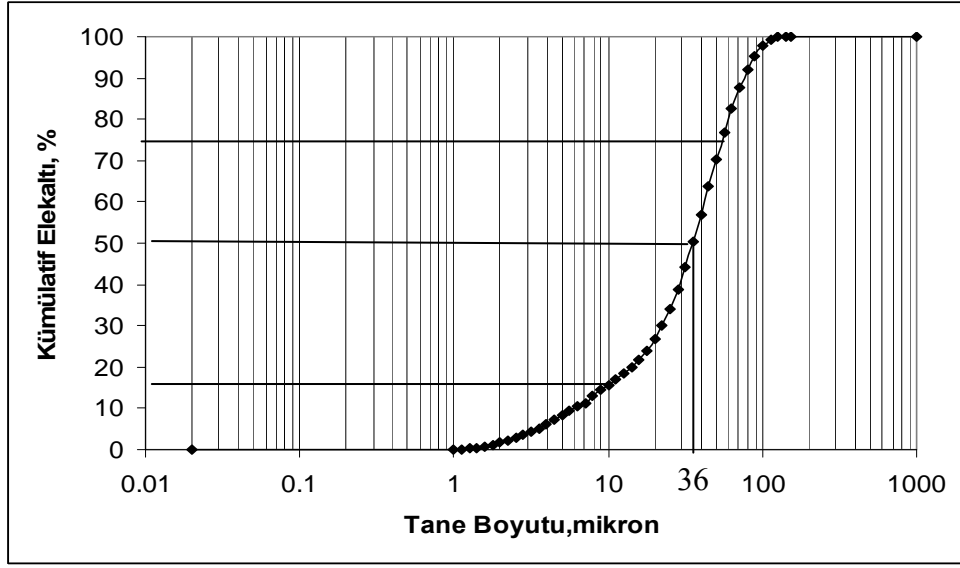
yüksek orandadır. 10 mikrondan daha ince malzeme miktarı ise %13 olup istenen özelliklere (maks. %30) uygun görülmektedir (Tablo 3.2).



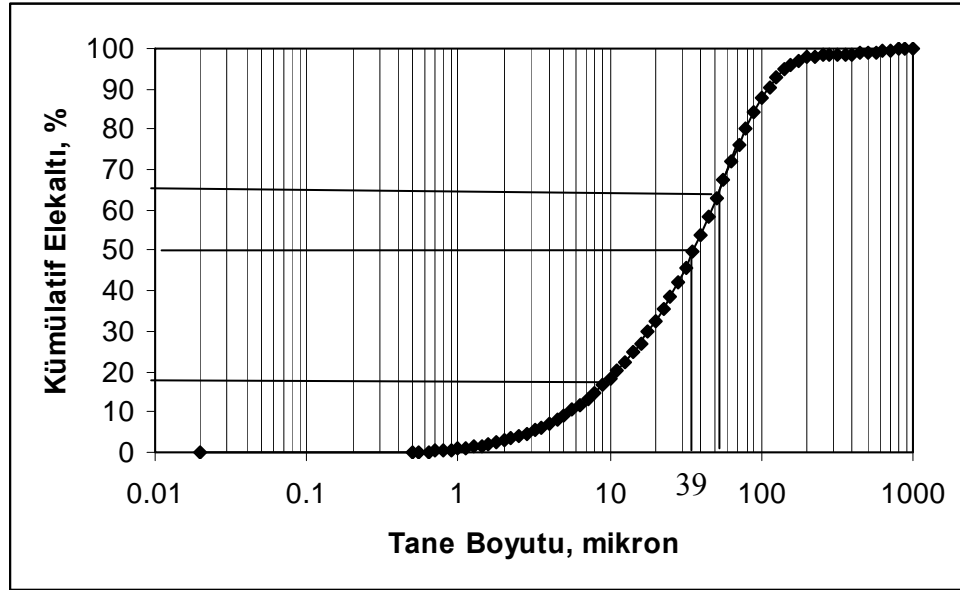
Şekil 3.3. a) Manyetitin tane boyut dağılımı



Şekil 3.3. b) Kahverengi pirit külünün tane boyut dağılımı



Şekil 3.3. c) Siyah pirit külünün tane boyut dağılımı



Şekil 3.3. d) Bakır curufunun tane boyut dağılımı

Tablo 3.2 Ağır ortam malzemelerinin tane boyut dağılımlarında aranan özellikler ve bulgular

Parametre	Standart	Manyetit	Pirit külü kahverengi	Pirit külü siyah	Bakır curufu
54 μm büyük, %	≤ 5	18	20	26	35
10 μm küçük, %	≤ 30	20	12	18	18

3.1.3. Manyetik Özellikleri

Manyetit numunesinde manyetik malzeme miktarı %99,45 olarak bulunmuştur. Bu değer istenen (min. %95)'in üzerindedir. Ayrıca Satmagan cihazı ile numune içerisindeki manyetit oranı 70,26 olarak belirlenmiştir. Yaş kimyasal analiz sonucu Fe_2O_3 oranı 89,64 bulunmuştur. Bu bulgu; kimyasal ve mineralojik analizlerde belirlenen kuvarsın serbestleşmemiş taneler halinde bulunduğunu göstermektedir. Örneğin manyetik duyarlılığı $437 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür ve manyetit için genel duyarlılık ($452-685 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) aralığından düşük çıkmıştır (Tablo 3.3).

Satmagan cihazı ile kahverengi pirit külü numunesi içerisindeki manyetit oranı %31 olarak belirlenmiştir. Yaş kimyasal analiz sonucu Fe_2O_3 oranı 84,68 bulunmuştur ki bu da malzeme içerisinde; kimyasal ve mineralojik analizlerde belirlenen hematit tanelerinin fazla bulunduğunu göstermektedir. Örneğin manyetik duyarlılığı $173-174.1 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür ve manyetit için genel duyarlılık ($452-685 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) aralığından düşük çıkmıştır (Tablo 3.3).

Satmagan cihazı ile siyah pirit külü numunesi içerisindeki manyetit oranı %31 olarak belirlenmiştir. Yaş kimyasal analiz sonucu Fe_2O_3 oranı 86,50 bulunmuştur ki buda malzeme içerisinde; kimyasal ve mineralojik analizlerde belirlenen hematit tanelerinin fazla bulunduğunu göstermektedir. Örneğin manyetik duyarlılığı $263.2-254.1 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür ve manyetit için genel duyarlılık ($452-685 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) aralığından düşük çıkmıştır (Tablo 3.3).

Satmagan cihazı ile bakır curufu içerisindeki manyetit oranı 17,5 olarak belirlenmiştir. Yaş kimyasal analiz sonucu Fe_2O_3 oranı 59,08 bulunmuştur ki buda malzeme içerisinde; kimyasal ve mineralojik analizlerde belirlenen kuvars tanelerinin fazla bulunduğunu göstermektedir (Tablo 4.9). Örneğin manyetik duyarlılığı $105,2-105,1 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür ve manyetit için genel duyarlılık ($452-685 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) aralığından düşük çıkmıştır (Tablo 3.3).

Malzemelerde ki manyetik duyarlılık değerlerinin düşük çıkmasının nedeni olarak malzeme içindeki manyetit dışındaki kuvars, hematit, fayalit gibi empüritelerin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum geri kazanım devresinde daha yüksek manyetik alan şiddetine sahip manyetik ayırıcıların kullanımını gerekli kılabilir

Tablo 3.3. Ağır ortam malzemelerinin manyetik özellikleri ve bulgular

Parametre	Standart	Manyetit	Pirit külü kahverengi	Pirit külü siyah	Bakır curufu
Manyetik içeriği, %	≥ 95	99,45			
Satmagan %Manyetit		70,26	31	31	17,5
Manyetik duyarlılık $10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	452-685	437	173-174.1	263,2-254.1	105,2- 105,1

3.1.4. Yoğunluk, Nem ve Çökme Özellikleri

Kömür hazırlamada kullanılan manyetit için geliştirilen standart (TSE 10450, 1992) ağır ortam olarak kullanılan malzemenin nem yüzdesinin %10'nun altında olmasını gerektirmektedir. Tesiste kullanılan manyetitin serbest nem (havada kurutma) içeriği %4,87 ve bağlı nem içeriği %0,07 olarak bulunmuş olup toplam nemi % 4,94 ile standart değere uygun olarak bulunmuştur (Tablo 3.4).

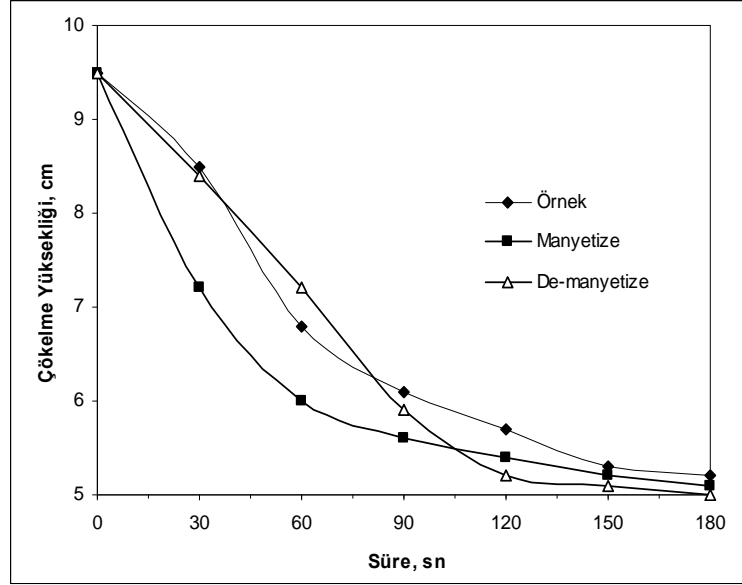
Standarta göre yoğunluk $4,9-5,2 \text{ gr/cm}^3$ arasında olmalıdır. Manyetit için bağıl yoğunluk $4,95 \text{ gr/cm}^3$ bulunmuş olup standarda uygun olmasına rağmen alt limite yakın değer olarak dikkat çekmektedir. Kahverengi pirit külü örneğimiz için $4,47 \text{ gr/cm}^3$, siyah pirit külü için $4,62 \text{ gr/cm}^3$ ve bakır curufu için ise bağıl yoğunluk $3,90 \text{ gr/cm}^3$ bulunmuş olup standardın altında olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.4). Yoğunluk değerlerindeki düşüklüğünün malzemeler içindeki hematit içeriğinin sonucu olduğu düşünülmektedir.

Çökme hızı deneylerinde belirleyici en önemli faktör serbest çökme hızıdır. İlgili standart, serbest çökme hızının 1-2 cm/dk arasında olması gerektiğini belirtmektedir.

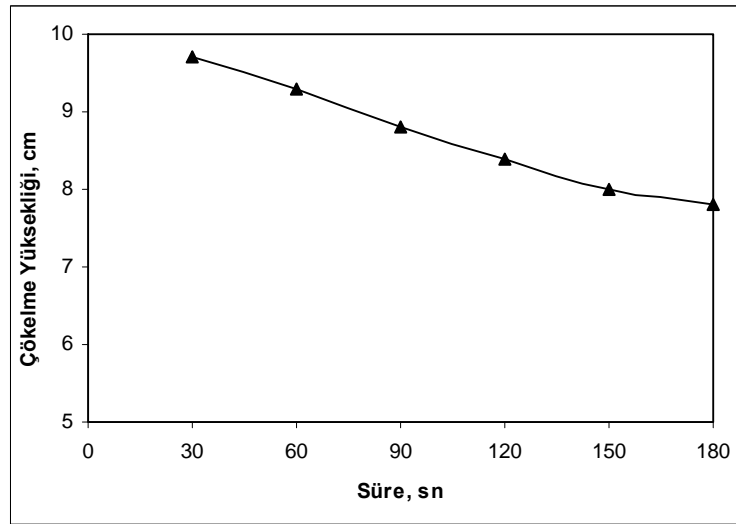
Manyetit numunesi için $1,68 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu ortam için yapılan incelemelerde manyetitin serbest çökme hızı 3,5 cm/dk olarak bulunmuştur. Bu durumun malzeme içerisindeki iri boyutlu malzeme oranının istenenden yüksek olarak bulunmasından kaynaklanabilir (Yang ve Aldrich, 2008). De-magnetize edilmiş numune daha yavaş (2 cm/dk) çöklerken mıknatıslanmış numune daha hızlı (2,37 cm/dk) çökelmektedir (Şekil 3.4.a). Bu sonuç manyetitin kullanılmadan önce de-magnetize edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Yapılan incelemelerde malzemelerin çökme hızları; kahverengi pirit külü için 1,2 cm/dk (Şekil 3.4.b); siyah pirit külü için 1,5 cm/dk (Şekil 3.4.c) ve bakır curufu için ise 1,5

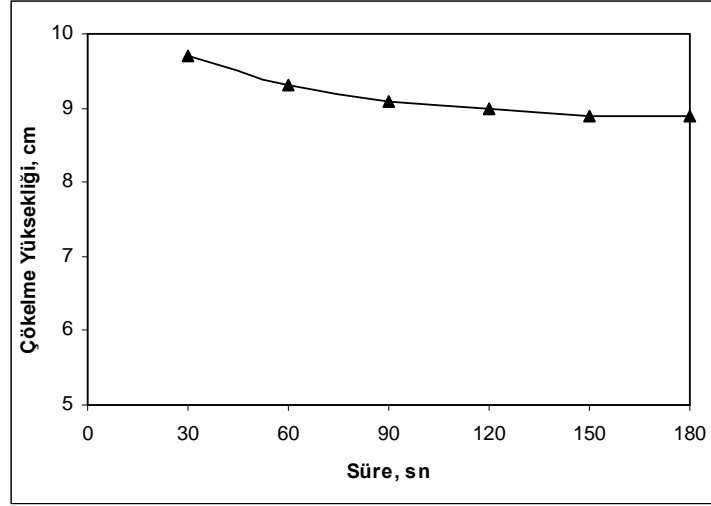
cm/dk (Şekil 3.4.d)olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar malzemelerin standartlara uygun olduğunu göstermektedir.



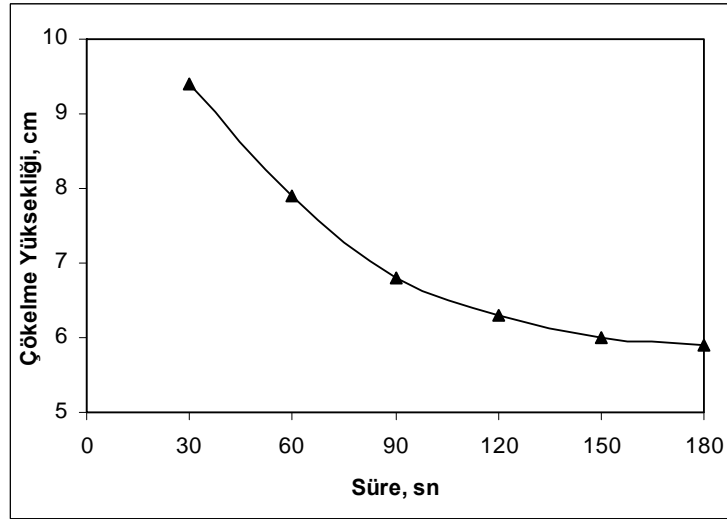
Şekil 3.4.a. Manyetitin çökeltme yüksekliği-süre grafiği (1,68 gr/cm³)



Şekil 3.4.b. Kahverengi pirit külünün çökeltme yüksekliği-süre grafiği (1,68 gr/cm³)



Şekil 3.4.c. Siyah pirit külünün çökme yüksekliği-süre grafiği (1,68 gr/cm³)

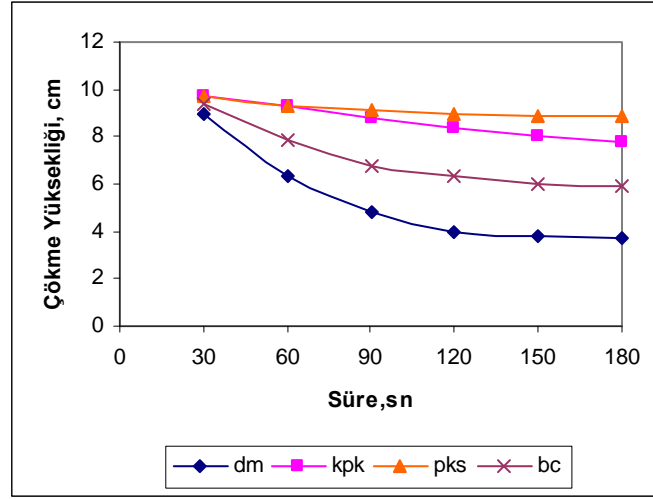


Şekil 3.4.d. Bakır curufunun çökme yüksekliği-süre grafiği (1,68 gr/cm³)

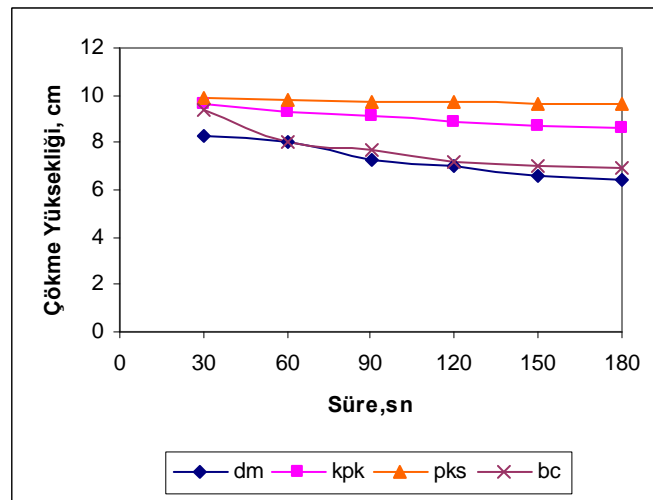
Tablo 3.4. Ağır ortam malzemelerinin yoğunluk, nem, çökme hızı özellikleri ve bulgular

Parametre	Standart	Manyetit	Pirit külü kahverengi	Pirit külü siyah	Bakır curufu
Nem içeriği, %	≤ 10	4,94			
Yoğunluk, gr/cm ³	4,9-5,2	4,95	4,47	4,62	3.90
Çökme hızı, cm/dk	1-2	3,5	1,2	1,5	1,5

Akışkan bir ortam içerisinde bulunan hafif ve küçük boyutlu taneler, daha iri veya ağır olan tanelere oranla daha yavaş çökelirler. Ağır ortam malzemesi olarak kullanılacak malzeme stabil ve düşük viskoziteye sahip olmalıdır. İnce boyutlu malzemeler genellikle stabil olmalarına rağmen viskoziteleri yüksek olduğundan geri kazanımları daha zor olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ağır ortam malzemelerinin akışkan ortam (su) içerisindeki çökme hızları incelenmiştir. Tesiste 1,7-1,8 gr/cm³ ayırma yoğunluğunda ayırım gerçekleştirildiğinden aşağıda bu ayırma yoğunlukları için ağır ortam malzemesi olarak kullanılan manyetit (dm), kahverengi pirit külü (kpk) , siyah pirit külü (pks) ve bakır curufuna (bc) ait çökme yüksekliği (Şekil 3.5), stabilite (Şekil 3.6) ve çökme hızı (Şekil 3.7) grafikleri verilmiştir.



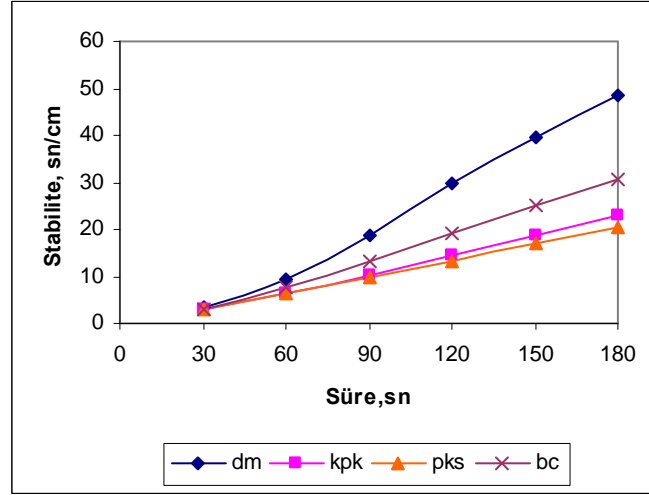
(a)



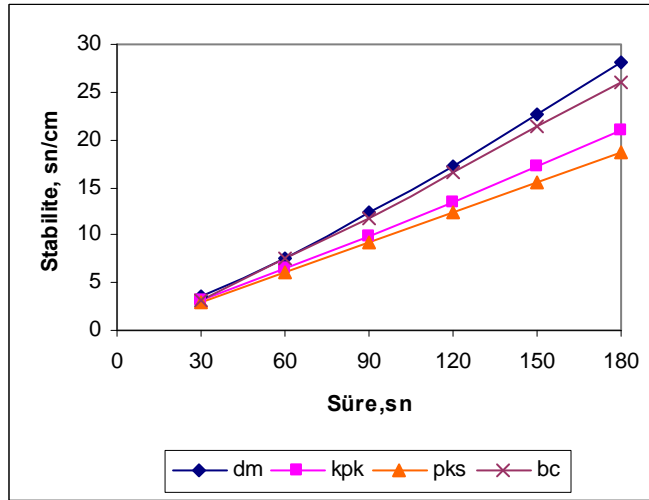
(b)

Şekil 3.5. Malzemelerin 1,7 gr/cm³ (a) ve 1,8 gr/cm³ (b) yoğunluğu için çökelme yüksekliği-süre grafiği

Şekillerden de görüleceği üzere 1,7 ayırma yoğunluğu için malzemelerin çökme yükseklikleri, stabilite ve çökme hızları kıyaslanıldığında manyetit çökme hızı, stabilitesi ve çökme yüksekliği diğer ağır ortam malzemelerinden daha fazladır. Bunun nedeni manyetit yoğunluğunun daha yüksek olmasıdır.



(a)

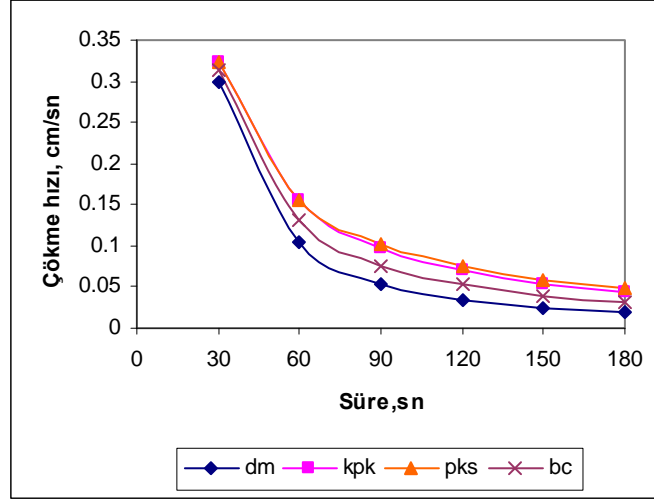


(b)

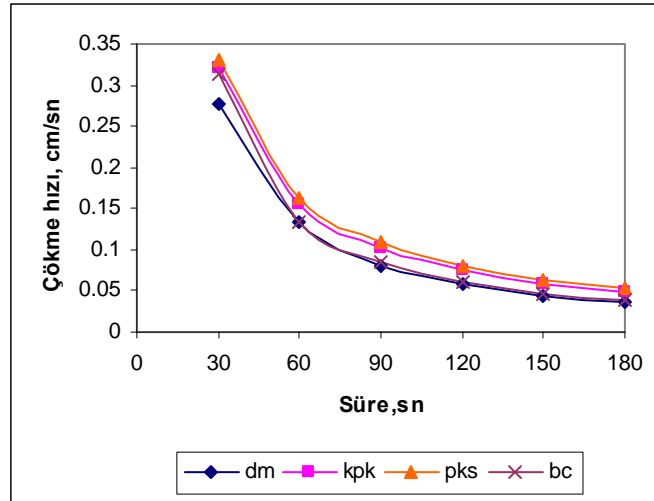
Şekil 3.6. Malzemelerin 1,7 gr/cm³ (a) ve 1,8 gr/cm³ (b) ayırma yoğunluğu için stabilite-süre grafiği

Siyah pirit külü ve kahverengi pirit külü kıyaslandığında siyah pirit külü içerisindeki manyetit oranının saha fazla olmasından dolayı yoğunluğu daha yüksektir fakat

malzemenin tane boyutu daha ince olduğundan dolayı kahverengi pirit külünün çökme hızı daha fazladır.



(a)

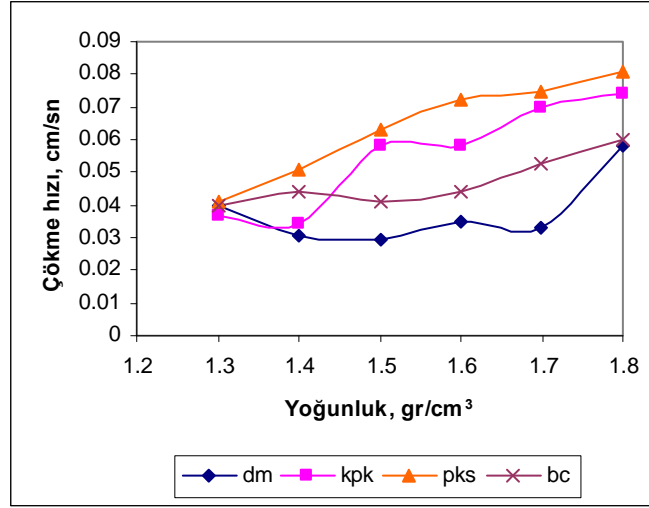


(b)

Şekil 3.7. 1,7 gr/cm³ (a) ve 1,8 gr/cm³ (b) ayırma yoğunluğu için çökme hızı-süre grafiği

Malzemelerin çökme hızlarına bakıldığında 120.sn'de asıl belirgin farklılıklar görülmektedir. Bu durumda 120. sn'de malzemelerin farklı yoğunluklardaki çökme hızları aşağıdaki grafikte değerlendirilmiştir. Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7 den görüleceği üzere yoğunluk arttıkça malzemelerin çökme hızları artmaktadır.

Sonuç olarak genel itibariyle yoğunluk arttıkça malzemelerin stabiliteyi düşmektedir. Bu durumda malzemenin viskozitesinin artması neden olmaktadır. Malzemenin viskozitesinin artması durumunda ağır ortam ayırmasında ayırma batması gerekip de yüzen, yüzmesi gerekip de batan taneler olacağından ayırma verimi düşecektir.



Şekil 3.8. Malzemelerin 120. sn' deki çökme hızı-yoğunluk grafiği

3.1.5. Ağır Ortam Malzemelerinin Manyetik Ayıcılarda Geri Kazanılabilirliği

Bir ağır ortam olarak kullanılacak malzemenin ağır ortam zenginleştirmede kullanılabilmesi için en önemli faktörlerden de birisi ağır ortamın geri kazanılabilirliğidir. Çünkü ağır ortama malzemesi geri kazanılmadığı durumda işletme maliyeti artmaktadır. Bu çalışmada manyetit, pirit külü ve bakır curufu düşük alan şiddetli manyetik ayırıcıda zenginleştirilmiş olup elde edilen konsantreler ve atıklar etüvde kurutulularak tartımları alınmıştır. Tablo 3.5'te manyetik ayırma sonucunda ağır ortam malzemelerinin kazanma verimleri görülmektedir.

Tablo 3.5. Manyetik ayırma sonucunda ağır ortam malzemelerinin kazanma verimi

Malzeme	Konsantre (gr)	Atık (gr)	Toplam (gr)	Kazanma Verimi (%)
Manyetit	760	128,9	888,9	85,50
Kahverengi Pirit Külü	635,1	206	841,1	75,51
Bakır Curufu	266,84	205,2	472,04	56,53

Sonuç olarak Tablo 3.5'dan da görüleceği üzere ağır ortam olarak kullanılabilirliği değerlendirilen manyetit, pirit külü ve bakır curufuna ait düşük alan şiddetli manyetik ayırıcıda gerçekleştirilen zenginleştirme sonucunda kazanma verimlerine bakıldığında

manyetit kazanma veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise daha önceden malzemelerin kullanılabilirliklerinin değerlendirilmesinde görüldüğü üzere malzeme içerisindeki manyetit oranının daha yüksek olmasıdır. Verimin %95'in altında gerçekleşmesinin nedeni olarak da malzeme içerisindeki kuvars, hematit gibi empüritelerin olması gösterilebilir. Alternatif malzeme olarak kullanımı düşünülen bakır curufu ve kahverengi pirit külü ise kıyaslandığında pirit külünün kazanma veriminin bakır curufundan daha yüksek olduğu görülür, çünkü pirit külünün manyetik duyarlılığı ve manyetit içeriği bakır curufundan daha yüksektir.

3.1.6. Genel Değerlendirme

Ağır ortam olarak kullanılabilirliği incelenen malzemelerin (manyetit, kahverengi pirit külü, siyah pirit külü ve bakır curufu) karakterizasyon incelemeleri yapılmıştır.;

Standarta göre 10 mikrondan küçük malzeme %30' un altında, 54 mikrondan büyük malzeme ise % 5 in altında olmalıdır. Malzemelerin tümünün 10 mikrondan küçük malzeme oranı standarda uymaktadır.

Malzemelerin yaş kimyasal analiz sonuçlarına göre Fe_2O_3 içeriği en yüksek malzemenin manyetit (%89,64 Fe_2O_3) olduğu belirlenmiştir. Buda malzemenin manyetik duyarlılığının ($437 \times 10^{-6} m^3.kg^{-1}$) yüksek olmasının bir göstergesidir. Diğer malzemeler olan siyah pirit külü (%86,50 Fe_2O_3), kahverengi pirit külü (%84,68 Fe_2O_3) ve bakır curufu (%59,08 Fe_2O_3) ise daha düşüktür. Bu malzemeler içinde siyah pirit külü ve kahverengi pirit külü aynı tesiste üretilmesine rağmen Fe_2O_3 içerikleri farklı olup siyah pirit külünün içeriği daha yüksektir. Bunu sonucunda da siyah pirit külünün ($263,2-254,1 \times 10^{-6} m^3.kg^{-1}$) manyetik duyarlılığı kahverengi pirit külünden ($173-174,1 \times 10^{-6} m^3.kg^{-1}$) daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum Satmagan cihazı ile yapılan malzemelerin manyetit içeriği ölçümlerinde de görülmektedir. Manyetit numunesi %70,26 manyetit içerirken, pirit külü kahverengi ve siyah %31, bakır curufu ise %17,5 içermektedir.

Alternatif malzeme olarak düşünülen pirit külü ve bakır curufunun manyetik duyarlılık değerleri düşük çıkmıştır. Bunun nedeni ise malzemelerin manyetit yanısıra bazı safsızlıkları içermesidir. Pirit külü bol miktarda hematit, fayalit v.s. içerirken bakır curufu ise kuvars, nabit bakır, kovallin v.s. içermektedir. Bu durum geri kazanım devresinde daha yüksek manyetik alan şiddetine sahip manyetik ayırıcıların kullanımını gerekli kılabilir.

Tüm bu sonuçlar ele alınıp, malzemelerin düşük alan şiddetli manyetik ayırıcı ile geri kazanılabilirliklerine bakıldığında ise manyetit numunesi %85,50 verimle kazanılırken pirit külü kahverengi %75,51 ve bakır curufu ise %56,53 verimle kazanılmaktadır.

Tesiste 1,7-1,8 gr/cm³ ayırma yoğunluğunda ayırım gerçekleştirildiğinden bu ayırma yoğunlukları için ağır ortam malzemesi olarak kullanılan manyetit, kahverengi pirit külü, siyah pirit külü ve bakır curufuna ait çökme yüksekliği, stabilite ve çökme hızı incelenmiştir. Malzemelerin çökme yükseklikleri, stabiliteleri ve çökme hızları kıyaslanıldığında manyetitin çökme hızı, stabilitesi ve çökme yüksekliği diğer ağır ortam malzemelerinden daha fazladır. Bunun nedeni manyetitin yoğunluğunun (4,95 gr/cm³) daha yüksek olmasıdır. Aynı yerde üretilen siyah pirit külü (4,62 gr/cm³) ve kahverengi pirit külü (4,47 gr/cm³) kıyaslandığında siyah pirit külü içerisindeki manyetit oranının saha fazla olmasından dolayı yoğunluğu daha yüksektir, fakat malzemenin tane boyutu daha ince olduğundan dolayı kahverengi pirit külünün çökme hızı daha fazladır.

3.2. Tesis Manyetit Kayıplarının Değerlendirilmesi

3.2.1. Süzme ve Yıkama Eleklerinin Etkinliği

Avrupa standartlarına göre kömür yıkama tesislerinde ağır ortam zenginleştirme sırasında en fazla ortam kaybı ince kömür (10-0,6 mm) için 0,15 kg/ton ve iri kömür (+10 mm) için ise 0,05 kg/ton kabul edilmektedir. İnceleme sonucunda elde edilen veriler Tablo 3.6' de verilmiştir.

Gerek tesis incelemelerinde ve gerekse literatür verilerinde ince boyutlu ürünlerde manyetit kaybının daha fazla olacağı öngörülmüştür. Ancak düşünülenin tersine iri tanelerin düşülmesi sırasında kayıp daha fazla gerçekleşmektedir (5,78 kg manyetit/ton kömür).

Veriler incelendiğinde her iki ağır ortam ayırıcısı için de; manyetit kaybının yüzen üründe (lave) batan ürüne (şist) göre daha yüksek olarak gerçekleştiği görülmektedir. Batan ürünün tambur içerisinde kaldırılarak ortamın süzölmeye başladığı ancak yüzen ürünün tamburdan ortam malzemesi ile birlikte süzme eleğine döküldüğü düşünülürse düşülme öncesindeki yüksek manyetit içeriklerinin yetersiz süzmeden kaynaklandığı söylenebilir. Bu durumun düşülme sonrasında da devam etmesi fazla ortam bulunmasının daha fazla düşülme gerektirmesinden kaynaklanabilir. Lave devrelerinde kayıpların daha

fazla olması kömür tanelerinin çatlaklı yapıda olması ve kömür ile ortam arasındaki ilişkinin daha yüksek olmasına bağlı olabilir.

Tablo 3.6. Ağır ortam ayırımı sonunda duşlama eleğinde ürünler üzerindeki ortam kaybı

Ürün		Manyetit miktarı kg/ton (ürün)		Uzaklaştırma Verimi %	Kabul edilebilir kayıp kg/ton
		Duşlama Öncesi	Duşlama Sonrası		
Tambur	Lave	87,4	5,78	93,5	0,05
	Şist	19,2	2,8	85,5	
Siklon	Lave	40,1	1,1	97,2	0,15
	Şist	19,4	1,0	94,8	

3.2.2. Tesiste Faaliyet Gösteren Manyetik Seperatörün Etkinliği

Standarda göre seperatör girişinde hacimsel katı oranı yaklaşık %16, ağırlıkça katı oranı ise 250 gr/lt değerine yakın olmalıdır. Yapılan incelemeler göstermektedir ki tesiste manyetik seperatör beslemesinin hacimsel katı oranları çok düşük değerlerde bulunmaktadır. Bu durum manyetik ayırmanın performansını olumsuz yönde etkilemektedir (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. Seperatör beslemesi özellikleri

Ünite	Katı Oranı (gr/lt)	Hacimce Katı, %
Tambur	24	0,70
Siklon	78	1,87
İstene	250	16,00

3.2.3. Genel Değerlendirme

Avrupa standartlarına göre kömür yıkama tesislerinde ağır ortam zenginleştirme sırasında en fazla ortam kaybı ince kömür (10-0,6 mm) için 0,15 kg/ton ve iri kömür (+10 mm) için ise 0,05 kg/ton kabul edilmektedir. Bu doğrultuda tesiste yapılan incelemeler doğrultusunda incelendiğinde süzme-durulama eleklerinden elde edilen kömür numuneleri için de; manyetit kaybının yüzen üründe (lave) batan ürüne (şist) göre daha yüksek olarak

gerçekleştiği görülmektedir. Literatür verilerinde ince boyutlu ürünlerde manyetit kaybının daha fazla olacağı öngörülmüştür. Ancak tesiste iri tanelerin duşlanması sırasında kayıp daha fazla gerçekleşmektedir. Ayrıca lave devrelerinde de kayıpların daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin de kömür tanelerinin çatlaklı yapıda olması ve kömür ile ortam arasındaki ilişkinin daha yüksek olması düşünülmektedir.

Manyetik seperatörün etkinliğinin araştırılması üzerine yapılan incelemeler göstermektedir ki tesiste manyetik seperatör beslemesinin hacimsel katı oranları standarda (hacimsel katı oranı yaklaşık %16, ağırlıkça katı oranı ise 250 gr/lt) göre çok düşük değerlerde bulunmaktadır. Bu durum manyetik ayırmanın performansını olumsuz yönde etkilemektedir

3.3. Tesiste Uygulanan Ağır Ortam Ayırmasının Değerlendirilmesi

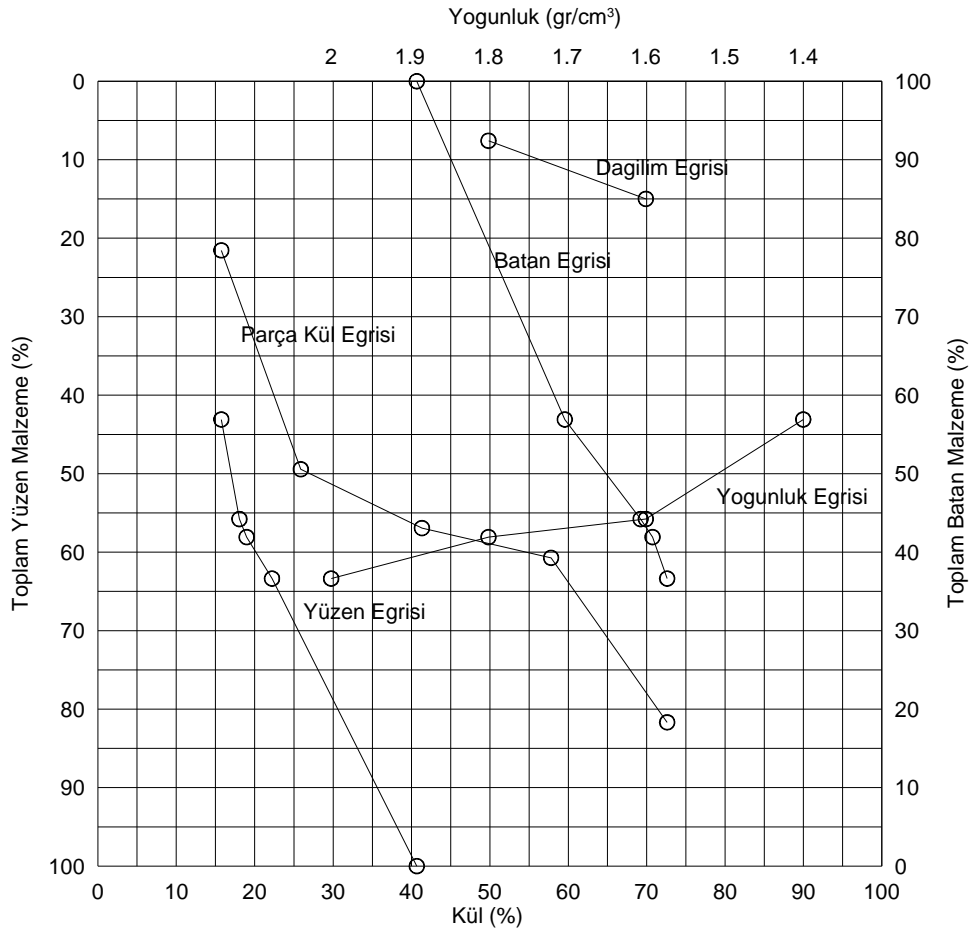
Bu çalışma sırasında Eski Çeltek Kömür İşletmesi tüvenan kömürden üretilebilecek temiz kömür miktarını ve yıkama işleminde oluşabilecek performansın tahminini yapabilmek için gerçekleştirilmiş olan yüzdürme batırma testlerinin sonuçları ve yıkanabilirlik eğrileri aşağıda verilmiştir. Tesiste 1,8 gr/cm³ ayırma yoğunluğunda tambur ayırıcıda ayırım gerçekleşmekte ve ayırım sonunda temiz kömür+şist elde edilmektedir. Sonrasında temiz kömür 1,7 gr/cm³ ayırma yoğunluğunda Drewboy ayırıcısında ikincil yıkamaya tabi tutularak lave ve mikst elde edilmektedir. Tesiste birincil yıkama işlemi olarak kullanılan 1,8 gr/cm³ te tambur ağır ortam ayırıcı ile iri boyutta kömür yıkama için yıkanabilme sonuçları Tablo 3.8. ve Şekil 3.9'de verilmiştir.

Tablo 3.9.'de tesisteki ayırma yoğunluğu 1,8 olan tambur ağır ortam ayırıcısına beslenen iri kömüre (+18 mm) ait yüzdürme-batırma test sonuçlarına göre çizilen yüzdürme-batırma eğrilerine (Şekil 3.9) bakıldığında,

- Ayırmanın güçlüğü ya da kolaylığı değerlendirildiğinde; $\pm 0,2$ yoğunluğundaki malzeme miktarı %7,58 olup, bu yoğunlukta ayırmanın kolay olacağı söylenilebilir.
- Bu yoğunlukta ayırım yapıldığında %18,97 küllü %58,08 temiz kömür elde edilirken, %70,76 küllü %41,92 atık kömür elde edilmektedir.
- Temiz kömürdeki en yüksek küllü parçanın kül yüzdesi %50 olup, bu rakam aynı zaman atıktaki en düşük küllü parçanın kül yüzdesidir.

Tablo 3.8. Tambur ağır ortam ayırıcısı beslemesinin (+18 mm) yüzdürme - batırma deney sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Numune Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,2 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (gr)	Miktar (%)	Kül (%)	M*K	Küm. Miktar (%)	M*K	Kül (%)	Küm. Miktar (%)	Küm. M*K	Kül (%)	Yoğunluk	Miktar (%)
-1,4	5611,7	43,09	15,74	678,2	43,09	678,2	15,74	100	4067	40,67	1,4	
1,6+1,4	1652,7	12,69	25,88	328,42	55,79	1007	18,04	56,91	3389	59,6	1,6	14,99
1,8+1,6	299,1	2,3	41,33	94,94	58,08	1102	18,97	44,21	3061	69,23	1,8	7,58
-2+1,8	688,2	5,28	57,81	305,51	63,37	1407	22,2	41,92	2966	70,76	2,0	
+2	4770,2	36,63	72,62	2660,4	100	4067	40,67	36,63	2660	72,62		
	13022,0	100,0										



Şekil 3.9. Tambur ağır ortam ayırıcısı, tüvenan ayırıcısı iri kömür (+18 mm fraksiyonu) yüzdürme-batırma test sonuçları

Lavvar yıkama tesislerinde ürün kalitesi ve verimlilik yönünden değerlendirilmesi ile ilgili olarak tromp eğrisi ve hatalı ayrılmış malzeme eğrisi ayrı ayrı ele alınarak aşağıda incelenmiştir. Bu değerlendirme için tesiste tambur ağır ortam ayırıcısı ile 1,8 gr / cm³' te iri boyutta kömür yıkamadan elde edilen temiz kömür ve atık şistin Tablo 3.9 ve 3.10' da verilen yüzdürme deneyi sonuçları ile, bu iki tablodaki değerler hesaplanarak bulunan ve Tablo 3.11' de verilen tüvenana ait yüzdürme sonuçları kullanılmıştır.

Tablo 3.9. Tambur ağır ortam ayırıcısından temiz kömür yüzdürme sonuçları

Yoğunluk	Ort. yoğunluk	Miktar (gr)	Miktar (%)	Kül (%)	Temiz kömür verimi (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Dağılma faktörü (%)
-1,4	/	9779,10	88,69	11,71	50,0	44,3	50,0	100,0
1,4-1,6	1,5	1216,10	11,03	25,63	50,0	5,5	5,7	99,7
1,6-1,8	1,7	27,50	0,25	41,62	50,0	0,1	0,1	3,1
1,8-2	1,9	3,64	0,03	56,94	50,0	0,0	0,0	0,4
		11026,34	100,00	13,3	50,0	50,0	0,0	50,0

Tablo 3.10. Tambur ağır ortam ayırıcısından atık şist yüzdürme sonuçları

Yoğunluk	Ort. yoğunluk	Miktar (gr)	Miktar (%)	Kül (%)	Temiz kömür verimi (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Dağılma faktörü (%)
-1,4	/	6,70	0,04	12,3	50,0	0,0	0,0	0,0
1,4-1,6	1,5	6,20	0,03	23,7	50,0	0,0	0,0	0,3
1,6-1,8	1,7	1411,00	7,80	55,6	50,0	3,9	3,9	96,9
1,8-2	1,9	1650,20	9,12	47,6	50,0	4,6	8,5	99,6
2	/	15016,9	83,01	72,2	50,0	41,5	50,0	100,0
		18091,0	100	68,6	50,0	50,0	100,0	50,0

Tablo 3.11. Tambur ağır ortam ayırıcısından tüvenanın hesaben bulunan sonuçları

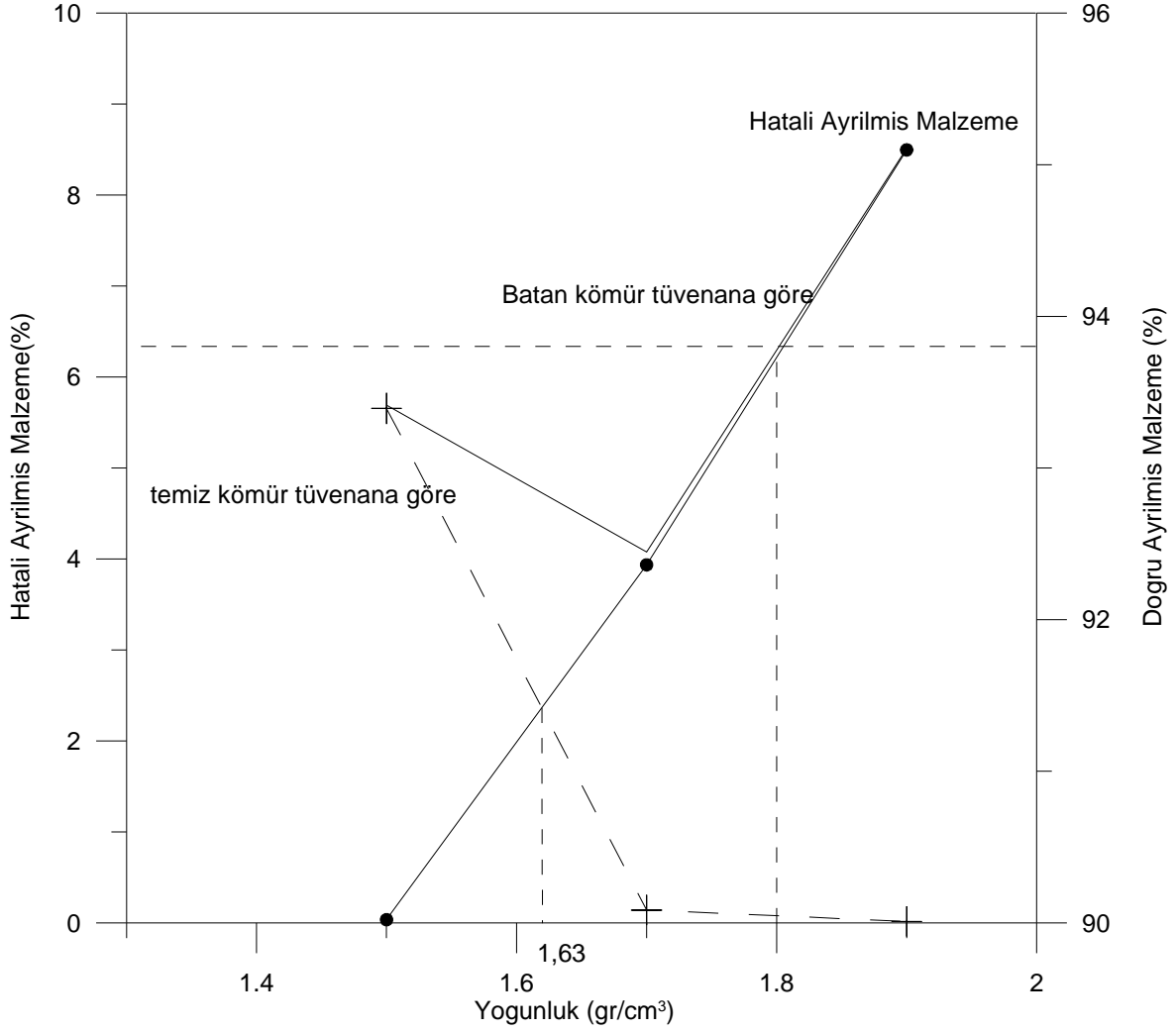
Yoğunluk	Ort. Yoğunluk	Hesaplanan Tüvenan Miktar (%)	Kümülatif Miktar (%)	Kül (%)	Hatalı Ayrılmış Malzeme (%)	Doğru Ayrılmış Malzeme (%)
-1,4	/	44,4	44,4	11,7	50,0	50,0
1,4-1,6	1,5	5,5	49,9	25,6	5,7	94,3
1,6-1,8	1,7	4,0	53,9	55,1	4,1	95,9
1,8-2	1,9	4,6	58,5	47,6	8,5	91,5
2	/	41,5	100	72,2	50,0	50,0
		100,0		41,0	100,0	0,0

İdeal olarak, yoğunlukları ayırma yoğunluğundan az olan bütün parçaların temiz kömürde, fazla olan bütün parçalarında artık şistte bulunması gerekir. Pratikte ayırmalarda ise, artık şistte bulunması gerekip de temiz kömürde bulunan ve temiz kömürde bulunması gerekip de artık şistte bulunan bir miktar malzeme mevcuttur. Temiz kömür ve artık şistte, bu şekilde hatalı olarak yer almış malzemeye hatalı ayrılmış malzeme denilmektedir. Gerektiği şekilde ayrılmış malzemede doğru ayrılmış malzemedir (URL 4). Aşağıda Şekil 3.10'da, tesiste 1,8 gr/ cm³ yoğunluğunda iri boyutta ayırım gerçekleştiren tambur ayırıcısı için çizilen hatalı ayrılmış malzeme eğrisi çizilmiştir.

Ortalama yoğunluklara karşı toplam hatalı ayrılmış malzeme değerinin çizilmesi ile elde edilen eğriden ayırma yoğunluğuna tekabül eden (tesiste tambur ayırıcısı için 1,8 gr/cm³) miktara bakıldığında, tesiste yapılan ayırma işleminde hatalı olarak ayrılmış toplam malzeme miktarı, tüvenana göre yüzde olarak % 6,35 olarak tespit edilmektedir.

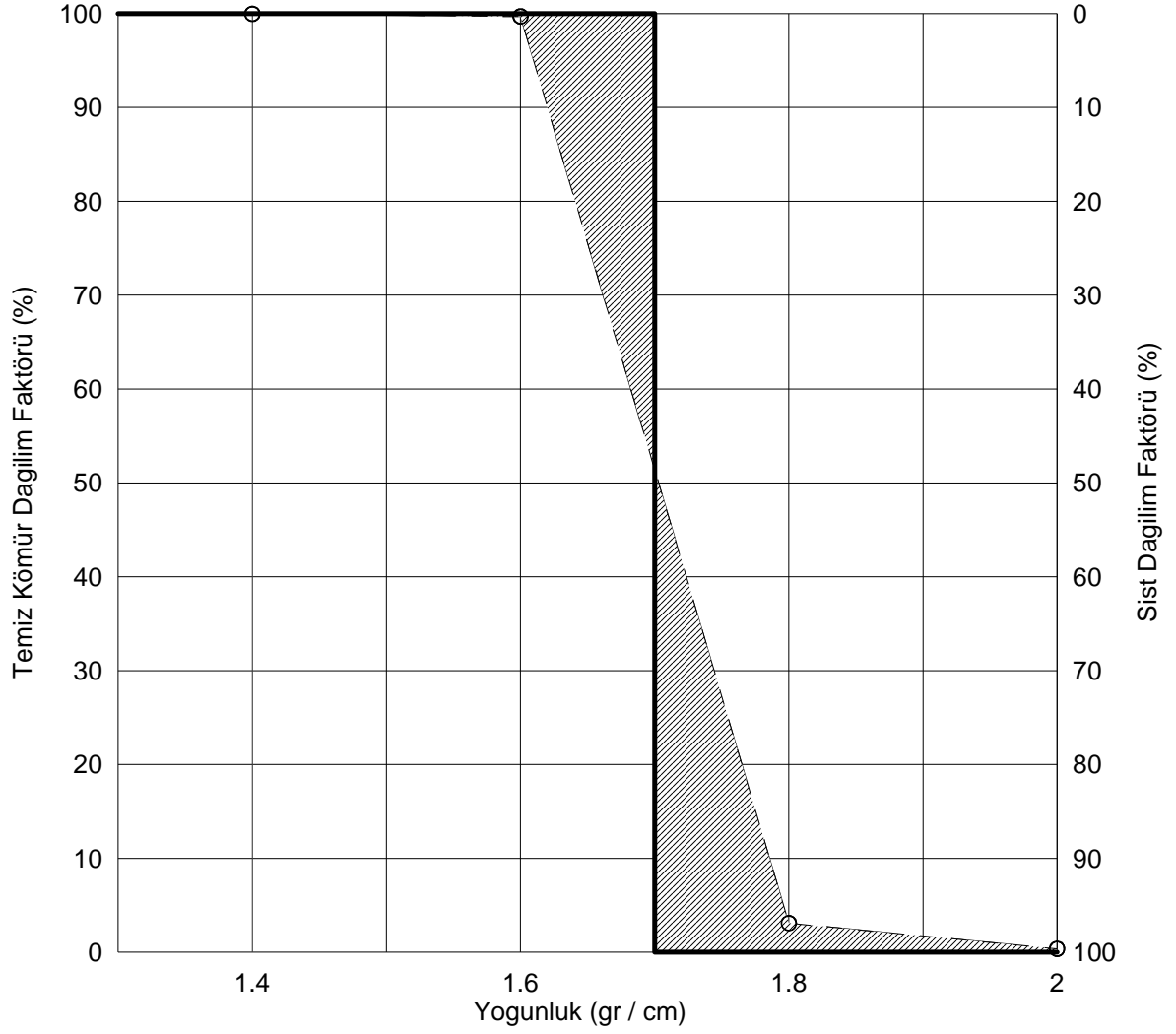
Temiz kömür ve artık şistteki hatalı olarak ayrılmış malzemeleri temsil eden eğriler de ayrı ayrı çizildiğinde, bu iki eğrinin kesim noktası eşit hatalar yoğunluğunu verir ki, bu yoğunlukta yaklaşık 1,63 gr/cm³ tür.

Doğru ayrılmış malzeme miktarı, (100 – Hatalı ayrılmış malzeme miktarı olup), tambur ağır ortam ayırıcısındaki ayırma yoğunluğunda , bu miktar %93,65' dir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Tambur ağır ortam ayırıcısı için hatalı ayrılmış malzeme eğrisi

Tromp eğrisine göre performans değerlendirmesini ortaya koyan Şekil 3.11' den, fiili ayırma yoğunluğunun $1,7 \text{ gr/cm}^3$ olduğu anlaşılmakta olup; bunun yanında ayırma verimi açısından değerlendirme yapıldığında, iki yönden bakmak gerekmektedir. Biricisi eğrinin dike yakın olup olmaması ikincisi ise Ep değeridir. Tromp eğrisi ne kadar dike yakın olursa ayırma o kadar iyi gerçekleşmiş demektir. Burada eğimin biraz yatık olduğu görülmektedir, bu durumda performansta bir miktar düşüş olduğunun bir göstergesidir. Performansı sayısal olarak ortaya koyan Ep değerine bakıldığında ise bu sonucun 0,11 çıkmıştır. İyi bir yıkama işlemi olması için bu değer 0,1' in altında olması gerekmektedir. Burada elde edilen sonuç bu sınırdadır. Fakat geniş literatür çalışmalarından ayılan araştırmalar bakıldığında iri boyuta ayırma yapan ağır ortam cihazlarında bu şekilde kayıplar gerçekleştiği söylenilmektedir.



Şekil 3.11. Tambur ağır ortam ayırıcısının performans eğrisi

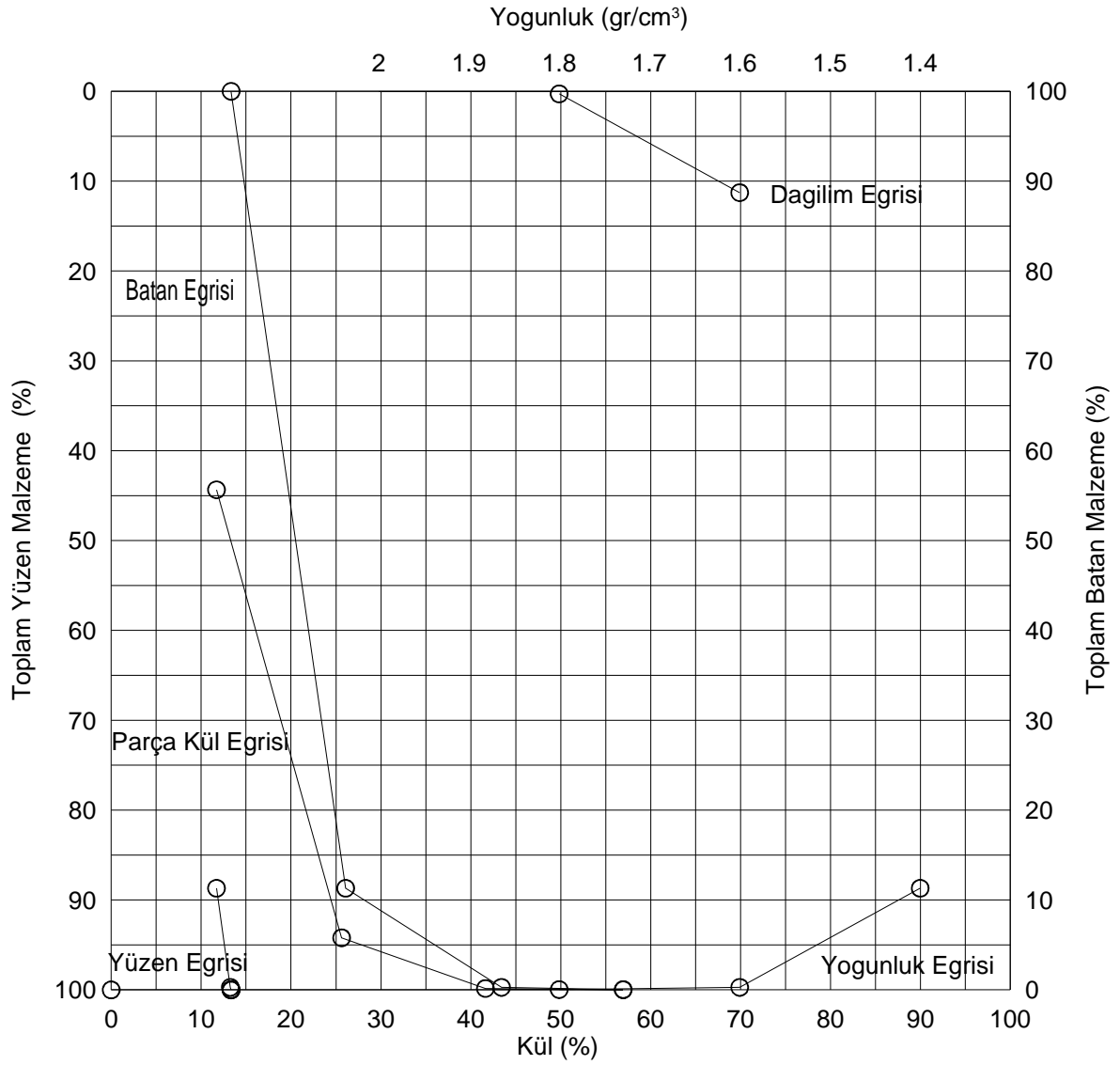
Tesiste birincil yıkama işlemi olarak kullanılan tambur ağır ortam ayırıcısından elde edilen temiz kömürün sonrasında ikincil yıkama için $1,70 \text{ gr/cm}^3$ ' te Drewboy ağır ortam ayırıcı ile iri boyutta kömür yıkama için yıkanabilme sonuçları Tablo 3.12 ve Şekil 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.12. Drewboy besleme malzemesi yüzdürme - batırma deney sonuçları

Yoğunluk Aralığı	Numune Aralığındaki Malzeme				Toplam Yüzen			Toplam Batan			±0,2 Yoğ. Malzeme	
	Miktar (gr)	Miktar (%)	Kül (%)	M*K	Küm. Miktar (%)	M*K	Kül (%)	Küm. Miktar (%)	Küm. M*K	Kül (%)	Yoğ.	Miktar (%)
-1,4	9779,10	88,69	11,71	1038,92	88,69	1038,92	11,71	100,00	1333,89	13,34	1,4	
-1,6+1,4	1216,10	11,03	25,63	282,71	99,72	1321,63	13,25	11,31	294,97	26,08	1,6	11,28
-1,8+1,6	27,50	0,25	41,62	10,38	99,97	1332,01	13,32	0,28	12,26	43,42	1,8	0,28
-2+1,8	3,64	0,03	56,94	1,88	100,00	1333,89	13,34	0,03	1,88	56,94	2	
+2	0,00	0,00	0	0	100,00	1333,89	13,33	100,00	0	0		
	11026,34	100										

Tablo 3.12’de tesiste tambur ağır ortam ayırıcısından elde edilen temiz kömürün ikincil olarak ayırma yoğunluğu $1,7 \text{ gr/cm}^3$ olan Drewboy ağır ortam ayırıcısına beslenen iri kömüre (+18 mm) ait yüzdürme-batırma test sonuçlarına göre çizilen yüzdürme-batırma eğrilerine (Şekil 3.12.) bakıldığında,

- Ayırmanın güçlüğü ya da kolaylığı değerlendirildiğinde; $\pm 0,2$ yoğunluğundaki malzeme miktarı %6,9 olup, bu yoğunlukta ayırmanın kolay olacağı söylenilebilir.
- Bu yoğunlukta ayırım yapıldığında %14 küllü olarak malzemenin %98 temiz kömür olarak elde edilirken, %44 küllü %2 atık kömür elde edilmektedir.
- Temiz kömürdeki en yüksek küllü parçanın kül yüzdesi %43 olup aynı zamanda atıktaki en düşük küllü parçanın kül yüzdesidir.



Şekil 3.12. Drewboy beslemesi iri kömür (+18 mm) yüzdürme-batırma test sonuçları

Kömür yıkama tesislerinde ürün kalitesi ve verimlilik yönünden değerlendirilmesi ile ilgili olarak tromp eğrisi ve hatalı ayrılmış malzeme eğrisi ayrı ayrı ele alınarak aşağıda incelenmiştir. Bu değerlendirme için tesiste ikincil yıkama işlemi için kullanılan Drewboy ağır ortam ayırıcısı ile $1,7 \text{ gr/cm}^3$ te iri boyutta kömür yıkamadan elde edilen temiz kömür ve atık şisttin Tablo 3.13 ve 3.14'te verilen yüzdürme deneyi sonuçları ile, bunların hesaben bulunan ve Tablo 3.15'te verilen tüvenana ait yüzdürme sonuçları kullanılmıştır.

Tablo 3.13. Drewboy ayırıcısı temiz kömür yüzdürme sonuçları

Yoğunluk	Ort, yoğunluk	Miktar (gr)	Miktar (%)	Kül (%)	Temiz kömür verimi (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Dağılma faktörü (%)
-1,4	/	13281,80	98,46	7,87	50,0	49,2	50,0	75,2
1,4-1,6	1,5	207,29	1,54	18,01	50,0	0,8	0,8	2,4
1,6-1,8	1,7	0,00	0,00	0	50,0	0,0	0,0	0,0
1,8-2	1,9	0,00	0,00	0	50,0	0,0	0,0	0,0
2	/	0,00	0,00	0	50,0	0,0	0,0	0,0
		13489,09	100,00	8,0	50,0	50,0	0,0	50,0

Tablo 3.14. Drewboy ayırıcısı atık şist yüzdürme sonuçları

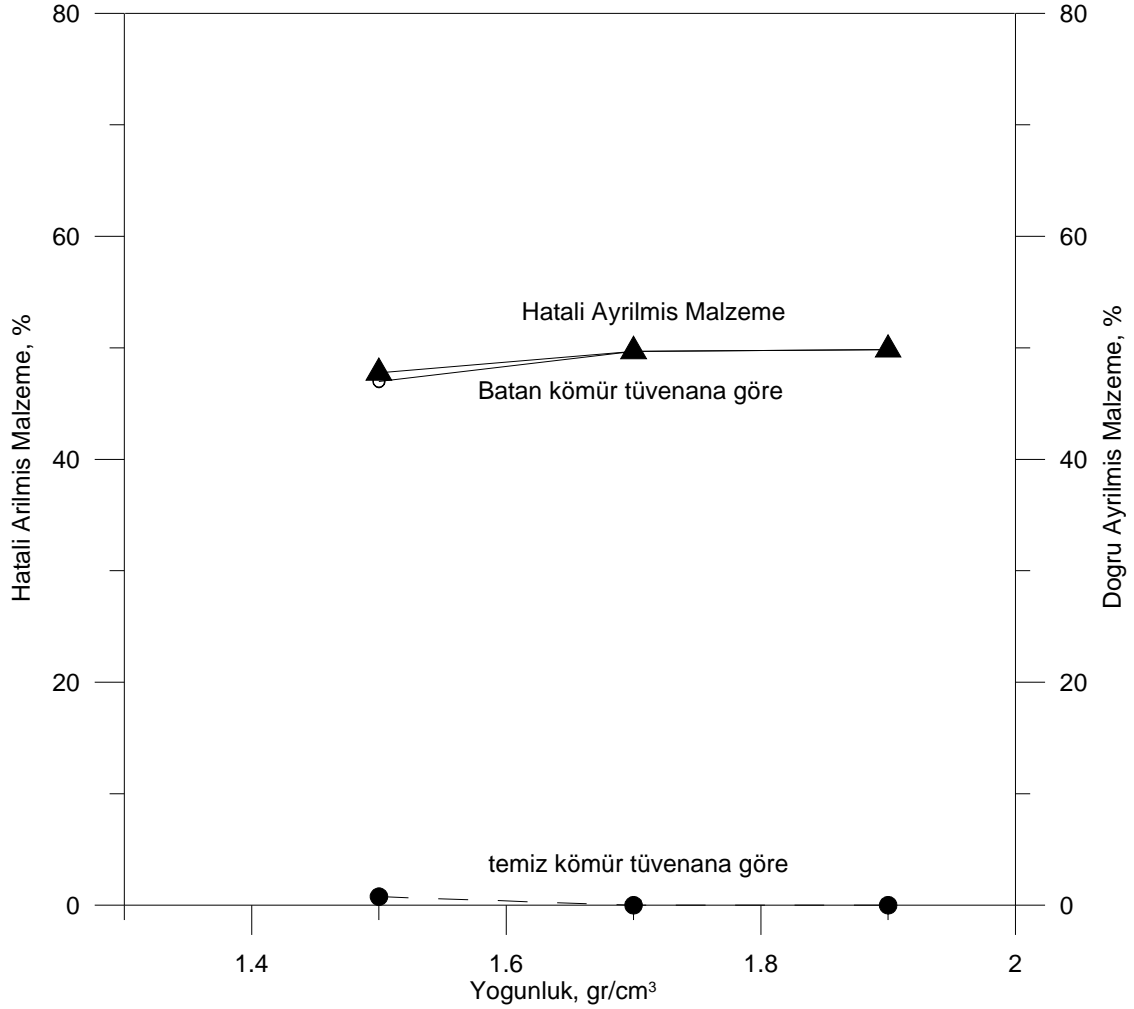
Yoğunluk	Ort. yoğunluk	Miktar (gr)	Miktar (%)	Kül (%)	Temiz kömür verimi (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Dağılma faktörü (%)
-1,4	/	4864,60	32,50	13,3	50,0	16,3	16,3	24,8
1,4-1,6	1,5	9195,60	61,44	23,5	50,0	30,7	47,0	97,6
1,6-1,8	1,7	815,90	5,45	41,7	50,0	2,7	49,7	100,0
1,8-2	1,9	41,80	0,28	56,4	50,0	0,1	49,8	100,0
2	/	48,30	0,32	61,5	50,0	0,2	50,0	100,0
		14966,20	100	21,4	50,0	50,0	100,0	50,0

Tablo 3.15. Drewboy ayırıcısı tüvenanın hesaben bulunan yüzdürme sonuçları

Yoğunluk	Ort. Yoğunluk	Hesaplanan Tüvenan Miktar (%)	Kümülatif Miktar (%)	Kül (%)	Hatalı Ayrılmış Malzeme (%)	Doğru Ayrılmış Malzeme (%)
-1,4	/	65,5	65,5	9,2	66,3	33,7
1,4-1,6	1,5	31,5	97,0	23,4	47,7	52,3
1,6-1,8	1,7	2,7	99,7	41,7	49,7	50,3
1,8-2	1,9	0,1	99,8	56,4	49,8	50,2
2	/	0,2	100,0	61,5	50,0	50,0
		100,0		14,7	100,0	0,0

Pratikte ayırmalarda, artık şistte bulunması gerekip de temiz kömürde bulunan ve temiz kömürde bulunması gerekip de artık şistte bulunan bir miktar malzeme mevcuttur. Temiz kömür ve artık şistte, bu şekilde hatalı olarak yer almış malzemeye hatalı ayrılmış

malzeme denilmektedir. Gerektiği şekilde ayrılmış malzemedede doğru ayrılmış malzemedir. Şekil 3.13'te, tesiste $1,7 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğunda iri boyutta ayırım gerçekleştiren Drewboy ayırıcısı için çizilen hatalı ayrılmış malzeme eğrisi çizilmiştir.

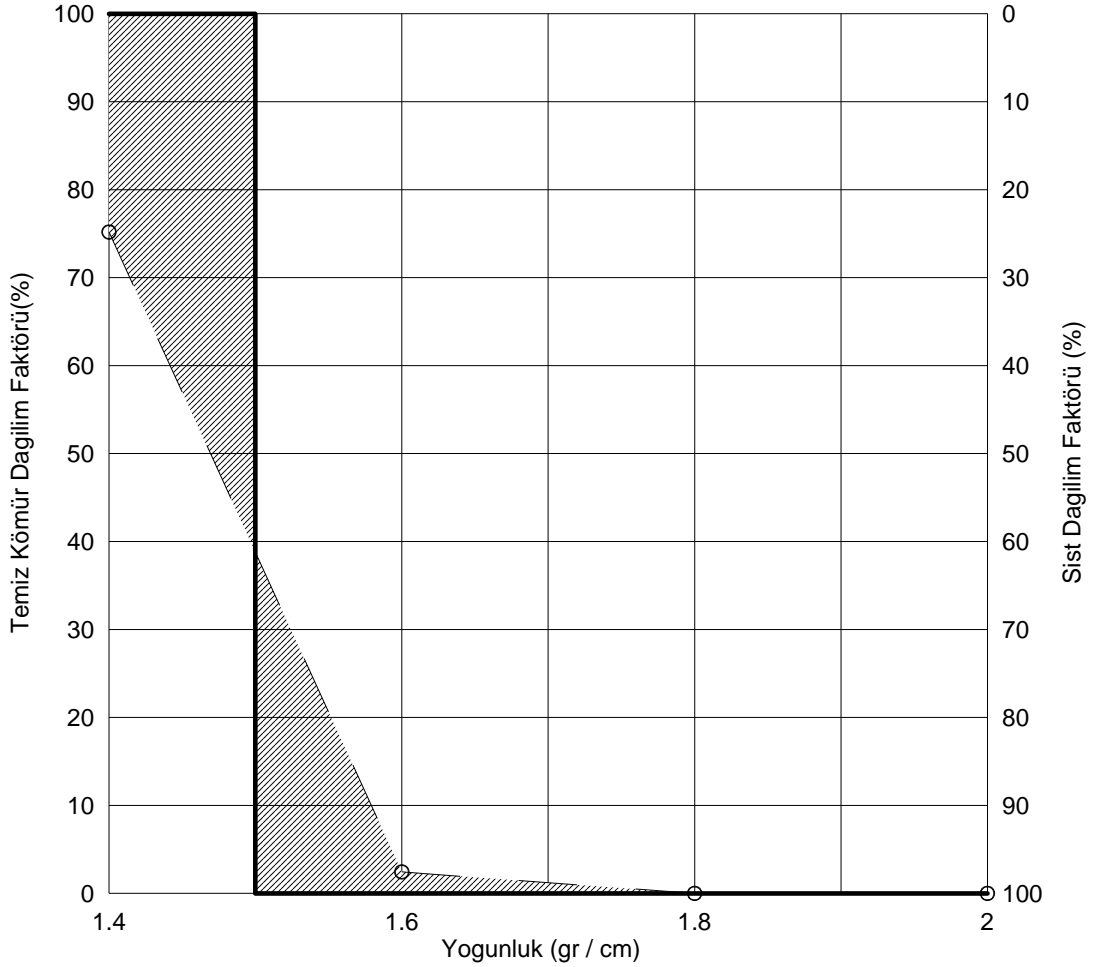


Şekil 3.13. Drewboy ayırıcısı için hatalı ayrılmış malzeme eğrisi

Ortalama yoğunluklara karşı toplam hatalı ayrılmış malzeme değerinin çizilmesi ile elde edilen eğriden ayırma yoğunluğuna tekabül eden (tesiste Drewboy ayırıcı için $1,7 \text{ gr/cm}^3$) miktara bakıldığında, tesiste yapılan ayırma işleminde hatalı olarak ayrılmış toplam malzeme miktarı, tüvenana göre %48 olarak tespit edilmektedir. Bu oran çok yüksek olup Drewboy ayırıcısına ait tromp eğrisi çizilerek performansı değerlendirilmiştir.

Tromp eğrisine göre performans değerlendirmesini ortaya koyan Şekil 3.14'den fiili ayırma yoğunluğunun $1,5 \text{ gr/cm}^3$ olduğu anlaşılmakta olup; bunun yanında ayırma verimi

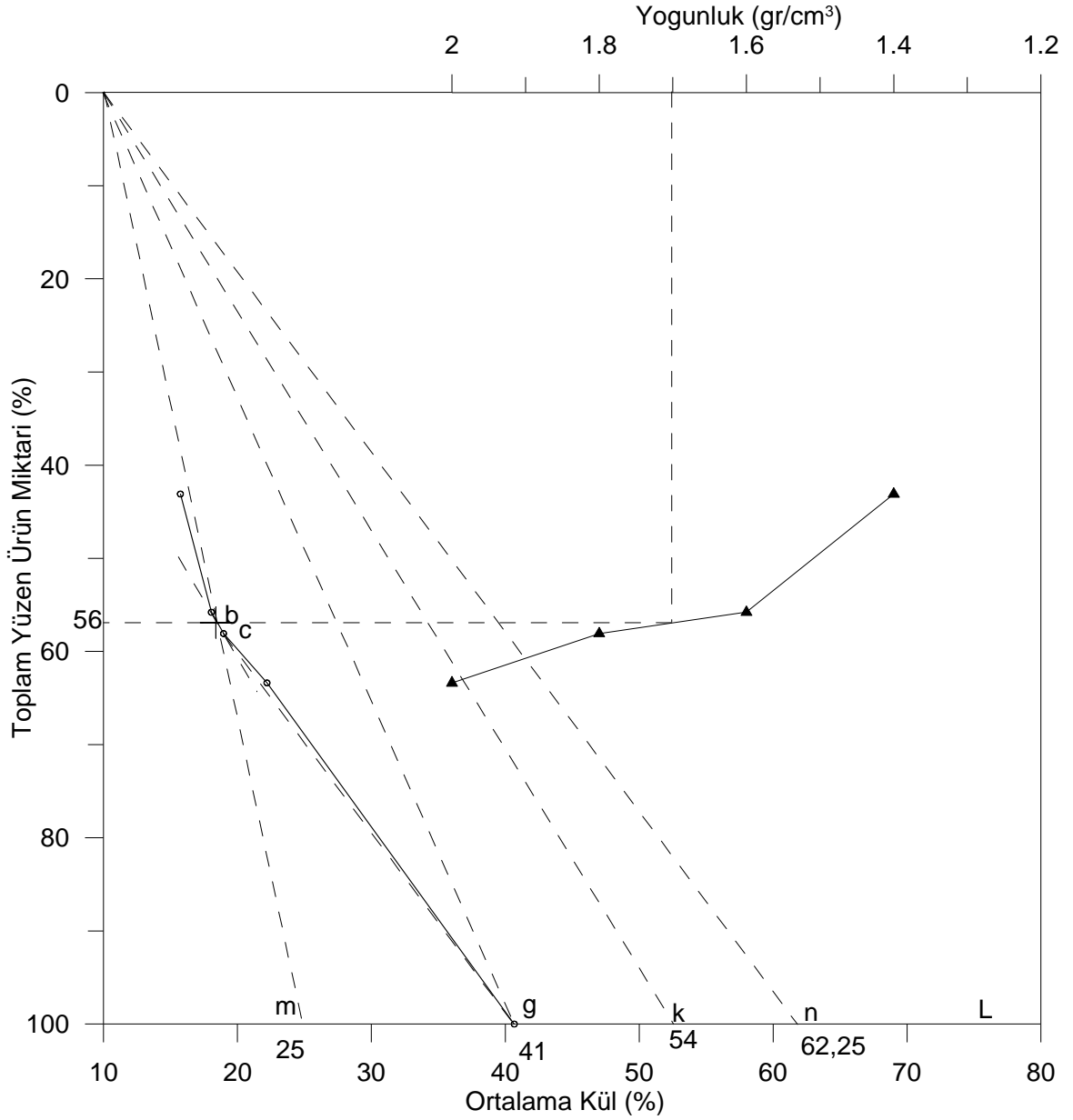
açısından değerlendirme yapıldığında Ep değerinin 0,52 çıkmıştır. İyi bir yıkama işlemi olması için bu değer 0,1' in altında olması gerekmektedir. Burada elde edilen sonuç bu sınırın çok fazla aşılmış olduğunu görülmektedir. Sonuç olarak iri kömür yıkama aygıtında elde edilen yıkama performansı, mikst içindeki kömür kaçağı nedeniyle düşük gerçekleşmiştir.



Şekil 3.14. Drewboy ayırıcının performans eğrisi

Tesiste uygulanan üç ürlü ayırmanın başlangıçta kömürü temsil eden ve farklı iki yoğunlukta ayırım yapılacağı takdirde kömürün ne kadarının yüzdüğünün ve ne kadar küllü olacağını tespitinin yüzdürülebilirlik testleri öncesinde yapılarak tesiste nasıl bir ayırım gerçekleştirileceğine mayer eğrisi ile karar verilebilir. Tesiste uygulanan 1,7 ve 1,8 ayırma yoğunluklarına göre çizilen mayer eğrisi Şekil 3.15'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi lave kömür için 1,7 yoğunluğunda ayırım yapıldığında malzemenin %56' sı yüzmektedir ve bu malzemenin ortalama küllü ise %25' tir (Şekilde "o-m" Doğrusunun x

eksenini kestiği noktadır). 1,7 ve 1,8 gr/cm³ ayırma yoğunluklarında kömürün sırasıyla % 56' sını ve % 58,08'i yüzmektedir. Bu toplam ağırlık değerleri mayer eğrisinde " b " ve " c " noktalarını keser. Bu iki yoğunluk arasında elde edilecek mikstin külü % 54 tür (Şekilde "o-k" doğrusunun x eksenini kestiği noktadır). 1,8 gr/cm³ yıkama yoğunluğunda yüzen kömür miktarı % 58,08' dir. Bu miktar mayer eğrisini "c" noktasında keser. Bu yoğunlukta elde edilecek şistin külü ise 64,25' tir (Şekilde "o-n" doğrusunun x eksenini kestiği noktadır).



Şekil 3.15. Mayer eğrisi

3.4. Alternatif Ağır Ortam Malzemelerinin Kullanılabilirliği

3.4.1. Kahverengi Pirit Külü

Eski çeltek kömür işletmesinde alternatif ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenen pirit külü kahverengi ve bakır curufu ile Drewboy ağır ortam ayırıcısında gerçekleştirilen kömür yıkama sonrasında performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Kömür yıkama tesislerinde ürün kalitesi ve verimlilik yönünden değerlendirilmesi ile ilgili olarak tesiste alternatif ağır ortam olarak kullanılabilirliği düşünülen kahverengi pirit külü ve bakır curufu ile yapılan çalışmalar sonucunda tromp eğrisi ve hatalı ayrılmış malzeme eğrisi ayrı ayrı ele alınarak aşağıda incelenmiştir.

Bu değerlendirme için tesiste ikincil yıkama işlemi için kullanılan Drewboy ağır ortam ayırıcısı ile 1,7 gr/cm³ ayırma yoğunluğunda kahverengi pirit külü ile iri boyutta kömür yıkamadan elde edilen temiz kömür ve atık şisttin Tablo 3.16 ve 17’de verilen yüzdürme deneyi sonuçları ile, bunların hesaben bulunan ve Tablo 3.18’de verilen tüvenana ait yüzdürme sonuçları kullanılmıştır.

Aşağıda Şekil 3.16’da, tesiste 1,7 gr/cm³ ayırma yoğunluğunda ağır ortam malzemesi olarak kahverengi pirit külü ile iri boyutta ayırım gerçekleştiren Drewboy ayırıcısı için çizilen hatalı ayrılmış malzeme eğrisi çizilmiştir.

Tablo 3.16. Kahverengi pirit külü ile Drewboy ayırıcısı temiz kömür yüzdürme sonuçları

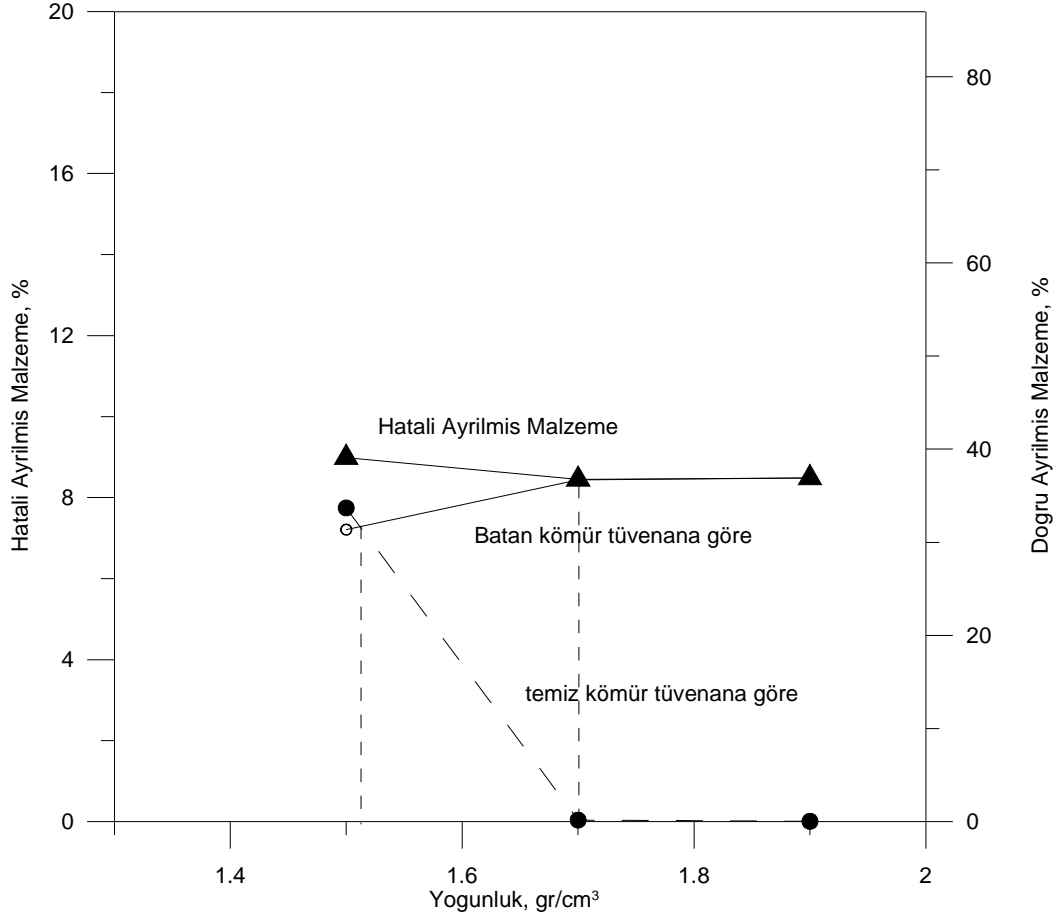
Yoğunluk	Ort. Yoğ.	Miktar (gr)	Miktar (%)	Kül (%)	Temiz Kömür Verimi (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Dağılım Faktörü (%)
-1,4	/	8683,90	84,51	11,74	50,0	42,3	50,0	94,2
1,4-1,6	1,5	1583,70	15,41	22,76	50,0	7,7	7,7	21,1
1,6-1,8	1,7	6,40	0,06	37,00	50,0	0,0	0,0	0,6
1,8-2	1,9	1,90	0,02	35,54	50,0	0,0	0,0	4,7
2	/	0,00	0,00	0	50,0	0,0	0,0	0,0
		10275,90	100,00	13,5	50,0	50,0	0,0	50,0

Tablo 3.17. Kahverengi pirit külü ile Drewboy ayırıcısı atık şist yüzdürme sonuçları

Yoğunluk	Ort. Yoğ.	Miktar (gr)	Miktar (%)	Kül (%)	Temiz Kömür Verimi (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Dağılma Faktörü (%)
-1,4	/	783,60	5,24	26,14	50,0	2,6	2,6	5,8
1,4-1,6	1,5	8603,70	57,49	24,93	50,0	28,7	31,4	78,9
1,6-1,8	1,7	1604,20	10,72	39,47	50,0	5,4	36,7	99,4
1,8-2	1,9	55,80	0,37	51,86	50,0	0,2	36,9	95,3
2	/	23,90	0,16	66,95	50,0	0,1	37,0	100,0
		14966,20	100		50,0	50,0	87,0	50,0

Tablo 3.18. Kahverengi pirit külü ile Drewboy ayırıcısı tüvenanın hesaben bulunan yüzdürme sonuçları

Yoğunluk	Ort. Yoğunluk	Hesaplanan Tüvenan Miktar (%)	Kül (%)	Hatalı Ayrılmış Malzeme (%)	Doğru Ayrılmış Malzeme (%)
-1,4	/	44,9	12,6	52,6	47,4
1,4-1,6	1,5	36,4	24,5	39,1	60,9
1,6-1,8	1,7	5,4	39,5	36,8	63,2
1,8-2	1,9	0,2	51,1	36,9	63,1
2	/	0,1	67,0	37,0	63,0
		100,0	6,7	87,0	13,0



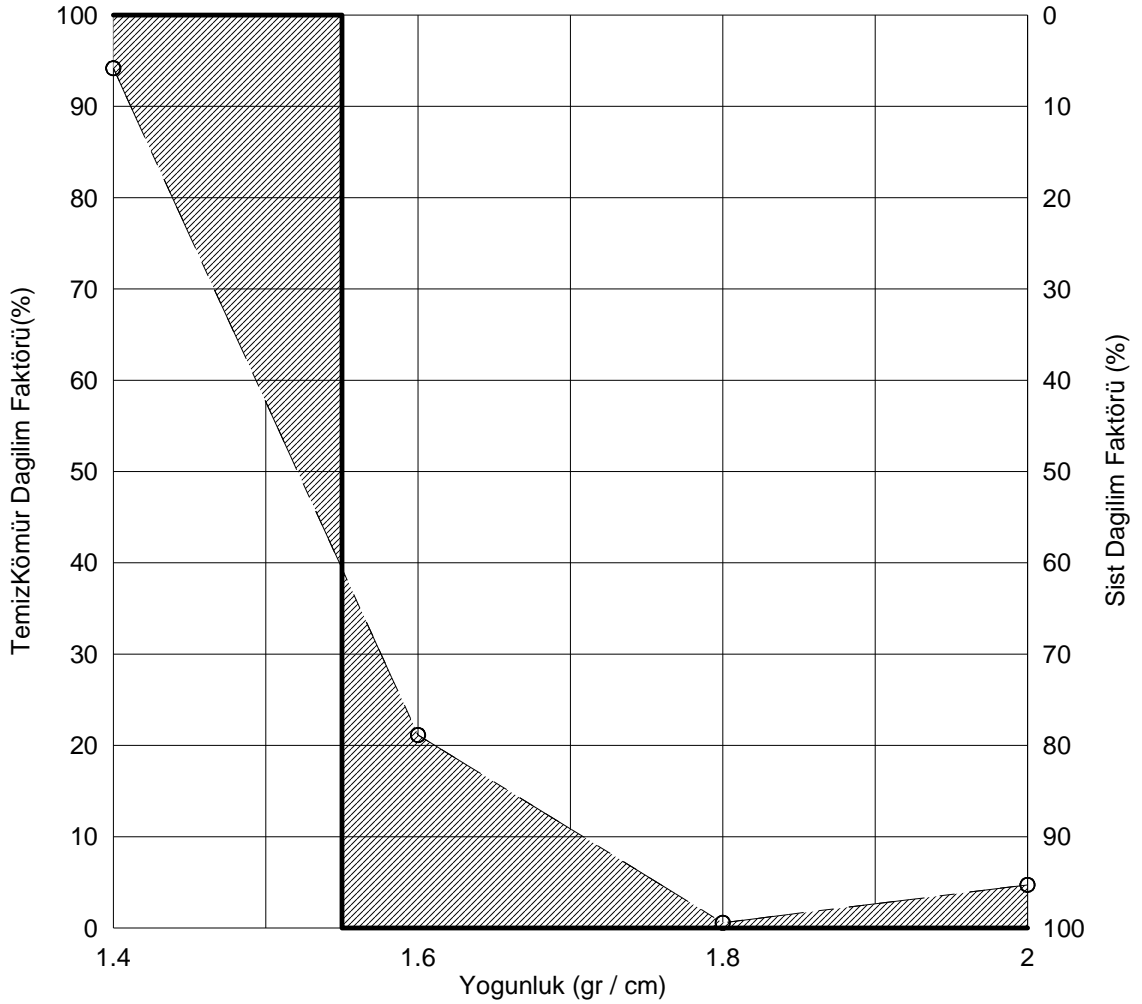
Şekil 3.16. Kahverengi pirit külü ile Drewboy ayırıcısı için hatalı ayrılmış malzeme eğrisi

Ortalama yoğunluklara karşı toplam hatalı ayrılmış malzeme değerinin çizilmesi ile elde edilen eğriden ayırma yoğunluğuna tekabül eden (tesiste Drewboy ayırıcısı için $1,7 \text{ gr/cm}^3$) miktara bakıldığında, tesiste yapılan ayırma işleminde hatalı olarak ayrılmış toplam malzeme miktarı, tüvenana göre yüzde olarak % 8,5 olarak tespit edilmektedir. Yani doğru ayrılmış malzeme miktarı %91,5 olup, bu ayırma hatasının ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilmesi araştırılan kahverengi pirit külünün ağır ortam malzemesi olarak kullanımındaki bazı eksikliklerinden (manyetik içerik, safsızlık...) kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Temiz kömür ve atış şistteki hatalı ayrılmış malzemeleri temsil eden eğrilerde ayrı ayrı çizildiğinde, bu ki eğrinin kesim noktası eşit hatalar yoğunluğunu vermektedir ve buradaki ayırma yoğunluğu $1,52 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Bu sonuca istinaden

kahverengi pirit külü ile ayrımı gerçekleştiren Drewboy ayırıcısının performans değerlendirmesini belirlemek amacıyla tromp eğrisi çizilmiştir.

Tromp eğrisine göre performans değerlendirmesini ortaya koyan Şekil 3.17'den, fiili ayırma yoğunluğunun $1,55 \text{ gr/cm}^3$ olduğu anlaşılmakta olup; bunun yanında ayırma verimi açısından değerlendirme yapıldığında Ep değeri $0,16$ çıkmıştır. İyi bir yıkama işlemi olması için bu değerin $0,1$ ' in altında olması gerekmektedir. Burada elde edilen sonuç bu sınırın az oranda aşılmış olduğunu görülmektedir. Fakat geniş literatür çalışmalarından ayılan araştırmalar bakıldığında iri boyuta ayırma yapan ağır ortam cihazlarında bu şekilde kayıplar gerçekleştiği söylenilmektedir. Daha öncesinde yapılan hatalı ayırılmış malzeme eğrisinden de görüleceği gibi, şistteki kaçak malzeme bu sonucun nedenidir. Sonuç olarak iri kömür aygıtında elde edilen yıkama performansı, artıktaki kömür kaçağı nedeniyle bir miktar düşük gerçekleşmiş olmasına rağmen, kabul edilebilir sınırlardadır.



Şekil 3.17. Kahverengi pirit külü ile ayırma yapan Drewboy ayırıcısının performans eğrisi

3.4.2. Bakır Curufu

Kömür yıkama tesislerinde ürün kalitesi ve verimlilik yönünden değerlendirilmesi ile ilgili olarak tesiste ikincil yıkama işlemi için kullanılan Drewboy ağır ortam ayırıcısı ile $1,7 \text{ gr/cm}^3$ ayırma yoğunluğunda bakır curufu ile iri boyutta kömür yıkamadan elde edilen temiz kömür ve atık şisttin Tablo 3.19 ve 3.20’de verilen yüzdürme deneyi sonuçları ile, bunların hesaben bulunan ve Tablo 3.21’de verilen tüvenana ait yüzdürme sonuçları kullanılarak tromp eğrisi ve hatalı ayrılmış malzeme eğrisi ayrı ayrı ele alınarak aşağıda incelenmiştir. Aşağıda Şekil 3.18’de, tesiste $1,7 \text{ gr / cm}^3$ ayırma yoğunluğunda ağır ortam malzemesi olarak kahverengi bakır curufu ile iri boyutta ayırım gerçekleştiren Drewboy ayırıcısı için çizilen hatalı ayrılmış malzeme eğrisi çizilmiştir.

Tablo 3.19. Bakır curufu ile Drewboy ayırıcısı temiz kömür yüzdürme sonuçları

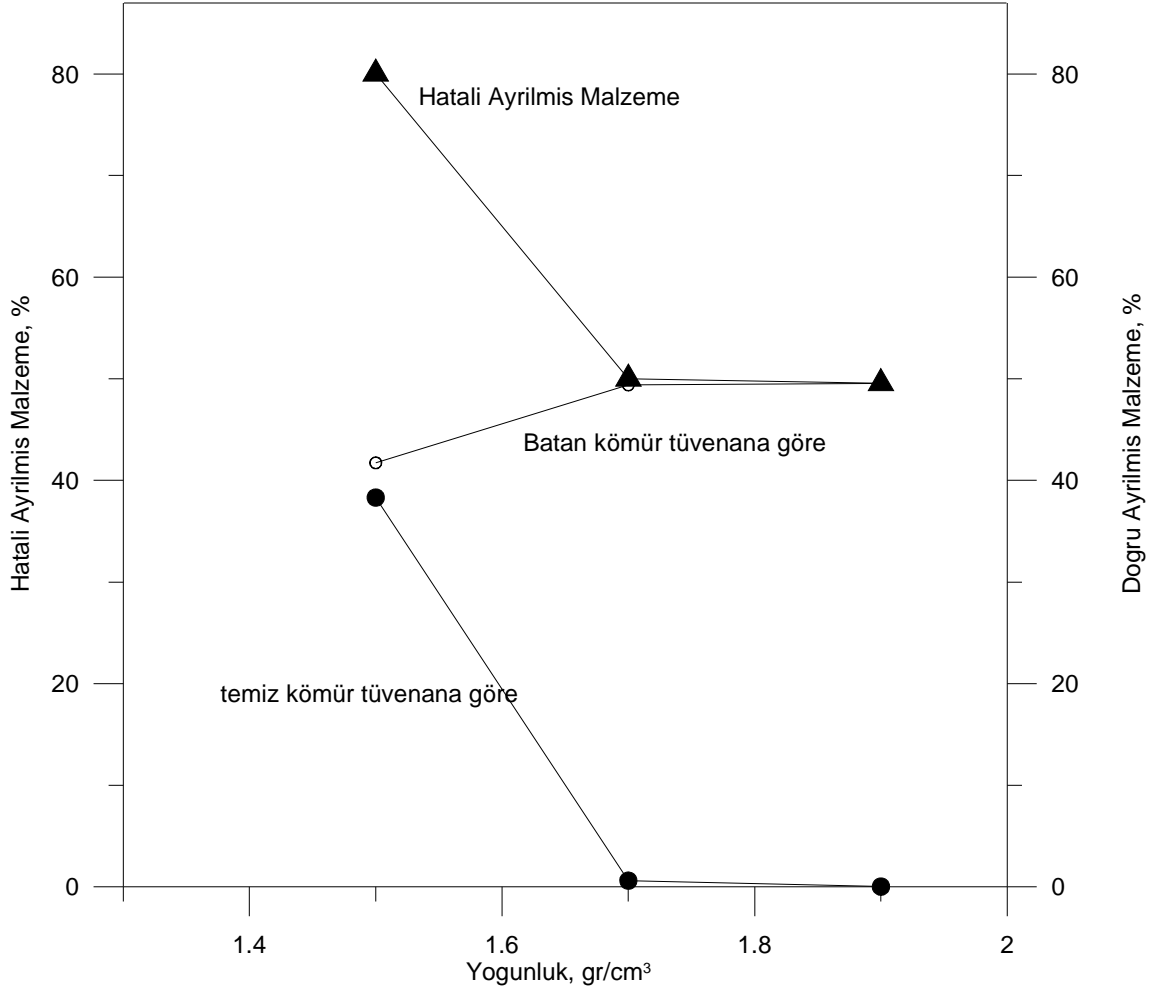
Yoğunluk	Ort. Yoğunluk	Miktar (gr)	Miktar (%)	Kül (%)	Temiz Kömür Verimi (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Dağılma Faktörü (%)
-1,4	/	3462,80	23,39	15,34	50,0	11,7	50,0	99,4
1,4-1,6	1,5	11162,00	75,40	23,68	50,0	37,7	38,3	47,5
1,6-1,8	1,7	173,50	1,17	39,53	50,0	0,6	0,6	7,1
1,8-2	1,9	5,50	0,04	50,35	50,0	0,0	0,0	10,8
2	/	0,00	0,00	0	50,0	0,0	0,0	0,0
		14803,80	100,00	21,9	50,0	50,0	0,0	50,0

Tablo 3.20. Bakır curufu ile Drewboy ayırıcısı atık şist yüzdürme sonuçları

Yoğunluk	Ort. Yoğunluk	Miktar (gr)	Miktar (%)	Kül (%)	Temiz Kömür Verimi (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Tüvenana göre miktar (%)	Dağılma Faktörü (%)
-1,4	/	7,90	0,14	9,48	50,0	0,1	0,1	0,6
1,4-1,6	1,5	4432,20	83,30	20,90	50,0	41,7	41,7	52,5
1,6-1,8	1,7	815,90	15,33	29,12	50,0	7,7	49,4	92,9
1,8-2	1,9	16,30	0,30	56,53	50,0	0,2	49,5	89,2
2	/	48,30	0,90	63,80	50,0	0,5	50,0	100,0
		5320,60	100	22,6	50,0	50,0	100,0	50,0

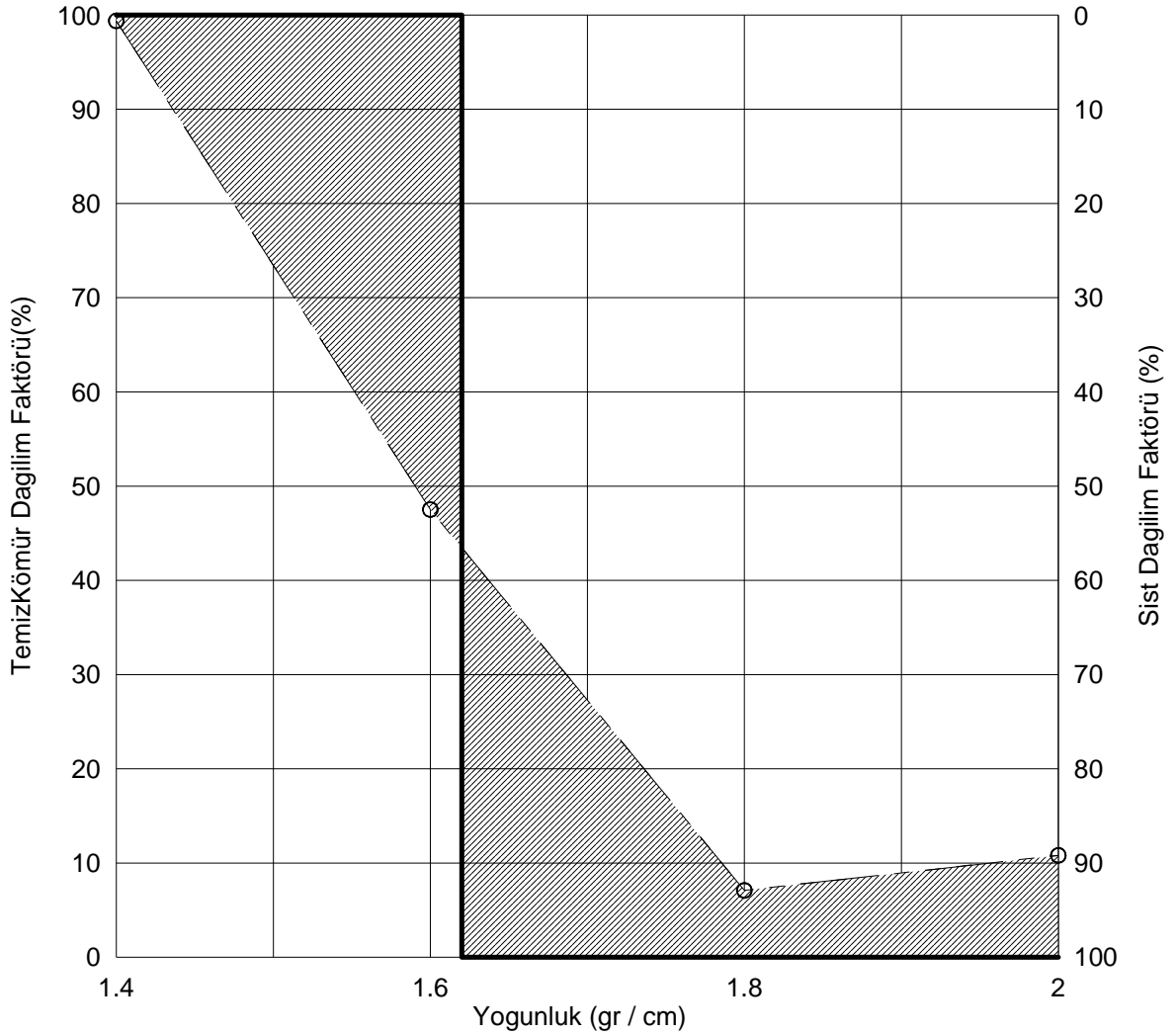
Tablo 3.21. Bakır curufu ile Drewboy ayırıcısı tüvenanın hesaben bulunan yüzdürme sonuçları

Yoğunluk	Ort. Yoğunluk	Hesaplanan Tüvenan Miktar (%)	Kül (%)	Hatalı Ayrılmış Malzeme (%)	Doğru Ayrılmış Malzeme (%)
-1,4	/	11,8	15,3	50,1	49,9
1,4-1,6	1,5	79,4	22,2	80,0	20,0
1,6-1,8	1,7	8,3	29,9	50,0	50,0
1,8-2	1,9	0,2	55,9	49,6	50,4
2	/	0,5	63,8	50,0	50,0
		100,0	22,3	100,0	0,0



Şekil 3.18. Bakır curufu ile Drewboy ayırıcısı için hatalı ayrılmış malzeme eğrisi

Ortalama yoğunluklara karşı toplam hatalı ayrılmış malzeme değerinin çizilmesi ile elde edilen eğriden ayırma yoğunluğuna tekabül eden (tesiste Drewboy ayırıcı için $1,7 \text{ gr/cm}^3$) miktara bakıldığında, tesiste bakır curufu ile yapılan ayırma işleminde hatalı olarak ayrılmış toplam malzeme miktarı, tüvenana göre yüzde olarak % 50 olarak tespit edilmektedir. Yani doğru ayrılmış malzeme miktarı %50 olup, bu ayırma hatasının ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilceği araştırılan bakır curufunun ağır ortam malzemesi olarak kullanımındaki bazı eksikliklerinden (manyetik içerik, safsızlık...) kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda tromp eğrisi çizilerek Drewboy ayırıcısının performans değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 3.19. Bakır curufu ile ayırım yapan Drewboy ayırıcısının performans eğrisi

Tromp eğrisine göre performans değerlendirmesini ortaya koyan Şekil 3.19'dan, fiili ayırma yoğunluğunun $1,62 \text{ gr/cm}^3$ olduğu anlaşılmakta olup; bunun yanında ayırma verimi açısından değerlendirme yapıldığında Ep değeri 0,14 çıkmıştır. İyi bir yıkama işlemi olması için bu değer 0,11' in altında olması gerekmektedir. Burada elde edilen sonuç bu sınırın az oranda aşılmış olduğunu görülmektedir. Fakat geniş literatür çalışmalarından ayılan araştırmalar bakıldığında iri boyuta ayırım yapan ağır ortam cihazlarında bu şekilde kayıplar gerçekleştiği söylenilmektedir. Daha öncesinde yapılan hatalı ayrılmış malzeme eğrisinden de görüleceği gibi, şistteki kaçak malzeme bu sonucun nedenidir. Sonuç olarak iri kömür aygıtında elde edilen yıkama performansı, artıktaki kömür kaçağı nedeniyle bir miktar düşük gerçekleşmiş olmasına rağmen, kabul edilebilir sınırlardadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Eski Çelttek Kömür İşletmesindeki kömür yıkama tesisin performans değerlendirmesi, ağır ortam malzemesinin (manyetit) kayıpları ve manyetite alternatif olarak bakır curufu ve pirit külünün ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Malzemelerin karakteristik özellikleri incelendiğinde, tesiste kullanılan manyetit numunesi yoğunlukla manyetitten oluşmasına rağmen az miktarda da hematit ve kuvars içerdiği görülmektedir. Alternatif ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenen pirit külü numunesi manyetitin yanı sıra ağırlıklı olarak hematit içerirken bakır curufu numunesi az oranda manyetit ve bunun yanında kuvars içermektedir. Bu safsızlıklarından dolayı malzemelerin yoğunlukları, manyetik duyarlılıkları standartlara uymamaktadır. Malzemelerin karakteristik özelliklerinin uygun özellikleri taşımaması manyetik geri kazanım birimlerinde verimsizliklere neden olabileceğini göstermiştir

Malzemelerin düşük alan şiddetli manyetik ayırıcı ile geri kazanılabilirliklerine bakıldığında ise manyetit numunesi %85,50 verimle kazanılırken kahverengi pirit külü %75,51 ve bakır curufu ise %56,53 verimle kazanılmaktadır. Bu sonuçlar göre; pirit külünü geri kazanım verimi, manyetitle kıyaslandığında kazanımın çok düşük olmadığı görülmüştür. Sonuçta pirit külünün tesiste geri kazanım birimindeki değişiklikler yapılarak ve/veya malzeme kalitesinin artırılması için yapılabilecek düzenlemeler sonucunda tesiste ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliğinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Tesiste yapılan incelemeler doğrultusunda süzme-yıkama elekleri için manyetit kaybının standartlara göre yüzen üründe (lave) batan ürüne (şist) göre daha yüksek olduğu ve beklenin tersine iri tanelerin düşlanması sırasında kaybın daha fazla gerçekleştiği tespit edilmiştir. Manyetik ayırıcının etkinliğinin araştırılması üzerine yapılan incelemeler göstermektedir ki tesiste manyetik ayırıcı beslemesinin hacimsel katı oranları standarda (hacimsel katı oranı yaklaşık %16, ağırlıkça katı oranı ise 250 gr/lit) göre çok düşük değerlerde bulunmaktadır. Bu durum manyetik ayırmanın performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı da, tesiste geri kazanım ünitesinin litaratürde önerilen devrelerde olduğu gibi seperatör öncesinde veya sonrasında koyulaştırma sistemi kurulmasının doğru olacağı, seperatörün alan şiddetinin artırılmasının gerektiği, yıkama

performansının iyileştirilmesi için elek kapasitesinin artırılması gerektiği, fiskiyelerin konumunun ve su şiddetinin doğru ayarlanmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

Tesiste uygulanan ağır ortam değerlendirmesine göre; tesiste birincil ayırıcı olarak kullanılan tambur ağır ortam ayırıcısında $1,8 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğunda ayırım gerçekleştirilmektedir. Yüzdürme-batırma testler sonucuna bu yoğunlukta ayırım yapıldığında %19,89 küllü 58,08 temiz kömür elde edilirken %70,76 külü %41,92 atık şist elde edilmektedir. Performans değerlendirmesi için çizilen hatalı ayrılmış malzeme eğrisine göre $1,8 \text{ gr/cm}^3$ ayırma yoğunluğuna tekabül eden hatalı olarak ayrılmış toplam malzeme miktarı, tüvenana göre %6,35 olarak tespit edilmiştir. Bu doğrultuda tesiste kullanılan tambur ayırıcının performansının değerlendirilmesi açısından çizilen Tromp eğrisinden gerçekte fiili ayırma yoğunluğunun $1,7 \text{ gr/cm}^3$ olduğu tespit edilmiştir. Performansı ortaya koyan Ep değerine bakıldığında standarda çok yakın çıktığı görülmüştür ve iri boyutlu ayırım yapan ağır ortam cihazlarında bu şekilde kayıpların gerçekleşebileceği kanısına varılmıştır.

Tesiste birincil yıkama işlemi olarak kullanılan tambur ağır ortam ayırıcısından elde edilen temiz kömürün sonrasında ikincil yıkama için $1,70 \text{ gr/cm}^3$ 'de Drewboy ağır ortam ayırıcı ile iri boyutta kömür yıkama gerçekleştirilmektedir. Bu yoğunlukta ayırım yapıldığında % 14 küllü olarak malzemenin % 98 temiz kömür olarak elde edilirken, % 44 küllü % 2 mikst elde edilmektedir. Hatalı ayrılmış malzeme eğrisine göre hatalı olarak ayrılmış toplam malzeme miktarı, tüvenana göre % 48 olarak tespit edilmektedir. Bu oran çok yüksek olup Drewboy ayırıcısına ait tromp eğrisi çizilerek performansı değerlendirilmiştir. Tromp eğrisine göre performans değerlendirmesine göre fiili ayırma yoğunluğunun $1,5 \text{ gr/cm}^3$ olduğu anlaşılmakta olup; bunun yanında ayırma verimi açısından değerlendirme yapıldığında Ep değerinin standardın çok üzerinde çıktığı görülmüştür. Sonuç olarak iri kömür yıkama aygıtında elde edilen yıkama performansı, mikst içindeki kömür kaçağı nedeniyle düşük gerçekleşmiştir.

Tesiste gerçekleştirilen bu iki yoğunluklu ayırımın doğruluğunun tespiti açısından çift yoğunluklu ayırımlarda değerlendirme için kullanılan M- eğrisi $1,7 \text{ gr/cm}^3$ ile $1,8 \text{ gr/cm}^3$ ayırma yoğunluklarına göre çizilmiştir. M-eğrisi değerlendirmelerine göre; elde edilen sonuçlarda $1,8$ ayırma yoğunluğu için yüzen miktarın tesisteki tambur ayırıcıdan elde edilen miktara yakın olduğu hata miktarının da kabul edilebilirler sınırları içinde olduğu zaten tespit edilmiştir.

Tesiste $1,7 \text{ gr/cm}^3$ ayırma yoğunluğu için Drewboy ayırıcısında alternatif malzeme olarak düşünülen pirit külü ve bakır curufu malzemeleri ile deneme çalışmaları yapılmıştır.

$1,7 \text{ gr/cm}^3$ ayırma yoğunluğunda ağır ortam malzemesi olarak pirit külü kahverengi ile iri boyutta ayırım gerçekleştiren drewboy ayırıcısı için çizilen hatalı ayrılmış malzeme eğrisi çizilmiştir. Sonuçta hatalı olarak ayrılmış toplam malzeme miktarı, tüvenana göre yüzde olarak % 8,5 olarak tespit edilmektedir. Tromp eğrisine ise göre Drewboy ayırıcısının performans değerlendirmesini yapılarak fiili ayırma yoğunluğunun $1,55 \text{ gr/cm}^3$ olduğu anlaşılmakta olup; bunun yanında ayırma verimi açısından değerlendirme yapıldığında Ep değerinin standart sınırın az oranda aştığı görülmüştür. Fakat iri boyuta ayırım yapan ağır ortam cihazlarında bu şekilde kayıplar gerçekleştiği söylenilmektedir. Sonuç olarak iri kömür aygıtında elde edilen yıkama performansı, artıktaki kömür kaçağı nedeniyle bir miktar düşük gerçekleşmiş olmasına rağmen, kabul edilebilir sınırlardadır.

Tesiste ikincil yıkama işlemi için kullanılan Drewboy ağır ortam ayırıcısı ile $1,7 \text{ gr/cm}^3$ ayırma yoğunluğunda bakır curufu ile iri boyutta kömür yıkaması sonucunda; hatalı olarak ayrılmış toplam malzeme miktarı, tüvenana göre yüzde olarak % 50 olarak tespit edilmektedir. Bu bağlamda tromp eğrisi çizilerek drewboy ayırıcısının performans değerlendirmesi yapılmıştır. Tromp eğrisine göre performans değerlendirmesine göre fiili ayırma yoğunluğunun $1,62 \text{ gr/cm}^3$ olduğu anlaşılmakta olup; bunun yanında ayırma verimi açısından değerlendirme yapıldığında Ep değerinin standart sınırı az oranda aşılmış olduğunu görülmüştür. Bu sonuca göre iri boyut kömür yıkaması için bakır curufu kullanımının kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak tesiste pirit külü kahverengi ve bakır curufu ile yapılan kömür yıkama çalışmaları için yapılan değerlendirmelere göre, kullanılabilirliklerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür. Ancak malzemelerin gerek karakteristik özellikleri açısından olsun gerekse geri kazanılabilirleri açısından standartlara uymamasından dolayı, bu malzemelerin tesiste kullanılabilmesi için öncelikle manyetik ayırıcı ile ön zenginleştirmeye tabi tutulup sonrasında ağır ortam malzemesi olarak kullanılabilirliğinin daha doğru olacağı ön görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

- Alp, İ., Deveci, H. ve Sngn, H., 2008. Utilization of Flotation Waste of Copper Slag as Row Material in Cement Production, Journal of Hazardous Materials, 159, 390 – 395.
- Alp, İ., Deveci, H., Yazıcı, E. Y., Türk, T. ve Sngn, Y. H., 2009. Potantio Use of Pyrite Cinders as Raw Meterial in Cement Production: Resuls of industrial Scale Trial Operation, Journal of Hazordous Materials, 166, 144 – 149.
- Arslan, V., 2006. Kuru Kömür Hazırlama Yöntemleri, Madencilik Dergisi, 45, 3, 9-18.
- Arslan, V. ve Kemal, M., 2004. Kömür Hazırlama ve Türkiye’deki Uygulamalar, Türkiye 14 Kömür Kongresi, Zonguldak, 2-4 Haziran: Bildiriler Kitabı, 217-227.
- Arslan, V., 2007. Kuru Yöntemle Kömür Zenginleştirme, D.E.., Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Atak, S., Atesok, G. ve Yıldırım, 1999. Kömür Hazırlamada Yenilikler, Ed: nal, G. ve Atesok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, YMGV, 79-91.
- Ateşok, G. ve Yamak, N., 1992. Zonguldak Merkez Lavvar -0,5mm Kömürünün Reichert Spirali ile Zenginleştirilmesi, Türkiye 8. Kömür Kongresi,4-8 Mayıs, Zonguldak, Bildiri Kitabı: 165-180.
- Ateşok G., 1986. Kömür Hazırlama, Kurtiş Matbaası, İstanbul.
- Biçer, A. ve Yalçın, H., 2007. İnorganik Kimyasal Teknoloji, İlke Yayınevi, Ankara.
- Burt, R.O., 1984. Gravity Concentration Technology, New York.
- Çelik, H., 2006. İnce Kömürlerin Temizlenmesinde Köpük Flotasyonu ve Ağır Ortam Siklonlarının Entegrasyonu, DE, Fen ve Mühendislik Dergisi, 8, 2, 93-106.
- Çetiner, E.G., ner, B. ve Hindistan, M.A., 2006. Maden Atıkları ile Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye, Madencilik, 45, 23-24, Ankara.
- Dardis, K. A., 1989. The Design ve Operation of Heavy Medium Recovery Circuits for Improved Medium Recovery, Coal Preparation, 7, 119-157.
- Davanport, W.G.L., King, M., Schlesinger ve Biswas, A.K., 2002. Extractive Metallurgy of Copper, Oxford.
- Demirci, S., Staj Notları (Emet Bor İşletmesi), 2007. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Deng, T. ve Ling, Y., 2002. Processing of Copper Converter Slag for Metals Reclamation, Part II : Mineralogical Study, Waste Manage, 22, 376 – 378.
- D.P.T.,2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Plnı, Devlet Planlama Teşkilatı Yayın No, 2605, Başbakanlık Basımevi, Ankara.
- Garas, B., Jana, R. ve Pramchand, K., 2003. Characteristics ve Utilization of Copper Slag – a review, Resources, Conservation and Recycling, 39, 299 – 313.

- Gitmez, A. , 2005. Seyitömer ve Soma Linyit Kömürleri için Zenginleştirme Tesis Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Cevher Hazırlama Ana Bilim Dalı, Eskişehir.
- Güney, A., Atesok, G., Önal, G., ve Altas, A., 1196. Kömür Zenginleştirme Teknolojisindeki Yenilikler, Ed; Önal, G., ve Atesok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri 3, 13-14 Ekim, YMGV, 277 s.
- Kemal, M ve Arslan, V., 1999. Kömür Teknolojisi, D.E.Ü., Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- Kural, O., 1991, Kömür, İTÜ. Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Mikhail, M. W. ve Osborne, 1990. D. G., Magnetite heavy media: standards and testing procedures, Coal Preparation, 8, 111-121.
- Mervit,C. ve Roy, D., 1986. Coal Exploration, Mine Planing and Development, Elsevier Science,480.
- Mular, A., L. ve Bhappu, R., B., 1980. Mineral Processing Plant Design, 2nd Edition, Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York.
- OECD / IEA, 2010. Coal Information, International Energy, Paris, France.
- Önal, G. ve Ateşok, G., 1994. Cevher Hazırlama El Kitabı, İTÜ, İstanbul.
- Önal, G. ve Günay, A., 1998. Kömür Hazırlama Yöntemleri ve Tesisleri, İstanbul.
- Özbayoğlu, G. ve Bilgen, S., 1997. Türkiye'deki kömür yıkama tesisleri, Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri IV, Ankara, 14-15 Kasım.
- Özer, M. ve Orhan, M., 2007. Lazer Kırınım Yöntemiyle Zeminlerin Tane Büyüklüğü Dağılımının Belirlenmesi: Genel ilkeler ve örnek hazırlama yöntemi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 22, 2, 217-226.
- Özpeker, I., 1991. Kömür Oluşumu Petrografisi ve Sınıflandırılması, Ed: Kural, O., Kömür, Kurtis Matbaası, İzmir.
- Rayner, J.G. ve Napier-Munn, T.İ., 2000. The Mechanism of Magnetic Cepture in the Wet Drum Magnetic Seperator, Minerals Engineering, 13,3, 277.
- Sidenko, N. V., 1999. Waste of sülfüric acid manüfature as a source of noble metals, Journal of Mining Science, 35, 5.
- Sripriya, R., Rao, P.V.T., Bapat, J.P., Singh, N.P. ve Das, P., 2003. Development of an Alternative to Magnetite for use as Heavy Media in Coal Washeries, International Journal of Mineral Processing, 55-71.
- Sripriya, R., Dutta, A., Dhall, P.K., Narasimha, M., kumar, V. ve Tiwai, B.S, 2005. An analysis of medium losses in coal washing plants, International Journal of Mineral Processing, 80, 177-188.
- Svoboda, J., 1987. Magnetic Methods for Treatment of Minerals, Elsevier, Amsterdam.

- Svoboda, J., 2004. Magnetic Techniques for Treatment of Materials, Developments of Processing, Kluwer Academic Pub., London.
- Şahinoğlu, E., 2006. Müzret (Artvin-Yusufeli) Kömürünün Yağ Aglomerasyonu ile Temizlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Ana Bilim Dalı, Trabzon.
- TS1824 / ISO923, 2003. Kömür Yıkama Donanımı-Performans Değerlendirmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS3037/ ISO7936, 2003. Taş kömürü-Yüzme –Batma Özelliklerinin Tayini ve Gösterilmesi-Cihaz ve İşleri için genel talimatlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE ISO 1171, 2006. Katı Mineral Yakıtlar, Kül Miktarı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10450, 1992, Manyetit-Kömür Hazırlamada Kullanılan Deney Metotları, , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tuğrul,N., Derun, E.M. ve Pişkin, M., 2007. Utilization of Pyrite Ash Wastes by Pelletization Process, Power Technology, 176, 72-76.
- Ünlü, M., 1989. M-Eğrisi ve Kullanımı, Madencilik Dergisi, Maden Mühendisleri Oda Yayımları, XXVIII, 1, 25-33.
- Üzülmez, M ve Yeldan, M., 1990. Kömürlerimizin Değerlendirilmesi, Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı, Değerlendirme Raporu, İstanbul.
- Varınca, K.B. ve Gönüllü, M.T., 2006. Katı Atık Bertarafında Katılaştırma Yönteminin Teknik ve Ekonomik Yönden İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Virals, J., Bolart, M. S. ve Roa, A., 2002. Inertization of pyrite cinders and co – inertization with electric arc furnace flue dust by pyroconsolidation at solid state, Waste Management, 22, 773 - 782.
- Vomerali, T., Bondiero, M., Coletto, L., Zanetti, F., Dickinson, N. M. and Masco, G., 2009. Phytoremediation trails an metal – and arsenic – contaminated pyrite wastes (Torviscoso, Italy), Environmental Pollution, 157, 887 – 894.
- Zang, Y., Sang, S., Yang, D. ve Yang, S., 2004. Dense Medium Separation of Course Andalusite using Waste Iron Powder as Solid Medium, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 113, 60-64.
- Üzülmez, M. ve Yeldan, M., 1990. Kömürlerimizin Değerlendirilmesi, Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Geliştirme Daire Başkanlığı, Değerlendirme Raporu, İstanbul.
- Yıldız, N., 2007. Cevher Hazırlama, Ertem Basım, Ankara.
- Yüce, S., Alp, İ., Sarı, S., Arabacı, R. ve Karagöz, H., 2009. Kömür Yıkama Tesislerinde Ağır Ortam Kayıplarının Nedenleri – Eski Çeltik Kömür Yıkama Tesisinin Analizi, Türkiye 21. Uluslararası Madencilik Kongresi, 22 Mayıs, Antalya, Bildiri Kitabı: 423-431.

URL1. http://www.tki.gov.tr/dosyalar/komur_nedir.pdf, 11 Eylöl 2010.

URL2. http://www2.cedgm.gov.tr/icd_raporlari/amasyaicd2008.pdf, 5 Ocak 2010.

URL3. <http://www.eskiceltekt.gov.tr>, 17 Eylöl 2010.

URL4. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/0546457187cf3d5_ek.pdf, 23 Kasım 2010.

ÖZGEÇMİŞ

16 Nisan 1985’de Eskişehir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Eskişehir’de tamamladıktan sonra 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı.

Üniversite eğitimi süresince belirli dönemlerde Kütahya Seyitömer Kömür İşletmesi ve Kastamonu Küre Eti Bakır İşletmesi’nde meslek stajlarını tamamladı. Ayrıca lisans bitirme tez çalışmasının konusu “Kolemanit Cevherinin Isıl İşleme Zenginleştirilmesi” dir. Tez çalışmalarını Eti Bor Emet Kolemanit İşletmesi’nde yaptı.

2007’de lisans eğitimini 3,17 ortalama ile bölüm birincisi olarak bitirdi. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başvurarak bir yıl hazırlık okulunda İngilizce eğitim alarak yüksek lisansa başladı.

2009-2010 yılları arasında Erasmus programı ile Avusturya Leoben Üniversitesi’nde eğitim alma hakkı kazandı. 9 aylık eğitim süresince mesleki dersler alarak başarıyla tamamladı. Halen aynı Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine devam eden Sadiye YÜCE’nin yabancı dili İngilizcedir.

Yüksek Lisans tez çalışması boyunca Amasya Eski Çeltek Kömür Yıkama Tesisi’nde gerek tesis performansının değerlendirmesi ve manyetit kayıplarının araştırılması üzerine gerekse de alternatif ağır ortam malzemesi olarak pirit külü ve bakır curufunun kullanılabilirliği üzerine çalışmalar yaptı.

Yüksek lisans öğrenimi süresinde, 2008-2009 / 2010-2011 yılları arasında KTÜ Maden Mühendisliği Bölümü’nde yarı zamanlı olarak çalıştı. 2011 yılından beri KARGOLD Madencilik Tic. Ltd. Şti’de Maden Mühendisi olarak çalışmaktadır.