

622.7-333
ö 99 t

1996-1438

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU
MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU
PROJE NO : 531

**TÜRKİYE'NİN
YÜKSEK KÜKÜRT İÇERİKLİ LİNYİTLERİNİN
KÖMÜR HAZIRLAMA YÖNTEMLERİYLE
KÜKÜRTTEN ARINDIRILMASI**

Proje Yürütücüsü : Doç. Dr. Gülhan ÖZBAYOĞLU

Kasım 1982, ANKARA

**TÜRKİYE
BİLİMSEL VE TEKNİK
ARAŞTIRMA KURUMU
KÜTÜPHANESİ**

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU
MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

PROJE NO: 531

~~6227~~ - 333

Ö 99 t

TÜRKİYE' NİN

YÜKSEK KÜKÜRT İÇERİKLİ LİNYİTLERİNİN

KÖMÜR HAZIRLAMA YÖNTEMLERİYLE

KÜKÜRTTEN ARINDIRILMASI

Proje Yürütücüsü : Doç. Dr. Gülhan ÖZBAYOĞLU

Bu Proje Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma
Kurumunun Desteği ile O.D.T.Ü Mühendislik Fakültesi,
Maden Mühendisliği Bölümünde Yapılmıştır.

Kasım 1982 - ANKARA

TÜRKİYE
BİLİMSEL VE TEKNİK
ARAŞTIRMA KURUMU
KÜTÜPHANESİ

14726

ÖNSÖZ

Bu rapor, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu tarafından desteklenmekte olan MAG-531 sayılı güdümlü projenin yürütümü sırasında elde edilen bilgi ve sonuçları içermektedir.

Raporla ilgili bütün deneyler Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır.

Araştırmaya konu olan kömür numuneleri tarafımdan TKİ Kurumu'nun çeşitli işletmelerinden alınmıştır.

Gösterdikleri maddi ve manevi yardımlarından dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na ve TKİ Kurumu'na en derin şükranlarımı sunarım.

Deneylerin yapılmasında yardımcı olarak çalışan Maden Yük. Mühendisi Ümit Atalay'a, Maden Mühendisi Neş'e Çelebi'ye, teknisyenler Tuncer Gençtan ve Selahattin Uysal'a da teşekkürlerimi sunarım.

Ankara, Kasım 1982

Gülhan Özbayoğlu

ABSTRAKT

YÜKSEK KÜL VE KÜKÜRT İÇERİKLİ TÜRK LİNYİTLERİNDEN BAZILARININ YIKANABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN SAPTANMASI

Yüksek kül ve kükürt içerikli linyitlerin yıkanabilirlik özelliklerinin belirlenmesi ve safsızlıklarından temizlenebilme olasılıklarının saptanması amacıyla yurdumuzun çeşitli yörelerinden beş linyit numunesi getirilmiştir. Herbirinin kimyasal, fiziksel, mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiş, kül ile kükürt türlerinin içerik ve dağılımları saptanmıştır. İçlerinden piritik/organik kükürt oranı yüksek olan Erzurum-Aşkale linyitinin kül ve kükürttten temizlenebilme olasılıkları ayrıntılı olarak araştırılmış ve yıkanabilirlik özelliğinin belirlenmesine çalışılmıştır. Numunenin yıkanabilme özelliği yüzdürme-batırma deneyleri ile saptanmıştır.

Yapılan çalışmalar, 10 mm'nin altına kırılmış Erzurum-Aşkale linyitinin 1,60 yoğunluğunda yıkamasıyla kül ve piritik kükürttten temizlenmesinin mümkün olduğunu göstermiştir. Bu şekilde, Erzurum-Aşkale linyit numunesinden külün % 65,2'si, piritik kükürtün % 78,9'u, toplam kükürtün ise % 69,8'i uzaklaştırılabilmektedir.

ABSTRACT

Five lignite samples were brought from different mines of Turkey, in order to determine their washability characteristics with a special emphasis on sulfur and ash removal. Physical, mineralogical and petrographic analyses were carried out in addition to the determination of sulfur from and content. Among the samples tested, Erzurum-Aşkale lignite sample with the highest pyritic/organic sulfur ratio was chosen for the washability tests. Float-sink tests were used to compile the washability data.

The tests showed that it was possible to remove pyritic sulfur and ash from Erzurum-Aşkale lignite by washing at 1.60 specific gravity on minus 10 mm crushed sample, with a result of the rejection of 65.2 % ash, 78.9 % pyritic sulfur and 69.8 % total sulfur.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	ii
ABSTRAKT	iii
ABSTRACT	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvii
BÖLÜM	
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel	1
1.2. Problemin Tanımı	3
2. KÖMÜRLERDEKİ BAŞLICA SAFSIZLIKLAR	5
2.1. Nem	5
2.2. Kül	5
2.3. Kükürt	6
2.3.1. Sülfat Kükürtü	6
2.3.2. Piritik Kükürt	7
2.3.3. Organik Kükürt	9
2.3.4. Elementer Kükürt	9
2.3.5. Kükürtün Kömür Damarları İçindeki Dağılımı	10
3. KÖMÜRLERİN KÜKÜRTTEN ARINDIRILMASINDA UYGULANAN YÖNTEMLER	12
3.1. Kimyasal Yöntemler	13
3.2. Biyolojik Yöntemler	15

	<u>Sayfa</u>
3.3. Fiziksel Yöntemler	17
3.3.1. Piritik Kükürtün Fiziksel Yolla Atılması Konusundaki Uygulamalar	20
3.3.1.1. Jigler	23
3.3.1.2. Ağır-Ortam Ayırıcıları	24
3.3.1.3. Humphrey's Spirali	25
3.3.1.4. Sallantılı Masalar	25
3.3.1.5. Flotasyon	26
3.3.1.6. Manyetik Ayırma	27
3.3.1.7. Elektrostatik Ayırma	28
4. KÖMÜRLERİN KÜKÜRTTEN ARINDIRILMASI İÇİN YIKANABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN SAPTANMASI	30
4.1. Yıkanabilirlik Deneylerinin Önemi	30
4.2. Yüzdürme-Batırma Deneyleri	31
4.2.1. Ağır Ortamın Hazırlanışı	32
4.2.1.1. Organik Sıvılar	32
4.2.1.2. İnorganik Tuzların Çözeltileri	33
4.2.2. Yıkanabilirlik Eğrileri ve Yorumu	34
4.3. Yıkanabilirlik Verilerinden Kükürt Atımının İrdelenmesinde Örnekler	36
5. ARAŞTIRMADA UYGULANAN YÖNTEM VE ARAÇLAR	39
5.1. Nümunelerin Hazırlanışı	39
5.1.1. Tuvenan Nümunelerin Alınışı	39
5.1.2. Tuvenan Nümunelerin Kimyasal ve Fiziksel Analizler için Hazırlanışı	41
5.1.3. Petrografik ve Mineralojik Analizler için Nümunenin Hazırlanışı	42

	<u>Sayfa</u>
5.1.4. Oluk Nümunelerinin Yüzdürme-Batırma Deneyi için Hazırlanışı	42
5.2. Kimyasal ve Fiziksel Analiz Yöntemi	43
5.2.1. Kimyasal Analizler	43
5.2.2. Fiziksel Analizler	44
5.2.3. Özgül Ağırlık Tayini	44
5.3. Petrografik ve Mineralojik Analizler	44
5.3.1. Aletler	44
5.3.1.1. Mikroskop	44
5.3.1.2. Otomatik Tane Sayıcı	45
5.3.1.3. Yöntem	45
5.4. Yüzdürme-Batırma Deneyleri	45
5.4.1. Araçlar	45
5.4.2. Yöntem	46
5.5. Zenginleştirme Deneyleri	47
5.5.1. Araçlar	47
5.5.2. Yöntemler	47
6. DENEYSEL BULGULAR	48
6.1. Nümunelerin Özellikleri	48
6.1. Nümunelerin Özellikleri	48
6.1.1. Nümunelerin Kimyasal Analizleri	48
6.1.2. Linyit Nümunelerinin Petrografik ve Mineralojik Analizleri	51
6.1.2.1. Bolu-Merkeşler Linyit Nümunesinin Mineralo- jik Analizi	52

	<u>Sayfa</u>
6.1.2.2. Bolu-Çorak Linyit Nümunesinin Mineralojik Analizi	52
6.1.2.3. Çayırhan Linyit Nümunesinin Mineralojik Analizi	54
6.1.2.4. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesinin Mineralojik Analizi	56
6.1.2.5. Çanakkale-Çan Linyit Nümunesinin Mineralojik Analizi	58
6.1.3. Linyit Nümunelerinin Fiziksel Özellikleri	60
6.1.4. Linyit Nümunelerinin Elek Analizleri	60
6.2. Nümunelerin Yüzdürme-Batırma Deneyleri	64
6.3. Zenginleştirme Deneyleri	84
6.3.1. Gravite Ayırım Deneyleri	84
6.3.2. Flotasyon Deneyleri	92
6.3.3. Manyetik Ayırım Deneyleri	95
7. DENEYSEL BULGULARIN TARTIŞILMASI	98
7.1. Nümunelerin Özellikleri	98
7.1.1. Nümunelerin Kimyasal Özellikleri	98
7.1.2. Nümunelerin Mineralojik ve Petrografik Özellikleri	100
7.1.3. Nümunelerin Fiziksel Özellikleri	101
7.1.4. Nümunelerin Elek Analizleri	101

	<u>Sayfa</u>
7.2. Yıkanabilirlik Deneyleri İçin Nümunelerin Seçimi	102
7.3. Yıkanabilirlik Deneylerinin Tartışılması	103
7.3.1. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesinin Yüzdürme-Batırma Deneyleri	103
7.3.1.1. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesinin, Birincil Kırma Ürünlerinin Yıkanabilirlik Eğrileri	103
7.3.1.2. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesi, İkincil Kırma Ürünlerinin Yıkanabilirlik Eğrileri	113
7.3.1.3. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesi, Üçüncül Kırma Ürününün Yıkanabilirlik Eğrileri	121
7.3.1.4. 0,5 mm'nin Altına Öğütülmüş Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesinin Yıkanabilirlik Eğrileri	125
7.3.1.5. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesinin Yıkanabilirlik Özelliklerinin Beraber İrdelenmesi	128
7.4. Zenginleştirme Deney Sonuçlarının Tartışılması	131
7.4.1. Gravite Ayırım Neticeleri	131
7.4.2. Flotasyon Deneylerinin Neticeleri	132
7.4.3. Manyetik Ayırım Deneylerinin Neticeleri	134
8. SONUÇLAR	135
9. ÖZET	139
10. SUMMARY	142
11. KAYNAKLAR	145

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	Sayfa
1. Kömürlerde bulunan inorganik safsızlıklar	6
2. Kükürt türlerinin çeşitli ülkelerdeki dağılımları	11
3. Kömür ve piritin kimyasal özelliklerindeki farklılıklar	18
4. Uzaklaştırılmayan kükürt dağılımı	21
5. Kömürden piritin uzaklaştırılması olanakları	22
6. Yüzdürme-batırma deneylerinde kullanılan ağır sıvılar	32
7. Ayırma yoğunluğuna yakın madde miktarının ayırmaya etkisi	36
8. Bolu Merkezler linyitinin kimyasal analizi	48
9. Bolu-Çorak linyitinin kimyasal analizi	49
10. Ankara-Çayırhan linyitinin kimyasal analizi	49
11. Erzurum-Aşkale linyitinin kimyasal analizi	50
12. Çanakkale-Çan linyitinin kimyasal analizi	50
13. Linyit numunelerinin ısı değerleri	51
14. Linyit numunelerinin petrografik analizleri	51
15. Linyit numunelerinin özgül ağırlıkları	60
16. Linyit numunelerinin öğütülebilirlik ve iş indeksleri	60
17. Bolu-Merkezler linyit numunesinin elek analizi	61
18. Bolu-Çorak linyit numunesinin elek analizi	61
19. Çayırhan linyit numunesinin elek analizi	62
20. Erzurum-Aşkale linyit numunesinin elek analizi	62

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
21. Çanakkale-Çan linyit nümunesinin elek analizi	63
22. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 +18) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları	66
23. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 18) mm boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları	66
24. Erzurum-Aşkale-linyiti, birincil kırma, (-50 +18) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları	67
25. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 18) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları	67
26. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları	68
27. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma (-18 + 10) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları	68
28. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları	69
29. Erzurum-Aşkale, birincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları	69
30. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-10 +0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları	70
31. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-10 +0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları	70

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
32. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-10 +0,5) mm tane boyutundaki toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları	71
33. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-10 +0,5) mm tane boyutundaki piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları	71
34. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, elek analizi sonuçları	72
35. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-18 +10) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları	73
36. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları	73
37. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları	74
38. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları.	74
39. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları	75
40. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları	75
41. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları	76
42. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-10 +0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları	76

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
43. Erzurum-Aşkale linyiti, üçüncül kırma, elek Analizi sonuçları	77
44. Erzurum-Aşkale linyiti, üçüncül kırma, (-10 +0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları	78
45. Erzurum-Aşkale linyiti, üçüncül kırma, (-10 +0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları	78
46. Erzurum-Aşkale linyiti, üçüncül kırma, (-10 +0,5) mm tane boyutlarındaki yüzdürme-batırma deneyi, toplam kükürt dağılımı neticeleri	79
47. Erzurum-Aşkale linyiti, üçüncül kırma, (-10 +0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme batırma deneyi, piritik kükürt dağılımı neticeleri	79
48. 0,5 mm'nin altına öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin yüzdürme-batırma deneyi sonuçları	80
49. 0,5 mm'nin altına öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyiti yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları	81
50. 0,5 mm'nin altına öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyiti yüzdürme-batırma deneyi, toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları	82
51. 0,5 mm'nin altına öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyiti, yüzdürme-batırma deneyi, piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları	83
52. -10 meşe öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin sallantılı masada yıkanması	85
53. -14 meşe öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin sallantılı masada yıkanması	85
	84

ÇizelgeSayfa

54. -28 meşe öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin sallantılı masada yıkanması	86
55. -28 meşe öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin Humphreys Spiralinde yıkanması	86
56. -10 meşe kırılmış Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin elek analizi	87
57. Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin (-10 +14) meşlik elek fraksiyonunun sallantılı masada yıkanması	87
58. Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin (-14 +28) meşlik elek fraksiyonunun sallantılı masada yıkanması	88
59. Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin (-28 +65) meşlik elek fraksiyonunun sallantılı masada yıkanması	88
60. Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin -65 meşlik elek fraksiyonunun sallantılı masada yıkanması	89
61. -10 meşe öğütülmüş Erzurum-Aşkale nümunesinin sallantılı masa deneylerinin toplam neticesi	90
62. -10 meşe öğütülmüş Erzurum-Aşkale nümunesinin sallantılı masa deneylerinin toplam ürünleri	91
63. Flotasyon deney şartları ve Flotasyon Sonuçları	93
64. Flotasyon Deney No: 8'in sonuçları	94
65. Manyetik alan şiddetinin ayırma etkisi	96
66. Nümunenin tane boyutunun manyetik ayırma etkisi	96
67. Yıkama sayısının, kömür konsantresinin saflığına etkisi	97
68. Linyit numunelerinin kükürt türlerinin toplam kükürtteki dağılımları	103

ÇizelgeSayfa

69. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi sonuçları 108
70. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları 108
71. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi, toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları 109
72. Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma (-50 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi, piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları 109
73. Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, birincil kırma, (-50 + 0) mm tane boyutundaki toplam yüzdürme deneyi sonuçları 112
74. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma (-18 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi sonuçları 116
75. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-18 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları 116
76. Erzurum-Aşkale linyiti ikincil kırma, (-18 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi, toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları 117
77. Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma (-18 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi, piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları 117
78. Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, ikincil kırma (-18 + 0) mm tane boyutundaki toplam yüzdürme batırma deneyi sonuçları 120

Çizelge

Sayfa

79. Erzurum-Aşkale linyiti, üçüncül kırma, (-10 + 0) mm tane boyutundaki toplam yüzdürme batırma deneyi sonuçları 123
80. Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, üçüncül kırma, (-10 + 0) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyinin ısı değeri dağılımı 125
81. Erzurum-Aşkale linyit nümunesinde, farklı boyutlardan elde edilmiş ürünlerin piritik kükürt içerikleri ve dağılımları 128
82. Erzurum-Aşkale linyit nümunesinde, farklı boyutlarda yüzdürülmüş nünunelerin kül içerikleri ve dağılımları 129

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1. Bolu Merkezler linyiti toz parlatmasında piritler	53
2. Bolu-Çorak linyiti toz parlatmasında piritler	54
3. Beypazarı-Çayırhan linyiti toz parlatmasında piritler	55
4. Erzurum-Aşkale linyiti parlak kesitindeki piritler	56
5. Erzurum-Aşkale linyiti toz parlatmasındaki piritler	57
6. Çanakkale-Çan linyiti, parlat kesitindeki piritler	58
7. Çanakkale-Çan linyiti toz parlatmasındaki piritler	59
8. Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, birincil kırma, (-50 + 18) mm. elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri	104
9. Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, birincil kırma, (-18 + 10) mm. elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri	105

ŞekilSayfa

10. Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, birincil kırma, (-10 + 0,5) mm. elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri 106
11. Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, teorik (-50 +0,5) mm. elek fraksiyonunda yıkanabilirlik eğrileri 110
12. Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, ikincil kırma, (-18 + 10) mm. elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri 114
13. Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, ikincil kırma (-10 + 0,5) mm elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri 115
14. Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, ikincil kırma, (-18 + 0,5) mm. elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri 118
15. Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, üçüncül kırma, (-10 + 0,5) mm elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri 122
16. 0,5 mm'nin altına öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin yıkanabilirlik eğrileri 127
17. Erzurum-Aşkale linyit nümunesinde, farklı boyutlarda yüzdürülmüş nünunelerin piritik kükürt ve kül içerikleri 130
18. Erzurum-Aşkale linyit nümunesinde, farklı boyutlarda yüzdürülmüş nünunelerin piritik kükürt ve kül dağılımları 130

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1. Genel

Yurdumuzun gün geçtikçe artan enerji açığı, eldeki kaynakların daha bilinçli değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Uzun dönemde, enerji gereksinimimizin büyük bir kısmının linyitlerden karşılanmasının plânlanması, linyitlerimizin önemini arttırmaktadır.

Yurdumuzun linyit rezervi toplam 7.3×10^9 tondur (34,54). Bu potansiyelin kül ve kükürt içeriği incelendiğinde, şu durumla karşılaşılmaktadır:

Rezervin % 5,34'ü 0-1 arasında, % 52,68'i 1-2 arasında, % 24,49'u 2-3 arasında, % 5,56'sı 3-4 arasında ve % 11,93'ü 4'ten fazla toplam kükürt içermektedir. Yine rezervin % 5'i 0-10 arasında, % 65'i 10-20 arasında, % 24'ü 20-30 arasında ve % 6'sı 30-40 arasında kül içermektedir. Bu rakamlardan görüleceği gibi, linyitlerimizin çoğunluğunun kül ve kükürt içerikleri yüksektir.

Yüksek kül ve kükürt içerikli kömürlerin doğrudan kullanımları, termik ve metalurjik tesislerde birçok sorunlar yaratmakta, aynı zamanda SO₂ gazı yayılımı çevre kirliliğine neden olmaktadır. Yurdumuzda, düşük nitelikli kömürlerin kullanımından

kaynaklanan hava kirliliğinin tehlikeli boyutlara ulaşmasına karşın, henüz bu konuda herhangi bir yasa bulunmamaktadır.

A.B.D.'de 1970 yılında kabul edilen "Temiz Hava Yasası", kömür yakacak yeni tesislerin $SO_x^{(+)}$ yayılımını sınırlamış, eski tesislerde ise 1977 yılına kadar SO_x yayılımını önleyici tedbirler almaya zorlamıştır. Buna göre, 25 MW'dan büyük termik santrallerin çevreye yayabileceği maksimum SO_2 miktarı, 1,2 lb/ 10^6 Btu olarak sınırlandırılmıştır (32,40,52). Diğer bir deyişle, kömürlerin içerebileceği en yüksek kükürt oranı, % 0,6-0,8 olacaktır. Çevre Koruma Bürosu (Environmental Protection Agency EPA) standartlarının titizlikle uygulandığı A.B.D.'de, yeni kısıtlamalar, doğrudan kullanılabilir kömür rezervlerinin azalmasına neden olmuştur. Buna göre, antrasit rezervlerinin % 13'ü, taşkömürü rezervlerinin ise % 86'sı, % 1'in üstünde kükürt içermekte ve EPA standartlarını karşılayamadıklarından dolayı doğrudan tüketimleri mümkün olamamaktadır. A.B.D.'nin kömür potansiyelinin büyük kısmının taşkömürüne dayandığı düşünülürse, EPA standartlarının kullanılabilir rezerve getirdiği kısıtlamanın boyutları daha açık görülür.

Bugün dünyanın birçok ülkesinde, fiziksel yöntemlerle kömürlerden kül ve kükürtü uzaklaştırma olanakları araştırılarak, kullanılabilir kömür rezervlerinin arttırılmasına çalışılmaktadır. Kömürlerin kül ve kükürttten arındırılabilme olasılıkları, yıkanabilirlik özellikleriyle belirlenmekte, yıkanabilir-

+) SO_2 ve SO_3 gazı yayılımı

lik özellikleri ise yüzdürme-batırma deneyleri ile saptanmaktadır.

Bu araştırmada, yurdumuzun yüksek kül ve kükürt içerikli linyitlerinin fiziksel yöntemlerle safsızlıklarından arındırılabilme olasılıklarının saptanmasına çalışılmıştır. Araştırma, temiz yakıt üretimine ışık tutmakla kalmayacak, aynı zamanda hava kirliliği ve yakma aygıtlarındaki korozyon gibi problemlerin çözümüne de katkıda bulunacaktır.

1.2. Problemin Tanımı

Projenin amacı, yurdumuzun çeşitli bölgelerinden alınmış, yüksek kül ve kükürt içerikli linyitlerinin yıkanabilirlik özelliklerinin belirlenmesi ve safsızlıklarından arındırılabilme olasılıklarının saptanmasıdır. Problemin çözümü için yapılan çalışmalar, şu konularda yoğunlaştırılmıştır :

- i) Orijinal numunelerin kimyasal, mineralojik ve petrografik bileşimlerinin tayini; kükürt türlerinin dağılımlarının saptanması,
- ii) Elek analizlerinde, farklı boyutlardaki kül ve kükürt türlerinin dağılımlarının belirlenmesi; fiziksel yöntemlerle temizlemeye uygun numunelerin seçimi,
- iii) Seçilmiş numunelerin elek fraksiyonlarında yüzdürme-batırma deneylerinin uygulanması; verilerin kül ve kükürt uzaklaştırma açısından değerlendirilmesi,

- iv) Tane boyutunun etkisinin belirlenmesi için, çeşitli boyutlara kırılmış nünunelerde yüzdürme-batırma deneylerinin yürütülmesi; verilerin kül ve kükürt uzaklaştırma açısından değerlendirilmesi,
- v) Yıkanabilirlik eğrilerinin çizilmesi; nünunelerin temizlenebilme olasılıklarının eğriler üzerinde tartışılması ve $\mp 0,10$ yoğunluk dağılım eğrisinden ayırmanın zorluk derecesinin saptanması,
- vi) Diğer kömür yıkama yöntemleriyle (gravite ayırım flotasyon ve manyetik ayırım yöntemleri) kömürün kül ve kükürttten arındırılma olasılıklarının tesbiti.

BÖLÜM 2

KÖMÜRLERDEKİ BAŞLICA SAFSIZLIKLAR

Tüketim açısından, kömürlerdeki belli başlı safsızlıklar nem, kül ve kükürttür. Her üç safsızlığın bir kısmı kömüre bağlı olarak, bir kısmı da serbest halde bulunmaktadır. Yalnızca serbest halde bulunan safsızlıkların, fiziksel yöntemlerle kömürden uzaklaştırılması mümkündür.

2.1. Nem

Kömüre bağlı nem (bünye suyu), kömürleşme derecesinin bir özelliği olup, kömürleşme arttıkça azalmaktadır. Taşkömürlerinde bünye suyu % 1-3 olduğu halde, linyitlerde % 45'e kadar çıkabilmektedir⁽³⁷⁾.

Kömürün sonradan rutubetlenmesi ise yüzey nemini (kaba rutubet) oluşturur. Nem, tüketim açısından giderilmesi gereken bir safsızlık olarak nitelendirilmektedir^(37,58).

2.2. Kül

Kömüre bağlı kül (sabit kül), kömürleşme sırasında, kömürü oluşturan bitkinin içindeki inorganik maddelerin bünyeye bağlanmasından ileri gelir⁽³³⁾. Serbest kül ise, kömür damarı

içindeki mineral bantlarının ve yantaşlarının üretim sırasında kömüre karışmalarından kaynaklanır. Sabit kül, kömürün fiziksel yöntemlerle temizlenebileceği en düşük kül yüzdesini belirler. Bu nisbet nadiren % 2'den az, genellikle % 7-8 civarındadır (47). Çizelge - 1'de külü oluşturan mineraller gösterilmiştir.

Çizelge -1: Kömürlerde bulunan inorganik safsızlıklar⁽²⁾

Grup ismi	Mineraller
Şist	Illit, montmorillonit, muskovit
Kaolen	Kaolinit,
Sülfür	Pirit, markasit
Karbonat	Kalsit, siderit, dolomit, ankerit
Klorür	Silvit, halit
Diğerleri	Kuars, jips, rutil, hematit, manyetit, sfalerit, feldspat, zirkon, biyotit, epidot, vs.

2.3. Kükürt

Kükürt, diğer safsızlıkların yanında tartışılmaz en önemlisi olup, kömürde 4 türde bulunmaktadır: Sülfat kükürtü, piritik kükürt, organik kükürt, elementer kükürt,

2.3.1. Sülfat Kükürtü

Kalsiyum ve demire bağlı olan sülfat kükürtlerinden hidratlı kalsiyum sülfat (jips) genellikle kömürün çatlaklarında rastlanan ikincil bir mineral oluşumdur. Bir kömürdeki sülfat kükürt içeriği yüzeysel bozunmayla artmaktadır, örneğin demir

sülfürlerinin oksitlenmesi Fe(2) ve Fe(3) sülfatların oluşmasına neden olur. Kömürde yarım düzineye yakın sülfat minerali bulunmaktaysa da bunlardan en önemlisi melanterit ($\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) ve jarosit [$(\text{Na},\text{K})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$] dir. (37). Demir sülfatlar yalnızca bozunmuş kömürlerde önem taşımaktadırlar. Nadiren yüksek miktarlarda bulunurlar. Örneğin, İngiliz kömürlerinin sülfat kükürt içeriği % 0.2 den azdır (16).

Kömürdeki sülfat kükürtü suda eridiğinden, kömürün arıtılması açısından herhangi bir sorun yaratmamaktadır.

2.3.2. Piritik Kükürt

Piritik kükürt terimi, kömürün pirit ve markasit içeriğini ifade etmek için kullanılır. Bu iki mineralin kimyasal kompozisyonları aynı olduğu halde kristal yapıları farklıdır. Pirit kübik, markasit ise ortorombiktir. Pirit hemen hemen her kömürde bulunduğu halde, markasit seyrek olarak görülmektedir. Bu nedenle piritik kükürt terimi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kömürlerdeki piritlerin oluşumu şu şekilde açıklanmaktadır (14). Kükürt içeren organik maddelerin bozunmasından ortaya çıkan H_2S , kömür formasyonlarındaki sularda bulunan demir karbonatlarla reaksiyona girerek demir sülfürün oluşumuna neden olur. Reaksiyon sonucu çöken demir sülfür sonuçta piritte dönüşür. Piritler aynı zamanda, sulardaki demir sülfatların, organik maddelerin faaliyetiyle indirgenmesinden meydana gelirler. Kükürt ve demir bakterilerinin de, özellikle ince piritlerin oluşumundaki katkıları büyüktür.

Makroskopik piritler kömürde 4 şekilde bulunurlar :

1) Damarlar (kömür yatağı içindeki dikey eklemler boyunca bazan ince ve film gibi, bazen de birkaç cm. yi bulan uzantılar şeklindedir, içlerinde iri kristallerde bulunabilir).

2) Mercekler (şekil ve büyüklük itibariyle çok değişken olup, genellikle yassı ve kesiti uzamış şekilde bulunurlar. Kalınlıkları ve enleri birkaç cm'ye kadar çıkabilen bu merceklerin uzunluğu bazen metrelerce olabilmektedir).

3) Yumrular ve küreler (küresel şekilde olup çapları birkaç cm'den 1 metreye kadar değişebilir. Bu kükürt küreleri çoğunlukla saf pirit olmayıp, kalsit, siderit, kil mineralleri ve organik maddelerden bir veya birkaçını içerirler).

4) Piritleşmiş bitki dokusu (Bitkisel maddenin kömürleşmeye uğramayıp, inorganik maddeyle yer değiştirmesi sonucunda meydana gelir)

Makroskopik piritte ilâveten, sülfür kükürtünün çoğu, yalnızca mikroskop yardımıyla saptanabilecek büyüklükte bulunur. Mikroskopik pirit, bitkisel maddeyle yer değiştirmiş ve hücre dolgusu şeklinde, kömür içine dağılmış kürecikler, damarcıklar ve toz haldeki kristaller olarak görülürler. Chapman ve Rhys⁽¹⁶⁾ araştırmalarında, petrografik bantlardan durain'in içinde 10 mikronluk, fusain'de hücre dokusu içinde 30 mikronluk ve vitrain içinde çatlak dolgusu şeklinde 50-100 mikronluk piritler tesbit etmişlerdir. Genellikle Avrupa kömürlerinde (örneğin Federal Almanya, İngiltere ve S.S.C.B.'de) pirit kümele-

rinin boyları 10-50 mikronla 250 mikron arasında değişmektedir⁽¹²⁾. S.S.C.B.'de Donbas havzası, kömürlerinde piritlerin % 50-60'ı, 20 mikrondan daha küçük taneler halinde bulunmaktadır⁽¹⁰⁾.

2.3.3. Organik Kükürt

Kömürün bünyesine bağlı olarak bulunan kükürt, organik kükürt olarak adlandırılır. Kömürü oluşturan bitkinin artıklarında bulunan proteinler, organik kükürt bileşiklerinin meydana gelmesine neden olurlar⁽¹⁴⁾.

Kömürlerde bulunan başlıca organik kükürt bileşiklerini şunlardır⁽³⁷⁾:

- 1) Merkaptan veya tiol, RSH
- 2) Sülfür veya tio-eter, RSR
- 3) Di-sülfür, RSSR,
- 4) Tiofen halkası içeren aromatik bileşikler.

Organik kükürt, kömürün molekül yapısına bağlı olarak bulunduğundan, molekülleri birarada tutan kimyasal bağlar kırılmadıkça, kömürden uzaklaştırmak mümkün değildir.

2.3.4. Elementer Kükürt

Elementer kükürt kömürlerde çok seyrek olarak görülür. Bazı Hindistan kömürlerinde bulunduğu saptanmıştır⁽¹⁴⁾. İkincil değişimler sonucunda oluştuğu sanılmaktadır. Bazı kömürlerde % 0,15'e kadar elementer kükürt içeriği tesbit edilmiştir⁽¹⁴⁾.

Diğer kükürt türlerine göre önemsiz sayıldığından, kükürttten arındırmada gözönüne alınmamaktadır.

2.3.5. Kükürtün Kömür Damarları İçindeki Dağılımı

Çeşitli kükürt türlerinin bir damardaki veya bir havzadaki dağılımlarının düzgün olmadığı bulunmuştur. Örneğin, piritin bir damarın dikey ve yatay doğrultusundaki dağılımının aynı olmadığı, buna karşın damarın en üst ve en alt zonlarında zenginleştiği saptanmıştır⁽³⁷⁾. İnce taneli piritler, iri taneli piritlere nazaran daha düzgün bir dağılım göstermektedirler.

Organik kükürtün dağılımı, kömür damarının tavanından tabanına doğru çok az bir farklılık göstermekte ve bu farklılık piritinkinin yanında önemsiz kalmaktadır. Diğer taraftan, kömür damarının yatay uzantısındaki organik kükürt dağılımında farklılıklar göze çarpmaktadır. Illinois ve Kentucky kömürlerinde yapılan çalışmalarda, organik kükürtün yalnızca küçük bir sahada sabit dağılım gösterdiği, bununla beraber aynı damarın değişik bölgeleri arasındaki farkın nadiren % 1'den fazla, genellikle % 0.5 civarında olduğu bulunmuştur⁽³⁷⁾. Wandless⁽⁵⁷⁾, İngiliz kömür damarlarındaki organik kükürt dağılımının hemen hemen sabit olduğunu saptamıştır. Bu kömürlerin organik kükürt içeriği % 2'ye kadar çıkabiliyorsa da, ortalama değeri % 0,8 civarındadır. Amerikan kömürlerinin organik kükürt oranı, toplam kükürtün % 20-80'ini kapsamakta olup, ortalama değeri % 51,2 olarak bulunmuştur.⁽³⁷⁾ Pakistan ve Avustralya kömürlerinin organik kükürt içeriği daha fazladır⁽¹⁶⁾. S.S.C.B.'de ise organik

kükürt/piritik kükürt oranı % 35-70 civarında değişmektedir⁽¹²⁾.

Çizelge-2: Kükürt türlerinin çeşitli ülkelerdeki dağılımları⁽⁴⁰⁾.

Kıta ve ülke	% Kükürt ⁺			Piritik Kükürt
	Toplam	Piritik ⁺⁺	Organik	Organik Kükürt
Asya				
SSCB	0,38	0,09	0,29	0,31
Çin	1,19	0,87	0,32	2,70
Hindistan	3,63	1,59	2,04	0,78
Japonya	2,61	0,81	1,80	0,45
Kuzey Amerika				
A.B.D.	4,29	2,68	1,61	1,70
Kanada	0,60	0,03	0,57	0,05
Avrupa				
Almanya	1,78	0,92	0,76	1,20
İngiltere	2,61	1,55	0,87	1,80
Polonya	0,81	0,30	0,51	0,59
Afrika				
Güney Afrika	1,39	0,59	0,70	0,84
Avustralya	0,94	0,15	0,79	0,19
Güney Amerika				
Brezilya	1,32	0,80	0,53	1,50

+) Kuru kömürde

++) Sülfat kükürtünü de içermektedir.

Çizelge-2'deki rakamlardan da görüldüğü gibi, yüksek kükürt içerikli Hindistan ve Japonya kömürlerinde organik kükürt içeriği, piritik kükürtü aşmaktadır.

BÖLÜM 3

KÖMÜRLERİN KOKÜRTTEN ARINDIRILMASINDA UYGULANAN YÖNTEMLER

Kömürlerdeki kükürt içeriğini düşürme işlemlerini 2 grupta toplamak mümkündür.

I) Kömür üreticisi tarafından yapılabilecek arındırma

i) Seçmeli madencilik yöntemiyle, düşük kükürtlü damarların işletilmesi,

ii) Kömürün fiziksel, fiziko-kimyasal ve kimyasal yöntemlerle kükürttten arındırılmasının sağlanması

iii) Biyolojik yöntemlerin uygulanmasıyla kömürdeki kükürt oranının düşürülmesi,

II) Kömür tüketicisi tarafından alınabilecek kükürt dioksit yayılımını azaltıcı önlemler,

i) Büyük çaptaki termik tesislerde uygulanabilen baca gazlarının temizlenmesinin sağlanması,

ii) Kömürün yakılması sırasında ortaya çıkan kükürtün bağlayıcı tarafından tutulması (örneğin akışkan yatak yönteminde kireçtaşının kükürt bağlayıcısı olarak kullanımı)

iii) Kömürün kükürtsüzleştirilerek gaz veya sıvı yakıt şekline dönüştürülmesi,

Yukarıda sayılan kükürtsüzleştirme işlemlerini aşağıdaki şekilde de gruplamak mümkündür:

- 1) Kömürün yakılmasından önce piritik kükürtün, fiziksel (kömür yıkama), kimyasal ve biyolojik yollarla uzaklaştırılması,
- 2) Kömürün yakılması sırasında kükürtün bir bağlayıcı tarafından tutulması,
- 3) Kömürün yakılmasından sonra çıkan baca gazlarından kükürt bileşenlerinin temizlenmesi,
- 4) Gazlaştırma, sıvılaştırma ve kimyasal ekstraksiyon yoluyla kömürün temiz sıvı veya gaz yakıta dönüştürülmesi.

Kükürtsüzleştirmede uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerden, fiziksel yöntem, teknolojik olarak en gelişmiş ve en ucuz yöntem olarak kabul edilmektedir^(13,18,23).

3.1. Kimyasal Yöntemler

Kimyasal yöntemlerle kükürtsüzleştirme, üç şekilde yapılabilir: 1) Yakmadan önce, 2) Yakma sırasında, 3) Yaktıktan sonra.

Kömürün yakılmasından önce, kükürtün kimyasal yöntemlerle uzaklaştırılmasında, ya liç yöntemi uygulanarak piritik ve organik kükürtün çözünebilir bileşiklere çevrilmesine çalışılır,

ya da karbonizasyon ve briketleme esnasında, kükürtün kömürün içine katılan bir maddeye bağlanması sağlanır.

Kömürün yanması sırasında ortaya çıkacak SO_2 gazı, yanma sırasında (örneğin kireçtaşı ile) tutularak, gazın çıkması önlenir. Bu uygulama bilhassa akışkan yataklı fırınlarda görülmektedir.

Yanma sonunda çıkan gazlar ise bacadan tutularak temizlenmektedir.

Meyer⁽⁴⁰⁾, "Kömürlerin Kükürtsüzleştirilmesi" isimli kitabında kimyasal yollarla kükürtsüzleştirmeyi ayrıntılarıyla açıklamaktadır. Aşağıda isimleri verilen yöntem ve reaktifler bu kitaptan alınmıştır.

Kömürlerden organik kükürtün uzaklaştırılmasında uygulanan yöntemler şunlardır:

1) Solvent ayırma, 2) Isısal bozunma, 3) Asit-baz nötrleştirilmesi, 4) İndirgeme, 5) Oksitleme, 6) Çekirdeksel yer değiştirme.

Piritik kükürtün atılmasında uygulanan kimyasal yöntemler ise şunlardır :

1) Yer değiştirme reaksiyonları, 2) Asit-baz nötrleştirilmesi (H_2S ve demir- tuzunun oluşmasıyla), 3) Oksitleme reaksiyonu, 4) İndirgeme reaksiyonu (H_2S teşekkülü ile).

Organik-ve piritik kükürtün uzaklaştırılmasında kullanılan kimyasal maddeler şu şekilde gruplandırılabilir :

1) Metaller-Zn, Fe, Sn ve Metaloidler-P, 2) Metal tuzları (Fe-3 sülfat, Fe-3 klorür, 3) Asitler (HI, HBr, HF, P-toluen sülfonik asit, Okzalik asit), 4) Bazlar [(NaOH, Ca(OH)₂], 5) Oksitleyiciler ve indirgeyiciler (Hidrazin; H₂O₂ v.b), 6) Çözücüler (Kresol, fenol, SO₂, NH₃). Kükürtsüzleştirme işleminde bu maddelerden bir veya birkaçı beraber kullanılmaktadır.

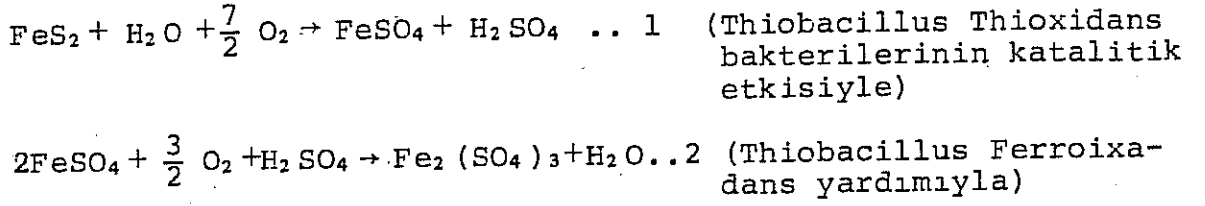
Kimyasal yöntemle kükürtün uzaklaştırılmasında yalnızca karbonizasyon yönteminin endüstriyel uygulaması mevcuttur. Diğer yöntemlerin pilot çaptaki çalışmalarına devam edilmektedir.

3.2. Biyolojik Yöntemler

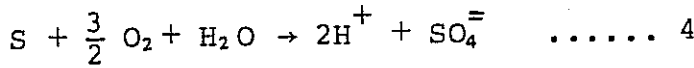
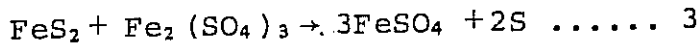
Son yıllarda, kömürlerdeki piritik kükürtün bakterilerle çözündürülmesi konusundaki çalışmalar artmıştır (15,20,37,56). Özellikle ince öğütmeyi gerektiren kömürlerde, bu yöntemin uygulanabilirliği, konunun daha ciddiyetle ele alınmasını sağlamıştır.

Kömürlerden piritik kükürtün uzaklaştırılmasında iki tip mikro-organizmanın etkili olduğu bilinmektedir. Bunlardan birisi oda sıcaklığında etkili olan Thiobacillus ferrooxidans, diğeri ise 60-80 °C'de faaliyet gösteren sulfolobus Acidocaldarius'tur. Her iki bakteride havalı ve asitli ortamlarda yaşamaktadır (19).

Bakteriler, hücresel faaliyetleri için gerekli enerjiyi inorganik haldeki demir ve kükürtü oksitleme yoluyla kazanmaktadırlar (56).



Görüldüğü gibi piritin bakterilerle çözünür hale getirilmesi, Fe(3) iyonlarının doğrudan piritte etkisiyle olmaktadır. Bakteriler piritten ayrıca elementer S çıkararak, sülfürik asit oluşumunu hızlandırmaktadır.



Yukarıdaki denklemler bakterilerin su ve oksijen yardımıyla önce piriti Fe(2) sülfat ve sülfürik asite çevirdiğini, daha sonra sülfürik asit ve oksijen yardımıyla Fe(2) iyonlarını, Fe(3)'e yükselttiklerini göstermektedir. Piritin tamamının muntazam bir şekilde oksitlenebilmesi için, Fe(2) sülfatların, Fe(3)'e çevrilmesi gerekmektedir. Bu da ortamda yeterli konsantrasyonlarda Fe₂(SO₄)₃'in bulunmasıyla mümkündür.

Araştırmalara göre, günde 8000 ton, % 2 piritik kükürt içerikli kömür işleyecek bir tesiste, piritlerin bakterilerle çözündürülebilmeleri için 300 ton/gün oksijene gereksinim duyulacaktır. (20)

Bakterilerle piritik kükürt uzaklaştırılması henüz laboratuvar çapta geliştirilmektedir. Bu yöntemde, kömürün ince boyutlara kırılması, bakterilerin faaliyetini hızlandırmaktadır.

Fakat, kükürtsüzleştirme işlemi sonunda kömürün süzülmesi ve kurutulması büyük sorunlar çıkarmakta ve ekonomik olmamaktadır. Bütün bunların yanısıra bakterilerin uzun reaksiyon zamanına gereksinim duymaları, yüksek kapasitelerde çalışma zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Bu da başlıbaşına bir sorundur.

Bakterilerle kükürtsüzleştirme yönteminde, bakterilerin kömürdeki piritik kükürt yüzdesini düşürdükleri ispatlanmış, fakat organik kükürt üzerindeki etkileri henüz açıklığa kavuşturulmamıştır. Bazı araştırmalarda, bakterilerle organik kükürt oranında bir düşme sağlandığı belirtilmekteyse de bu husus henüz güvenilir olmaktan uzaktır⁽⁴⁶⁾.

3.3. Fiziksel Yöntemler

Kömürlerden kül ve kükürtün uzaklaştırılmasında uygulanan kömür hazırlama (yıkama) yöntemlerinin hepsi fiziksel yöntemler olup kömürün yakılmadan önce temizlenmesini sağlamaktadırlar. Bugün dünyada çıkarılan kömürlerin büyük bir kısmı yıkandıktan sonra piyasaya sevkedilmektedir. A.B.D.'de üretilen kömürün % 67'si, SSCB'de ise % 50 si yıkanarak temizlenmektedir^(6,22). Türkiye'de ise üretilen taşkömürünün tamamı, linyitlerin ise sadece % 15'i yıkandıktan sonra satılmaktadır⁽⁴⁴⁾. Yurdumuzda taşkömürünü yıkayan 4 lāvvar, linyitleri yıkayan ise 2 lavvar mevcuttur.

Eskiden lāvvarlar yalnızca kömürden külün uzaklaştırılması amacıyla kurulmaktaydılar, bugün ise eski tesisler kükürtün atılmasına olanak verecek şekilde değiştirilmekte, yeni kurulan

lavvarların akım şemaları ise kükürttten arındırmayı sağlayacak biçimde dizayn edilmektedirler⁽²³⁾.

Fiziksel yöntemlerle kömürden kükürtün uzaklaştırılmasında, suda eriyebilen sülfat kükürtü, yıkama işlemleri sırasında kendiliğinden atılmakta ve herhangi bir sorun yaratmamaktadır. Organik kükürt ise kömürün bünyesine bağlı olduğundan, fiziksel yöntemlerden etkilenmemekte ve kömürden uzaklaştırılamamaktadır. Bu yüzden, kömürlerdeki organik kükürt yüzdesi, kuramsal olarak fiziksel yöntemlerle temiz kömürde ulaşabilecek en düşük kükürt oranını belirlemektedir.

Fiziksel yöntemlerle kömürden uzaklaştırılmasına çalışılan asıl kükürt, piritik kükürttür. Yöntemin esası, piritle kömürün farklı fiziksel ve fiziko-kimyasal özelliklere sahip olmalarına dayanmaktadır. Çizelge-3'te bu özellikler gösterilmektedir.

Çizelge-3: Kömür ve Piritin fiziko-kimyasal özelliklerindeki farklılıklar⁽³⁰⁾.

Özellikler	Kömür	Mineral (Pirit hariç)	Pirit
Yoğunluk, g/cm ³	1.15-1.5	2.4-3.9	4.8-5.0
Sertlik (Moh's ölçeği)	2.0-2.5	2.0-4.5	6.0-6.5
Dilininim	İyi	İyi	Kötü
Renk	Siyah	Koyu Gri	Altın Sarısı
Yansıtma, %	0.5-7.5	4-8	42-47
Geçirgenlik, Ω ⁻¹ cm ⁻¹	10 ⁻⁸ -10 ⁻¹³	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁸	10 ⁻² -10 ⁻⁴
Isısal bozunma, °C	250-450	450-700	250-450
Alınganlık, 10 ⁶ cgs	-0.6	-20-(+400)	38-63
Temas açısı	49-68	13	58-73
Di-elektrik sabitesi	2.0-2.5	4.7-7.8	5.2-8.6

Çizelge-3'te belirtilen özelliklerin kömür yıkama yöntemlerindeki uygulanabilirliği şu şekildedir:

1) Kömürle piritin sertliklerinde, Moh's ölçeğine göre 4'e varan farklılık, seçimli tane boyutu küçültme yöntemlerinin uygulanmasına elverişlidir.

2) Kömürle piritin yoğunlukları arasındaki 3,5 gr/cm³ lük fark, gravite ayırımı yöntemlerinin uygulanmasını mümkün kılar.

3) Yüzey özellikleri arasındaki farklılık, flotasyon yönteminden yararlanılmayı sağlar.

4) Piritin ve kömürün farklı alınganlıkları, manyetik ayırma yöntemlerinin uygulanabilirliğini ortaya koyar.

Fiziksel yöntemlerle kömürlerin kükürt oranının düşürülmesi, belirli koşullar içerisinde mümkündür. Bu koşullar şunlardır:

a) Kömürdeki piritik kükürt/organik kükürt oranının yüksek olması, (diğer bir deyişle toplam kükürt içeriğinin piriten gelen kısmının yüksek olması).

b) Piritin tane boyutunun çok küçük olmaması

c) Piritin serbest halde veya kömürle çok az birleşik olması,

Yukarıdaki koşullar, kömürde bulunan piritik kükürtün tamamının kömürden uzaklaştırılmasının mümkün olmadığını vurgulamaktadır. Çok küçük taneli büyük bir olasılıkla bakteri kökenli piritler, organik kükürt gibi temiz kömürün içinde kal-

makta ve mekanik yollarla ortamdan uzaklaştıralamaktadır. Kömürlerde bulunan böyle küçük pirit tanelerinin varlığı, piritin atılmasındaki verimi düşürmekle kalmayıp, temiz kömürün kükürt yüzdesinin artmasınada neden olmaktadır. Belirtilen şekildeki piritlerle organik kükürt, kömürlerde "Uzaklaştırılmayan Kükürt" bileşenlerini oluştururlar⁽¹⁶⁾.

Çizelge 4'te A.B.D.'ne ait bazı kömürlerdeki "Uzaklaştırılmayan Kükürt" oranları verilmiştir.

Çizelge-4'ten görüleceği gibi, "Uzaklaştırılmayan Kükürt" nisbetleri, çeşitli kömürlerde büyük farklılıklar göstermektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi, her kömürden kükürt uzaklaştırılması problemi farklı ve kendine özgüdür.

Öğütmenin, kömürlerin içindeki piritlerin serbestleşmesinde büyük etkinliğinin olduğu bilinmektedir. Bununla beraber fazla öğütme işletme masrafını arttırmakta ve kömür randıman ve verimini düşürmektedir. Ayrıca, kömürün ince tanelere indirilmesi, uygulanabilecek yıkama yöntemlerini de sınırlamaktadır. Aşağıda, 10 mm'nin altında kırılmış kömürlerden piritik kükürtün uzaklaştırılmasına yönelik bazı seçenekler gösterilmiştir.

3.3.1. Piritik Kükürtün Fiziksel Yolla Atılması Konusundaki Uygulamalar

Literatür çalışmaları, ince ve dissemine pirit içeriği az olan, 35 meşin (0,417 mm) üstündeki kömürlerden piritik kükürtün uzaklaştırılmasında, jiglerin, sallantılı masaların, ağır

ÇİZELGE-4: Uzaklaştırılmayan kükürt dağılımı (16)

Kömürün yeri	Toplam Kükürt %	Piritik		İnce dağılmış pirit		Organik		Uzaklaştırılmayan Kükürt toplamı	
		%	Toplama göre %	%	Toplama göre %	%	Toplama göre %	%	Toplama göre %
Pennsylvania	3,56	2,82	79,2	0,34	9,6	0,74	20,8	1,07	30,4
Illinois	2,05	1,22	59,5	0,32	15,6	0,83	40,5	1,15	56,1
N.Carolina*	2,32	1,52	65,5	0,70	30,2	0,80	34,5	1,50	64,7
Alabama	1,72	0,97	56,4	0,42	24,4	0,72	41,9	1,14	66,3
Indiana	3,92	2,13	54,3	1,21	30,9	1,79	45,7	3,00	76,6
N.Carolina*	2,08	1,53	73,6	1,24	59,6	0,55	26,4	1,79	86,0

* : Aynı damarın farklı basamaklarından alınmış numuneler

Çizelge-5: Kömürden piritin uzaklaştırılması olanakları (30)

Yöntem	Makina	Tane boyutu, mm
YAŞ	jigler	10-0.5
		10-1.5
		1.5-0.1
	Sallantılı masa	6.0-0.06
	Flotasyon	< 0.75
	Hidrosiklon	6.0-0.06
	Ağır-ortam siklonu	25-0.5
KURU	Yüksek şiddetli yaş manyetik ayırma	< 1.0
	Yoğunluk bazına dayanan toz atımı	< 10
	Elektrostatik ayırım	< 1.5
	Yüksek şiddetli kuru manyetik tambur ayırıcısı	< 1.5
	Kuru akım ayırımı	3.0-0.06

ortam ayırıcılarının ve hidrosiklonların çok etkili olduklarını göstermiştir^(35,36). 35 meşten daha ince kömürlerden ise piritin atılması daha zordur. Hidrosiklon ve flotasyon bu boyutlara en çok uygulanan yöntemler arasındadır. Hidrosiklonların (-35 +150) meş fraksiyonundaki kömürlerden piritik kükürt atılmasında çok başarılı, -150 meşten atılmasında ise orta derecede başarılı oldukları bulunmuştur.⁽³⁶⁾ Flotasyon yöntemi ince kömürlerdeki külün temizlenmesinde çok etkin olduğu halde, aynı başarıyı piritik kükürtün atılmasında gösterememekte-

dir (16,36) . Bunun da nedeni, kömürün içindeki piritlerin doğal yüzebilirliğinin sülfürlü minerallerle beraber olan piritten 35, pirit cevherinin yüzebilirliğinden ise 45 defa daha fazla oluşudur. Bu yüzden, piriti çöktürmek için pülpe ilave edilen reaktifler, işlevlerini yerine getirmekte etkili olamamaktadırlar. Son zamanlarda U.S.Bureau of Mines tarafından geliştirilen iki basamaklı flotasyon sistemi, piritik kükürtün uzaklaştırılmasında daha başarılı sonuçlar vermektedir (50) .

3.3.1.1. Jigler

İri taneli kömürlerin yıkanmasında baum ve feldspatlı jigler, en çok kullanılan makinelerdir. Bugün S.S.C.B. ve A.B.D.'de yıkanmış kömürlerin % 40-50'si jiglerden elde edilmektedir (6,18) . Diğer taraftan tane boyu küçüldükçe jigin ayırım verimi azalmakta ve temiz kömürdeki pirit yüzdesi artmaktadır. 1 mm'nin altında ise verim hızla düşmektedir. Son yıllarda ince taneli kömürlerden piritik kükürtün uzaklaştırılmasında Almanya'da geliştirilen Batac jigler kullanılmaktadır. Batac jigin kül ve kükürtü uzaklaştırmadaki etkinliği, bu boyuta uygulanabilen diğer yöntemlere eşit, hatta daha fazladır (8,31) .

Bugün, A.B.D.'deki 3 kömür lavvarı, - $\frac{1}{2}$ inçlik (1,25 cm) kömürlerin yıkanmasında Batac jigi kullanılmaktadır. Örneğin Pennsylvania'daki 1200 ton/saat kapasiteli Greenwich lavvarı, (- $\frac{3}{4}$ + 0) inç boyutundaki kömürleri Batac jigde yıkamak suretiyle, piritik kükürtün % 40'nı uzaklaştırmaktadır (19) .

3.3.1.2. Ağır-Ortam Ayırıcıları

Bu yöntemle ayırmada, konik tanklar, tamburlar ve siklonlardan faydalanılmaktadır. A.B.D. ve S.S.C.B.'de yıkanan kömürlerin % 25-32'si bu yöntemle temizlenmektedir (18,22,25).

Ağır ortam siklonları 1,5 inç'lik (3.8 cm) iri kömürleri yıkamakta kullanılabilirlerse da, asıl uygulama alanları $\frac{1}{2}$ inç (1,25 cm) veya $\frac{1}{4}$ inç (0.6 cm) nin altındaki taneler içindir. En küçük tane boyutu 35 meştir (0,417 cm) (24). Piritin serbest halde bulunduğu ince tane boyutlarında ağır ortam siklonları kesin ayırım yapabilmektedirler (21).

Piritik kükürtün uzaklaştırılmasında, ağır ortam ayırıcılarının endüstriyel çaptaki uygulamasına örnek olarak Stinson tesisi verilebilir (49). Bu tesiste $(-1,5 + \frac{3}{8})$ inç'lik taneler, konik tanklarda ve 1.30 yoğunluğunda yıkanmakta ve % 0.75 kükürt içerikli temiz-metalürjik kömür üretilmektedir. Beton kömür ikinci bir konik tankta 1.45 yoğunlukta yeniden yıkanmakta ve % 0.87 kükürt içeren temiz kömür elde edilmektedir. $(-\frac{3}{8}$ inç + 28 inç)'lik ince taneler ise ağır-ortam siklonlarında 1.30 yoğunluğunda yıkanmaktadır. Buradan elde edilen temiz kömürde % 0.71 kükürt bulunmaktadır.

Son zamanlarda A.B.D.'de piritik kükürtün atılmasında yalnız suyla çalışan siklonlar bir ön temizleme aracı olarak kullanılmakta ve son temizleme flatasyonla sağlanmaktadır (23,26).

3.3.1.3. Humphreys Spirali

Piritik kükürtün kömürden uzaklaştırılmasında uygulanabilecek yöntemlerden birisi de spiralle ayırmadır. Yapılan bir araştırmada, (-14 + 200) meş fraksiyonunun Humphreys spirali ile yıkanması sonucu toplam piritin % 90'ının atılabildiği bulunmuştur⁽⁶¹⁾.

3.3.1.4. Sallantılı Masalar

Masalar, - $\frac{3}{8}$ inç (0.9 cm)'lik ince taneli kömürlerden piritik kükürtün uzaklaştırılmasında en etkin yöntemlerden birisi olarak gözükmektedir. A.B.D.'de masalarda temizlenen kömürler, yıkanmış kömürlerin tamamının % 12'sini kapsamaktadır. S.S.C.B.'de ise kömürden piritik kükürtün atılması amacıyla tüvenan kömürün % 20'si, flotasyon konsantre ve mikslerinin ise % 10-15'i masalarda yıkanmaktadır⁽⁷⁾. Sovyetler Birliğindeki uygulamada, yüksek kükürtlü Donbas havzası kömürleri, klasifikatörde sınıflandırılmakta ve fraksiyonlar masalarda ayrı ayrı yıkanmaktadır. Bu şekilde artıkta % 95'e varan pirit atımı sağlanmakta, buna karşı toplam kükürt nisbetinde yalnızca % 24'lük bir düşme elde edilebilmektedir⁽⁷⁾.

A.B.D.'de kömürden piritik kükürtün atılmasında Concence 77 denilen çift katlı masalar kullanılmış ve toplam kükürtün % 40'ı ve piritik kükürtün ise % 57'si kömürden uzaklaştırılabilmıştır⁽³⁵⁾.

A.B.D.'nin batısındaki kömürlerin piritten temizlenmesinde havalı sallantılı masalar kullanılmaktadır⁽²²⁾.

3.3.1.5. Flotasyon

Çok ince taneli kömürlerden piritik kükürtün uzaklaştırılması konusunda birçok araştırma yapılmıştır^(34,42,50). Bu çalışmalar, piritin çöktürülüp, kömürün yüzdürülmesi, ya da kömürün çöktürülüp, piritin yüzdürülmesi esasına dayanmaktadır. Bazen de heriki yol birarada uygulanmaktadır.

U.S.Bureau of Mines'un⁽⁴⁾ bir araştırmasında, sentetik kömür ve pirit karışımlarına $FeCl_3$, $AlCl_3$, $CrCl_3$, ve $CuSO_4$ tuzları ilave edilerek piritin çöktürülmesine çalışılmıştır⁽⁴¹⁾. pH ayarlayıcısı olarak NaOH ve HCl asit kullanılmış ve MBC ile kömürün yüzdürülmesi koşulları incelenmiştir. Buna göre FeCl en iyi pirit bastırıcı olarak görülmüş ve bastırıcıların miktarının arttırıldığında kömür kaybında fazlalaştığı izlenmiştir.

U.S.Bureau of Mines tarafından piritin uzaklaştırılması konusunda 2 basamaklı bir flotasyon sistemi geliştirilmiştir. Buna göre ilk basamakta, -35 meş öğütülmüş kömür nötr pH'da, gazyağı ve MIBC ile yüzdürülmüştür. 2.basamakta ise pulpin pH değeri 6'ya düşürülmüş ve kömür Aero Depressant 633 ilavesiyle çöktürülerek, piritin K-amil ksantat ve MIBC reaktifleriyle yüzdürülmesine çalışılmıştır. Piritik kükürt/toplam kükürt oranı 2.02/2.64 olan Appalachian kömürlerinde 2-basamaklı flotasyon yönteminin uygulanmasıyla piritik kükürtün % 70-90'nını, ve toplam kükürtün % 40-70'ini uzaklaştırmak mümkün olmuştur.⁽⁴²⁾ Piritik kükürt/toplam kükürt oranı 2.88/4.34 olan Midwestern kömürlerinde ise, yüksek organik kükürt içeriğinden dolayı, toplam kükürtteki azalma ancak % 21-43 nisbetinde gerçekleşebilmiştir⁽⁴²⁾.

Kömürden piritik kükürtün uzaklaştırılması konusunda, A.B.D.'de Pittsburgh yakınlarında kurulan bir pilot tesis deneme çalışmaları yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir⁽⁴¹⁾. Pilot çaptaki çalışmaların endüstriyel çaptaki uygulaması ise Pennsylvania'da bulunan bir lavvarda gerçekleştirilmiştir⁽⁵⁰⁾.

3.3.1.6. Manyetik Ayırma

Kömür diyamanyetik, pirit ise paramanyetik olduğu için, manyetik alınganlıkları arasındaki farklılık bu yöntemin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.⁽³⁹⁾ Halen laboratuvar çapında yürütülen bu çalışmalar, yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıların kömürden kükürtün uzaklaştırılmasında başarılı olduklarını ortaya koymuştur⁽³⁶⁾. (-48 + 200) meşe öğütülmüş Upper Freeport kömürlerinde, kükürt nisbetini % 2.58 S'den % 1.09'a, Pittsburgh kömürlerinde ise % 4.38 S'den % 1.94'e düşürmek mümkün olmuştur⁽³⁶⁾.

Bazı ısısal ve kimyasal işlemler sonunda piritin manyetik alınganlığının arttırılabileceği bulunmuş ve 200-300 °C de hava veya buharla muamele edilen kömürlerdeki paramanyetik sülfürlerin yüzeylerinde ferromanyetik bir oksit filminin oluşmasının manyetik alınganlığın artmasına neden olduğu saptanmıştır^(27,37).

Pakistan kömürleri üzerinde yapılan bir araştırmada, 200-300 °C'lik bir sıcaklıkta NaOH ve buharla 4-10 saatlik bir reaksiyon sonunda % 3,4 organik ve % 1,2 piritik kükürt içeren

kömürden % 2.7 toplam kükürt içerikli kömür elde edilmiştir⁽²⁷⁾. Benzer bir çalışma, 400-500 °C ve azot atmosferinde yapılmış, bu işlem sonunda Pittsburgh kömürlerinden toplam kükürtün % 50-70'i uzaklaştırılmıştır⁽²⁸⁾.

Son yıllarda, kömürün piritten temizlenmesi, yeni bir teknoloji olan yüksek değişken manyetik ayırıcı (High gradient magnetic separator-HGMS) nin bulunmasıyla hız kazanmıştır. HGMS modern, geniş kapasiteli, yoğun alan şiddeti ve geniş alan değişimi olan bir manyetik ayırma yöntemi olup, mikron büyüklüğündeki manyetik maddelerin temizlenmesinde yüksek performans göstermektedir^(28,38,39).

HGMS ile kömürden piritik kükürtün uzaklaştırılmasında ilk çalışan Trindate olmuştur⁽⁵³⁾. 0-600 mikron boyutundaki kömür numunesi, 4 cm/saniye besleme hızıyla 20 kilo-örsted şiddetindeki manyetik alandan geçirilmiş ve toplam kükürt oranı % 1.32 den % 0.81'e, piritik kükürt oranı ise % 0.66 dan % 0.24'e düşürülmüştür. Kömür randımanının ise % 90 olduğu görülmüştür.

Lin⁽³⁸⁾ ve arkadaşları, HGMS'yi pilot çapta uygulayarak, 65 mikronun altına öğütülmüş Illinois kömürlerini, 20 kilo örsted'lik bir manyetik alandan geçirmiş ve paslanmaz çelik matriks tarafından piritlerin tutulmasına çalışmışlardır. Bu şekilde piritik kükürtün % 75'ni, toplam kükürtün ise % 28'ni uzaklaştırmak mümkün olmuştur.

3.3.1.7. Elektrostatik Ayırma

Elektrostatik ayırıcılar, ince boyutlardaki kömürden piriti kuru yöntemle ayırabilmektedirler. Bu durum, elektrosta-

tik ayırıcılara büyük bir avantaj sağlamaktadır^(12,45).

U.S.Bureau of Mines tarafından yapılan araştırmalarda, % 1.73 kükürtlü Pittsburgh kömürleri elektrostatik ayırıcılarla temizlenmiş vekkükürt nisbeti % 1.43 e düşürülmüştür. Illinois kömürlerinde ise kükürtün uzaklaştırılması işlemi başarısızlıkla neticelenmiştir⁽⁴⁵⁾.

Almanya'da, bir tecrübe tesisinde, elektrostatik ayırıcıdan faydalanılmış ve uçucu maddesi düşük olan bir kömürde piritik kükürt % 0.5'ten % 0.4'e, uçucu maddesi orta derecede olan bir kömürde % 1.1'den % 0.5'e, uçucu maddesi yüksek olan bir taşkömüründe ise % 1.9'dan % 0.15'e düşürülmüştür.⁽³⁶⁾

Singewald ve Friche⁽⁴⁸⁾, ince kömürlerden piritin uzaklaştırılmasında, kimyasal maddelerle pirit parçacıklarının elektriksel alandaki duyarlılığının ne ölçüde etkilendiğini incelemişlerdir.

Elektrostatik ayırmada, kömürün nemi, oksitlenme durumu, kömürün içindeki mineral maddelerinin elektrofiziksel özellikleri ayırımı etkilediğinden ve işlemin kontrolü zorlaştığından, bu yöntem henüz endüstriyel çapta uygulanamamaktadır.

BÖLÜM 4

KÖMÜRLERİN KÜKÜRTTEN ARINDIRILMASI İÇİN YIKANABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN SAPTANMASI

4.1. Yıkanabilirlik Deneylerinin Önemi

Kömürlerin kül ve kükürtten arındırılabilirmeleri için, öncelikle yıkamaya elverişli olup olmadıklarının ve yıkama yönteminin saptanması gerekir. Bu da yıkanabilirlik verilerinin elde edilmesiyle mümkündür. Yıkanabilirlik deneyleri, kömürün fiziksel özelliklerinin bir değerlendirilmesi olup, yıkama işlemi sonunda kömürün niteliğinin ne ölçüde yükseltilebileceğini gösterir. Diğer bir deyişle, kömürün kül ve piritik kükürt gibi safsızlıklarından temizlenmesinin kolay veya zor olacağı, elde edilecek temiz kömürün içeriği ve yıkama randımanı gibi özellikler, yıkanabilirlik verilerinden çıkarılabilir. Yıkanabilirlik verileri aynı zamanda temizleme yöntemlerinin teorik sınırlarını da belirler.

Bundan 10 yıl öncesine kadar yıkanabilirlik verileri yalnızca kömürün kül içeriğiyle ilgili bilgileri yansıtmaktaydı. Bugün ise, özellikle kömürlerden kükürt arındırma işlemleri önem kazandığından, yıkanabilirlik verilerinin, kükürt türleri ve miktarlarını ve fraksiyonların kalori değerlerini içermesine

dikkat edilmektedir. Böylece, hangi yoğunluktan, ne kadar toplam ve piritik kükürt içerikli kömürün, hangi verimle elde edilebileceği hemen saptanabilmektedir.

4.2. Yüzdürme-Batırma Deneyleri

Kömürlerin yıkanabilirlik özellikleri "Yüzdürme Batırma" deneyleri ile belirlenir. Yüzdürme-batırma deneylerinin özü, temiz kömür ile içerdiği safsızlıkların arasındaki bir yoğunlukta hazırlanan ağır sıvıda, kömürün yüzen ve batan kısımlarına ayrılmasıdır. Yüzdürme-batırma deneyi için kömür önce kırılır ve çeşitli tane boyutlarına elenir. Daha sonra her tane boyutundaki nümune, sırasıyla değişik yoğunluklarda hazırlanan sıvılara daldırılarak bu yoğunluklardan birer yüzen kısım, en ağır yoğunlukta bir batan kısım elde edilir. Farklı yoğunluklardan elde edilen yüzen parçalarla, batan kısmın miktarları ve kül kükürt içerikleri saptanarak, kömürün yıkama özellikleri çıkarılır. Aşağıda kömür ve içerdiği safsızlıkların özgül ağırlıkları gösterilmiştir.

<u>Madde</u>	<u>Özgül ağırlık</u>
Kömür	1.12 - 1.7
Kömürlü şist	1.6 - 2.2
Şist	2.0 - 2.6
Kil	1.8 - 2.2
Kalsit	2.7
Jips	2.3
Pirit	4.8 - 5.2

4.2.1. Ağır Ortamın Hazırlanışı

Yüzdürme-batırma deneylerinde, ağır ortam olarak ya organik sıvılar, ya da inorganik tuzların çözeltileri kullanılır. Ağır sıvının seçimi, nümunenin miktarına, tane büyüklüğüne, kömürün niteliğine, ortamın yoğunluğuna ve deneyin amacına göre yapılır.

4.2.1.1. Organik Sıvılar

Yüzdürme-batırma deneylerinde kullanılan organik sıvılar çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge-6: Yüzdürme-batırma deneylerinde kullanılan ağır sıvılar

Organik sıvı	Formülü	Özgül Ağırlık	Karıştırıcı sıvı
Petrol eteri		0.70	
Alkol	C_2H_5OH	0.79	
Aseton	CH_3COOCH_3	0.79	
Toluen	$C_6H_5CH_3$	0.86	
Metilen iyodür	CH_2I_2	3.31	Karbon tetra klorür
Tetrabrom etan	$C_2H_2Br_4$	2.96	Alkol, CCl_4 , kloroform
Bromoform	$CHBr_3$	2.89	Alkol, CCl_4
Metilen bromür	CH_2Br_2	2.48	
Karbon tetra klorür	CCl_4	1.49	Bütün organik sıvılar

Ortamın özgül ağırlığı 1.6 ve daha düşük istendiğinde, karbon tetra klorür ve petrol eteri karışımı kullanılabilir. Özgül ağırlık 1.6'dan fazla olması gerektiğinde ise bromoform veya tetrabrometan, karbon tetraklorür ile karıştırılarak kullanılabilir.

Organik sıvılar, düşük viskoziteleri, uçucu olmaları ve şisti etkilememeleri nedeniyle 0.5 mm'den küçük taneli kömürlerde yapılan yüzdürme-batırma deneylerinde özellikle tavsiye edilir. Yalnız organik sıvıların çoğunun buharı sağlığa zararlı olduğundan, çalışılan yerde yeterli havalandırma yapılması gerekir.

4.2.1.2. İnorganik Tuzların Çözeltileri

Yüzdürme-batırma deneylerinde ençok kullanılan sıvılar CaCl_2 ve ZnCl_2 tuzlarının sudaki çözeltileridir. İnorganik tuzların çözeltileri ucuz olmaları nedeniyle özellikle iri taneli kömürlerin yıkanmasında kullanılır. Yalnız bu çözeltilerle elde edilebilecek en yüksek özgül ağırlık 1,92 dir⁽³⁷⁾.

İnorganik tuzlar, ucuz olmalarına karşın uygulamada bazı sorunlar yaratmaktadırlar. Bu çözeltilerin viskoziteleri, inorganik sıvılardan çok yüksektir. Bu durum ince taneli kömürlerin yıkanması sırasında, tanelerin batmasını zorlaştırmakta ve ayırımı etkilemektedir. Özellikle gözenekli ve yüksek bağıl nemli kömürlerde, ağır sıvı, gözeneklere dolarak kömürün görünür yoğunluğunu arttırmakta ve 1.30 yoğunluğunda yüzen kömürde beklenmeyen düşük ağırlık randımanına neden olmaktadır. Bu duruma,

Özellikle (-14) meş'lik düşük kaliteli kömürlerde yürütülen yıkanabilirlik deneylerinde rastlanmaktadır⁽¹³⁾. Ayrıca ince taneli kömürlerin yüzeylerinden bu sıvıları atmak pek kolay olmamaktadır. Bu yüzden, inorganik tuzların çözeltileri, ince taneli kömürlerin yıkanmasında tavsiye edilmemektedir.

Inorganik tuzların çözeltilerinin kullanımında dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, yüzdürme batırma deneyi sonunda kömürlerin suyla iyice yıkanması gerekliliğidir. Aksi halde kömürün gözeneklerini doldurmuş olan çözelti hatalı sonuçlara sebep olacaktır.

Inorganik çözeltiler çürütücü olduğundan deneylerde kullanılacak kapların korozyona dayanıklı olmasına dikkat edilmeli ve çözeltilerin cilt ile temasından kesinlikle kaçınılmalıdır.

4.2.2. Yıkanabilirlik Eğrileri ve Yorumu

Değişik tane boyutlarındaki kömürler, yüzdürme-batırma deneyi ile, çeşitli yoğunluk fraksiyonlarına ayrılır. Bu fraksiyonlar kurutulup, tartılır ve kül, toplam kükürt, piritik ve organik kükürt içerikleri belirlenir. Laboratuvarlarda tesbit edilen bu özellikler bir tablo üzerinde matematiksel olarak değerlendirilerek toplam yüzen ve toplam batan fraksiyonlar hesaplanır ve yıkanabilirlik eğrileri için gerekli veriler elde edilir. Yıkanabilirlik eğrileri genellikle şunlardan oluşur:

1) Toplam yüzen kül, 2) Toplam yüzen kükürt, 3) Toplam batan kil, 4) Elementer kül, 5) Yoğunluk, 6) ∓ 10 yoğunluk dağılımı.

Toplam yüzen kül (kükürt) eğrisi, istenen verimde yıkanmış ürünün içerebileceği teorik kül (kükürt) yüzdesini gösterir. Başka bir deyişle, herhangi bir kül (kükürt) yüzdesinde elde edilebilecek maksimum temiz kömür verimini gösterir. Eğrinin eğiminin azalması, daha fazla külün (kükürtün) daha az verim ve randıman azalması ile atılabileceğinin belirtisidir.

Toplam batan kül (kükürt) eğrisi, herhangi bir verimde batan kısımdan atılan teorik kül (kükürt) içeriğini gösterir. Eğrinin eğiminin düşmesi, daha fazla yıkanabilirliği vurgular.

Elementer kül eğrisi, yoğunluğa göre kül içeriğinin değişme hızını, yani, değişik yoğunluklarda yüzen parçaların tek tek içerebileceği teorik-(en yüksek)- kül yüzdesini gösterir. Bu eğrinin eğimi, kömürün safsızlıklarından kolay veya zor ayrılacağına bir göstergesidir. Dik eğim, küçük kül farkına karşı, büyük verim farklılığının, yatık eğim ise kolay ayırmanın belirtisidir.

∓ 0.1 yoğunluk dağılım eğrisi, herhangi bir yoğunluğun 0.1 birim altı ve 0.1 birim üstündeki yoğunlukları arasında bulunan toplam kömür ağırlık yüzdesini verir. Kömürün yıkanabileceği en düşük yoğunluk bu eğriyle belirlenir. $\mp 0,1$ yoğunlukta bulunan madde miktarından, kömürlerin yıkanmasındaki zorluk derecesi saptanır. Ayırma yoğunluğuna yakın yoğunluktaki madde miktarı arttıkça kömürün temizlenmesi zorlaşır. Aşağıda, ayırma yoğunluğuna yakın madde oranına göre ayırma güçlük dereceleri gösterilmiştir.

Çizelge-7: Ayırma yoğunluğuna yakın madde miktarının ayırmaya etkisi

±0,10 yoğunluk derecesindeki % Ağırlık	Ayırım olasılığı
0-7	Kolay
7-10	Orta zor
10-15	Zor
15-20	Çok zor
20-25	Aşırı zor
>25	Olanaksız

± 0,10 yoğunluk dağılım eğrisinde, % 10 madde miktarına karşı gelen yoğunluk, bir tesisin çalışabileceği en düşük yoğunluk değerini göstermektedir.

4.3. Yıkanabilirlik Verilerinden Kükürt Atımının İrdelenmesinde Örnekler

Callen ve Mitchell⁽¹¹⁾, Illinois kömürleri üzerinde yaptıkları yüzdürme-batırma deneylerinde, kükürt şekillerinin yoğunluk ve tane fraksiyonlarına göre dağılımlarını incelemişlerdir. Buna göre, kömürdeki toplam kükürt, düşük yoğunluktan yüksek yoğunluğa doğru artmış, piritik kükürt ve sülfat kükürtü de buna paralel bir dağılım göstermiştir. Organik kükürt, diğerlerinin tersine, en hafif fraksiyonda yani temiz kömürde zenginleşmiştir. Bu durum kükürt atımını zorlaştırmış ve toplam kükürtte ancak % 25-30 luk bir azalma sağlanabilmiştir.

Alabama kömürleri üzerinde yapılan bir çalışmada, toplam kükürtün ağır yoğunluk fraksiyonlarına doğru düzgün bir artış göstermediği bulunmuştur. Örneğin, tüvenan kömürde toplam kükürt yüzdesi 0.78 olduğu halde, 1.90 yoğunluğunda batan fraksiyonun toplam kükürt yüzdesinin 0.45 olduğu görülmüştür.⁽²⁹⁾ Yancey ve Parr⁽⁵⁹⁾ 'da buna benzer bir durumu Kuzey Carolina kömürlerinde gözlemişler ve atılan kısmın temiz kömürden daha az kükürt içerdiğini bulmuşlardır. Bu duruma, özellikle, yantaşlarında pirit bulunmayan ve piritin yoğunluğunun kömürün içine dağılmış olduğu hallerde rastlanmaktadır⁽¹³⁾. "Uzaklaştırılmayan kükürt" yüzdesi yüksek olan bazı İngiliz kömürlerinde 1.60 yoğunlukta yüzdürülen kömürdeki kükürt yüzdesinin, tüvenanın 2 katına kadar çıktığı izlenmiştir⁽¹⁶⁾.

Kömür damarları bantlar şeklinde pirit içerdiklerinde, iri tanelerdeki kükürt oranında gözle görünür bir artış göze çarpmaktadır. Kömür içindeki piritler çok ince dağıldıklarında veya kömürün organik kükürt içeriği fazla olduğunda, çeşitli fraksiyonların kükürt dağılımında benzer özelliklere rastlanmaktadır. Ayrıca kömürdeki organik kükürt oranı, piritik kükürt oranını aştığında, yıkama sonunda yüzen kömürdeki kükürt yüzdesinin tüvenan kömürden fazla olduğu görülebilir⁽¹⁶⁾.

Farklı boyutlara kırma ve öğütme, kömürün piritik kükürtten arındırılmasını etkilemektedir. Terchick⁽⁵¹⁾, yeterli bir temizleme için kömürün ince boyutlara kırılması ve düşük yoğunlukta ayırım yapılması gerekliliğini vurgulamıştır. Üst tane boyutu 3 inç olan tüvenan Pittsburgh kömürü 1.45 yoğunlukta yı-

kandığında, toplam kükürt içeriği % 2,32'den 1,1,64'e düşmüştür. Üst tane boyutu 20 meş'e indirildiğinde, aynı kömürdeki kükürt içeriği % 1.25 olarak bulunmuştur. Benzer bir çalışma, % 4.7 toplam kükürtlü 9 numaralı Ohio kömür damarı için yapılmış ve üst tane boyutu 30 meş olarak saptanmıştır. Organik kükürt içeriği % 2.15 olan bu kömür, 1.50 yoğunluğunda yıkandığında, % 70 randımanla ancak % 2.99 toplam kükürte kadar temizlenebilmiştir (62).

Ortamin yoğunluğunun, kömürden piritin uzaklaştırılmasındaki rolü çok önemlidir. Piritik kükürt oranındaki düşüş 1.45'in üstündeki yoğunluklarda az, 1.45'in altında ise çok daha fazladır (51). Bununla beraber, yüksek yoğunluklarda yapılan yıkamalarda kcal/kg randımanı artmaktadır. Genel bir kurala göre, yoğunluğun artması, piritik kükürt, toplam kükürt ve kg kömür başına SO₂ yayınımasını arttırmaktadır (13).

Kömürden kül ve kükürtün uzaklaştırılması sorunlarına benzer bir çözüm yolu arandığında dikkat edilmesi gereken bir nokta, bu safsızlıkların yıkanabilirliklerinin aynı düzeyde olmayışdır. Genellikle kömürdeki kül, kükürttten daha fazla uzaklaştırılabildiğinden, bir kömürün kül ve kükürt açısından yıkanabilirlik koşulları birbiriyle aynı olmayabilir. Bu sebepten, kömürlerin kül ve kükürttten arındırılması sorunu ayrı ayrı ele alınarak çözümlenmelidir (60).

BÖLÜM 5

ARAŞTIRMADA UYGULANAN YÖNTEM VE ARAÇLAR

Bu bölüm nünunelerin hazırlanışı, kimyasal ve petrografik analizleri, yoğunluk ve öğütülebilirlik deneyleri, elek analizleri ve yüzdürme-batırma deneyleri sırasında uygulanan yöntem ve araçları kapsamaktadır.

5.1. Nünunelerin Hazırlanışı

5.1.1. Tuvenan nünunelerin alınışı

Bu araştırmada, yurdumuzun çeşitli bölgelerinden alınmış 5 linyit nünunesi incelenmiştir. Bunlar Şark Linyitleri İşletmesi (ŞLİ)'ne ait Erzurum-Aşkale linyiti, Bolu Linyit İşletmesi (BLİ)'ne ait Bolu-Çorak ve Bolu-Merkeşler linyitleri, Orta Anadolu Linyit İşletmesi (OAL)'ne ait Çayırhan Linyiti ve Çan Linyitleri İşletmesi (ÇLİ)'ne ait Çanakkale-Çan linyitidir. Bu nünuneler, yüksek kükürt içermeleri, kömür damarlarının oluk nünunesi almaya uygunlukları ve bazılarının yüksek rezerv potansiyeline sahip oluşları nedeniyle seçilmişlerdir. Nünunelerin şartlar elverdiğince çalışan veya yeni açılan damarlardan alınmasına dikkat edilmiştir.

Oluk nümuneleri, tabakalaşmaya dik ve (mümkünse) bütün damarı temsil edecek şekilde alınmışlardır. Nümunelerin alınmasından önce alın, gevşek kömür ve şistlerinden temizlenmiş, daha sonra yüzdürme-batırma deneylerinde kullanılmak üzere tavandan tabana doğru 25 cm derinliğinde ve yeterli genişlikte kazılarak 150-200 kg. civarında kömür elde edilmesine çalışılmıştır. Fiziksel ve kimyasal deneyler için ise 15 cm x 15 cm derinlik ve eninde ikinci bir oluk açılarak nümune alınmıştır. Alınan nümuneler kömür damarlarındaki bütün safsızlıkları ve bantları içermektedir. Kazılan parçalar derhal kalın naylon torbalara doldurulup, ağızları sıkıca kapatılmış ve sandıklar içerisinde laboratuvarlara getirilmiştir. Nümunelerin tane boyutlarında değişme olmamasına ve orijinal nemin kaybolmamasına zen gösterilmiştir.

Erzurum-Aşkale Kükürtlü Linyit nümunesi, 1833 seviyesindeki 10 damarın çalışan 4,5,6,7,8 ve 9. damarlarından alınmıştır. Oluk nümuneleri birbirine karıştırılarak kompozit nümune hazırlanmış ve deneyler bu nümune üzerinde yürütülmüştür.

Çayırhan linyit nümunesi tavan ve taban damarlarından alınmış ve günlük üretim nisbetlerine göre karıştırılmış kompozit nümuneler üzerinde çalışılmıştır.

anakkale-an linyit nümunesi, açık işletmesi 3 nolu panosundan alınmıştır. O sırada çalışır vaziyette olan 1. Nolu diğer panonun toplam kükürt yüzdesi düşük olduğundan buradan nümune alınmamıştır. Nümunenin alınışı sırasında işletmede aynı zamanda heyelan görüldüğünden, oluk nümunelerinin olanaklar el-

verdiğince belirli aralıklarla ve yaklaşık 2 m. yüksekliğine kadar alınmasına gayret edilmiştir.

Bolu Linyit İşletmesine ait nünunelerden Çorak nünunesi, alından oluk nünunesi şeklinde, Merkezler nünunesi ise silodan alınmıştır.

5.1.2. Tuvenan Nünunelerin Kimyasal ve Fiziksel Analizler için Hazırlanışı

Fiziksel ve kimyasal analizler için alınan oluk nünunelerinin önce kaba rutubeti tayin edilmiştir. Bunun için, 1 cm' nin altına kırılmış 1 kg civarındaki nünune, 40 °C lik fırında sabit tartıma gelinceye kadar bırakılmıştır. İlk tartımla kurutma sonundaki tartım arasındaki fark kaba rutubeti vermektedir. (ASTM D 3302 Metod A ve B) (2).

Hava kuru nünune çeneli kırıcıda ve sonra çekiçli kırıcıda kırılarak tane boyutu 10 mm'nin altına indirilmiştir. Nünune bölücülerle temsili parçalara ayrılarak kimyasal ve fiziksel analizler için gerekli nünune alınmıştır.

Kimyasal analizler için temsili nünune merdaneli kırıcıda 14 meşe öğütülmüş ve nünune bölücülerle içinden 250 gram civarında nünune alınmıştır. Son olarak agat havanda 65 meşin altına öğütülmek suretiyle kimyasal analizler için gerekli nünune hazırlanmıştır (ASTM D 271-70) (2).

Hardgrove öğütülebilirlik indeksinin tayininde (-14 +25) meş boyutundaki nünuneler kullanıldığından, kontrollu bir kırma

ve öğütme işlemiyle tanelerin büyük bir kısmı bu elekler arasında olacak şekilde nümune hazırlanmıştır.

5.1.3. Petrografik ve Mineralojik Analizler için Nümunenin Hazırlanışı

Petrografik analizler için temsili nümune, kontrollu bir öğütmeyle 750 mikronun altına kırılmıştır. Buradan alınan 5 gram nümune, içine sertleştirici ve hızlandırıcı katılmış polyesterle karıştırılmış ve kalıplara dökülmüştür. Sertleşen blok kalıptan çıkarılıp ve yüzeyi çeşitli incelikteki silisyum karbürü kağıtlarla kaplı dönen diskler üzerinde parlatılmıştır. Son parlatma keçe üzerinde ve krom oksitle yapılmıştır. Herbir basamakta kalıbın yüzü bol suyla yıkanmıştır^(5,33).

Pirit ve gang minerallerinin incelenmesi için bazı seçilmiş parça nümunelerinden ayrıca parlak ve ince kesit nümuneleri hazırlanmıştır.

5.1.4. Oluk Nümunelerinin Yüzdürme-Batırma Deneyi İçin Hazırlanışı

Yüzdürme-batırma deneyleri, birincil, ikincil ve üçüncül kırma işlemlerinden çıkan ürünlerin, elek fraksiyonları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Birincil kırma, havada kurutulmuş bütün nümunenin 50 mm'nin altına kırılması işlemidir. Aynı şekilde ikincil kırma, bütün nümunenin 18 mm'nin altına kırıldığını, üçüncül kırma da bütün nümunenin 10 mm'nin altına kırıldığını göstermektedir. Birincil kırma ürünü, eleme suretiyle (-50 +18)mm,

(-18 +10)mm, (-10 +0.5) mm ve -0.5 mm'lik elek fraksiyonlarına ayrılmıştır. İkincil kırma ürününden de eleme suretiyle (-18 +10) mm, (-10 + 0.5) mm ve -0.5 mm'lik fraksiyonlar hazırlanmış, benzer şekilde üçüncül kırma ürününden de (-10 + 0.5) mm ve -0.5 mm'lik elek fraksiyonları elde edilmiştir. Her kırma işlemine ait elek fraksiyonları tartılmış ve yüzdürme-batırma deneyleri için saklanmıştır.

Kırma işlemleri, çeneli kırıcıda gerçekleştirilmiştir. Eleme işlemlerinde ise Tyler standard elekleri kullanılmıştır. 50 mm için Tyler 50.8 mm eleği, 18 mm için Tyler 19 mm eleğinden, 10 mm için Tyler 9.51 mm eleğinden ve 0.5 mm için Tyler 35 meş eleğinden faydalanılmıştır.

5.2. Kimyasal ve Fiziksel Analiz Yöntemleri

5.2.1. Kimyasal Analizler (43,55) .

Orijinal numunelerde, kısa analiz olarak adlandırılan rutubet, kül, uçucu madde ve sabit karbon tayinleri yapılmıştır. Bünye suyu tayininde ISO 1015, kül tayininde ISO 1171, uçucu madde tayininde ISO 562 standartlarından faydalanılmıştır. Orijinal numunelerde ayrıca ısı değeri, toplam kükürt, sülfat kükürtü ve piritik kükürt analizleri de yürütülmüştür. Kalori değerinde ASTM D 2015, toplam kükürt analizlerinde ISO 334, çeşitli kükürt türleri analizlerinde ise ASTM 2492-77 standartları uygulanmıştır.

Elek fraksiyonları ve yüzdürme-batırma deneylerinin ürünlerinde toplam kükürt, diğer kükürt türleri ve kül analizleri yapılmıştır.

5.2.2. Fiziksel Analizler

Kömürlerin öğütülebilirlik indeksi, standart Wallace Hardgrove makinası ile saptanmıştır⁽²⁾: ASTM D 409 standartının uygulandığı bu deneylerde 50 gram (-14 +25) meş büyüklüğündeki kömür numunesi kullanılmıştır. Hardgrove indeksi ve iş indeksi aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

$$\text{Hardgrove İndeksi (HI)} = 6,93 \times W + 13$$

W: 200 meş elek altına geçen numunenin ağırlığı (gram)

$$\text{İş İndeksi (W}_i\text{)} = \frac{435}{(\text{HI})^{0,91}}, \text{W}_i = \text{kwh/ton}$$

5.2.3. Özgül Ağırlık Tayini

Nümunelerin özgül ağırlıkları piknometre ile tayin edilmiştir.

5.3. Petrografik ve Mineralojik Analizler

5.3.1. Aletler

5.3.1.1. Mikroskop

Kömürdeki çeşitli petrografik birimlerin oranlarının hacimsel olarak tesbiti için hazırlanan parlatmalar yansıyan ışıkla çalışan mikroskopta incelenmiştir. Kullanılan mikroskop Leitz-Orthoplan-Pol polarizasyon mikroskobu olup, mikroskop tablası, elektrikle işleyen otomatik nokta sayıcıya bağlanmıştır.

5.3.1.2. Otomatik Tane Sayıcı

Nokta sayımı, James Swift ve Oğulları firmasının otomatik nokta sayıcısı ile yapılmıştır. Sayıcı 0,3 mm yatay aralıklı mekanik bir tabla ile donanmıştır.

5.3.1.3. Yöntem⁽³³⁾

Otomatik tane sayıcıda, her maseral grubu için bir düğme seçilir. Parlatılmış nümune mikroskop tablasına yerleştirilir. Parlatmanın en uç noktasından başlamak suretiyle yatay doğrultuda sayma yapılır. Sayma işlemi, haçın merkezine rastlayan petrografik birimin otomatik sayıcıdaki özel düğmesine basmak suretiyle yapılır. Her saymadan sonra, parlatmanın görüntüsü 0,3 mm kayar ve yeni görüntüde haçın merkezine rastlayan petrografik birim nokta-sayıcıda kaydedilir ve sayım sürdürülür. Bir doğrultudaki sayım bittiğinde, parlatma otomatik düğmeyle dikey doğrultuda kaydırılır ve sayıma devam edilir. Petrografik analizlerde, bir parlatma nümunesinde en az 500 nokta sayılır, her petrografik birimin sayısının, toplam nokta sayısına oranı, o nümunenin maseral gruplarının hacimsel olarak yüzdelerini belirler.

5.4. Yüzdürme-Batırma Deneyleri

5.4.1. Araçlar

Yüzdürme-batırma deneylerinde iri taneler için silindirik şeklindeki plastik tanklar ve onların içine daldırılmış 0,5 mm

açıklıklı elek telinden yapılmış sepetler kullanılmıştır. Yüzen kısımların toplanmasına yarayan elekli kepçeler ve süzülmesini sağlayan süzgeçli tavalarda deneylerde kullanılan diğer araçlardır. Bütün araçların korozyondan etkilenmeyecek veya en az etkilenen malzemelerden yapılmasına özen gösterilmiştir. Kullanılan araçların hepsi ODTÜ, Maden ve Petrol Mühendisliği atölyelerinde hazırlanmıştır.

İnce taneli numunelerin yüzdürme-batırma deneyleri yıkama hunileri içinde gerçekleştirilmiştir.

Yoğunlukların ayar ve kontrolünde hidrometrelerden faydalanılmıştır.

5.4.2. Yöntem

Yüzdürme-batırma deneylerinde TS 3037 sayılı standard uygulanmıştır⁽⁵⁵⁾.

Deneylerde, (-50 + 18)mm, (-18 + 10)mm ve (-10 + 0,5) mm'lik iri taneler için çinko klorür tuzunun suyla olan çözeltisi kullanılmış, 0,5 mm'nin altındaki ince tanelerde ise bromoform ve CCl₄ karışımı uygulanmıştır. Çinko klorür ile yapılan deneylerde, ortamın yoğunluğu 1,40, 1,45, 1,50, 1,55 ve 1,60'a ayarlanmıştır. Bromoform ve CCl₄ ile yapılan deneylerde ise yıkama-bilirlik deneyleri 1,35, 1,40, 1,45, 1,50, 1,55, 1,60, 1,70 ve 1,80 yoğunluğundaki sıvılarda yürütülmüştür.

Yüzdürme-batırma deneylerinin başlangıcında -çinko klorürün kömürün gözeneklerini doldurup hatalı sonuçlara neden olmaması için - numune su ile ıslatılmıştır^(11,55). Göze-

nekleri suyla dolmuş kömür 1,40 yoğunluktaki sıvıya ince bir tabaka oluşturacak şekilde konulmuş ve hafifçe karıştırılmıştır. Çökelme için yeterli zaman bırakıldıktan sonra yüzen kısım elekli kepçeyle toplanarak süzgeçli tavalara konulmuştur, batan kısmın ise sepetin içinde birikmesi sağlanmıştır. Sepetin tanktan çıkarılmasıyla ağır sıvıdan süzülen kömür bir sonraki ağır sıvıya daldırılarak işleme devam edilmiştir.

Bütün yoğunluklardan elde edilen yüzen kısımlar ile 1,60 yoğunluğunda batan kısım suyla iyice yıkanmış ve etüvde 40 °C' de kurutulduktan sonra tartılmıştır. Alınan temsili numuneler üzerinde kül ve kükürt türleri analizleri yürütülmüştür.

5.5. Zenginleştirme Deneyleri

5.5.1. Araçlar

Zenginleştirme deneylerinde, Diester Firmasının diyagonal çatalı sallantılı masası, 5 dönüşlü Humphreys spirali, Denver Sub-A flotasyon makinası, Newport Instrument Electromagnet firmasının yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcısı ve Salford Üniversitesinin Yüksek Gradyantlı manyetik ayırıcısı kullanılmıştır.

5.5.2. Yöntemler

Zenginleştirme deneylerindeki çalışma şartları, bulgularla birlikte verilecektir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL BULGULAR

6.1. Nümunelerin Özellikleri

6.1.1. Nümunelerin Kimyasal Analizleri

Nümunelerin kısa analizleri, ısı değerleri ve kükürt türlerinin oranları Çizelge-8,9,10,11,12 ve 13'te verilmiştir.

ÇİZELGE-8: Bolu-Merkeşler linyitinin kimyasal analizi

Kısa Analiz	Orijinal Kömür %	Hava - kuru kömür, %
Nem	7,91	4,80
Kül	12,17	12,58
Uçucu madde	43,23	44,69
Sabit karbon	36,69	37,93

Kükürt Türleri	Orijinal kömür, %	Hava - kuru kömür, %
Sülfat kükürtü	0,1018	0,1053
Piritik kükürt	3,1543	3,2608
Organik kükürt	3,3869	3,5013
Toplam kükürt	6,6430	6,8674

Çizelge-9: Bolu-Çorak linyitinin kimyasal analizi

Kısa Analiz	Orijinal kömür, %	Hava-kuru kömür, %
Nem	10,97	5,20
Kül	14,62	15,57
Uçucu madde	38,14	40,61
Sabit karbon	36,27	38,62

Kükürt Türleri	Orijinal kömür, %	Hava-kuru kömür, %
Sülfat kükürtü	0,4191	0,4463
Piritik kükürt	3,3672	3,5854
Organik kükürt	1,5395	1,6393
Toplam kükürt	5,3258	5,6710

ÇİZELGE-10: Ankara-Çayırhan linyitinin kimyasal analizi

Kısa Analiz	Orijinal kömür, %	Hava-kuru kömür, %
Nem	26,19	8,20
Kül	20,17	25,09
Uçucu madde	28,96	36,02
Sabit karbon	24,68	30,69

Kükürt Türleri	Orijinal kömür, %	Hava-kuru kömür, %
Sülfat kükürtü	0,1675	0,2083
Piritik kükürt	1,6964	2,1099
Organik kükürt	2,3516	2,9248
Toplam kükürt	4,2155	5,2430

ÇİZELGE-11: Erzurum-Aşkale linyitinin kimyasal analizi

Kısa Analiz	Orijinal kömür, %	Hava-kuru kömür, %
Nem	4,75	1,80
Kül	26,89	27,72
Uçucu madde	33,42	34,46
Sabit karbon	34,94	36,02

Kükürt Türleri	Orijinal kömür, %	Hava-kuru kömür, %
Sülfat kükürtü	0,1260	0,1299
Piritik kükürt	3,6552	3,7684
Organik kükürt	0,6502	0,6703
Toplam kükürt	4,4314	4,5686

ÇİZELGE-12: Çanakkale-Çan linyitinin kimyasal analizi

Kısa Analiz	Orijinal kömür, %	Hava-kuru kömür, %
Nem	32,40	9,40
Kül	11,06	14,82
Uçucu madde	27,81	37,27
Sabit karbon	28,73	38,51

Kükürt Türleri	Orijinal kömür, %	Hava-kuru kömür, %
Sülfat kükürtü	0,2190	0,2935
Piritik kükürt	2,3418	3,1389
Organik kükürt	1,5741	2,1095
Toplam kükürt	4,1349	5,5419

ÇİZELGE-13: Linyit nümunelerinin ısı değerleri

Nümuneler	Isı değeri, Kcal/kg(hava kuru)	
	st ısı değeri	Alt ısı değeri
Bolu-Merkeşler	6850	6676
Bolu-Çorak	6300	6142
Çayırhan	3840	3764
Erzurum-Aşkale	6190	5967
Çanakkale-Çan	5274	5005

6.1.2. Linyit Nümunelerinin Petrografik ve Mineralojik Analizleri

Nümunelerin petrografik analizleri Çizelge-14'de verilmiştir.

ÇİZELGE-14: Linyit nümunelerinin petrografik analizleri

Nümuneler	Huminit	Eksinit	Inertinit	Pirit	Mineral madde
Bolu-Merkeşler	79,62	7,64	6,37	5,10	1,27
Bolu-Çorak	79,31	8,62	2,30	8,62	1,15
Çayırhan	76,06	7,04	1,41	9,86	5,63
Erzurum-Aşkale	82,80	1,80	1,00	3,40	11,0-
Çanakkale-Çan	80,60	3,60	5,00	4,20	6,60

Mineralojik analizler, seçilmiş parçaların nümunelerinden yapılan parlak ve ince kesitlerle, temsili toz nmuneden hazırlanmış parlatmalar üzerinde yürütülmüştür. Örnekler, ayrı ayrı ele alınarak incelenmiştir.

6.1.2.1. Bolu-Merkeşler Linyit Nümunesinin Mineralojik Analizi

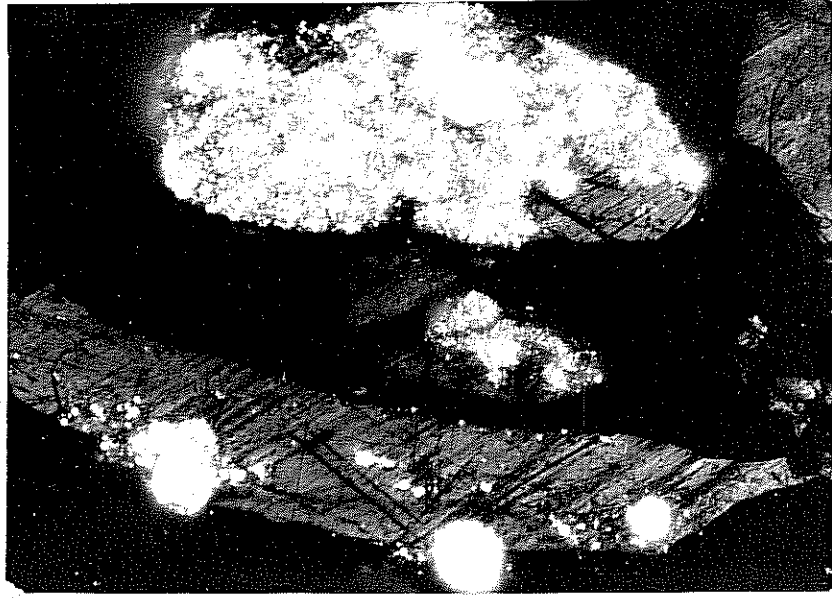
Parlak kesit: Kömür, yer yer mat, genellikle orta parlaklıkta bir görünümündedir. İçinde az miktarda, saçılmış, yuvarlak taneler halinde, büyük olasılıkla bakteri kökenli piritler bulunmaktadır. Ayrıca tek tek veya gruplar ve zincirler halinde piritlerin varlığı da saptanmıştır. Piritlerin boyları 5 ile 30 mikron arasında değişmekle beraber egemen tane boyu ise 10-20 mikrondur.

İnce kesit: Kömürün içinde, dilinim yüzeyleri boyunca az miktarda, çok ince taneli kaolinit bulunmaktadır.

Temsili nümunenin parlatması: Linyit açık gri ve mat görünümlü, genellikle köşeli tanelerden oluşmaktadır. Piritler tek tek veya gruplar halinde görüldüğü gibi, kömür tanelerinin içinde, boyları 3 ile 30 mikron arasında küreler şeklinde de bulunmaktadır. Şekil-1'de Bolu-Merkeşler linyitine ait bir toz parlatması gösterilmiştir.

6.1.2.2. Bolu-Çorak Linyit Nümunesinin Mineralojik Analizi

Parlak kesit: Kömür Merkezişlerden daha mat görünümündedir. Piritler bazen köşeli serbest kristaller halinde görülmekte, bazen de yarı küresel şekiller halinde bulunmaktadır. Küresel piritlerin bakteri kökenli olduğu sanılmaktadır. Kristal piritlerin tane boyları 10 mikronla 200 mikron arasında değişmektedir. Kömürün içindeki küresel piritlerin boyları ise 10 mikrondan büyüktür.



ŞEKİL-1: Bolu Merkezler linyiti toz parlatmasında piritler (Büyütme:X 400)

İnce kesit: Kahverengi ile kırmızı-kahverengi arası, yarı saydam, belirgin dilinim gösteren bir kömür numunesi olarak tanımlanabilir. İçinde kil minerali bulunmaktadır.

Temsili numunenin parlatması: Linyit gri, mat, çatlaklı, genellikle köşeli taneler halinde bulunmaktadır. Piritler tek tek, zincirler veya kömürlerin içinde küresel taneler halinde dağılmışlardır. Serbest pirit tanelerinin boyları 15 ile 225 mikron arasında değişmektedir, kömürlerin içindeki piritler ise 5 ile 75 mikron arasında değişen tane boyutuna sahiptirler. Şekil-2'de Bolu-Çorak numunesine ait bir toz parlatması gösterilmiştir.



Şekil-2: Bolu-Çorak linyiti toz parlatmasında piritler (Büyütme: X400)

6.1.2.3. Çayırhan Linyit Nümunesinin Mineralojik Analizi

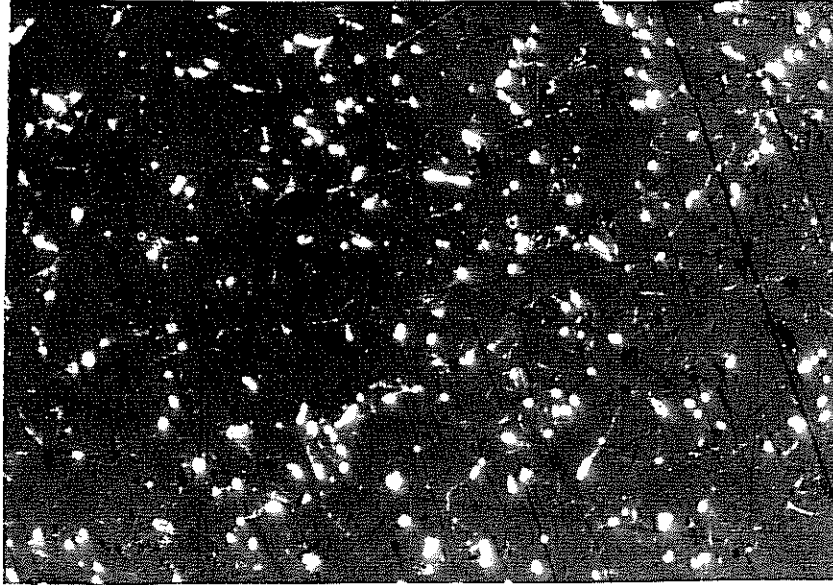
Parlak kesit: Mat, yer yer orta parlaklıkta, parlak kesimleri belirgin dilinimli bir kömür olup, içinde az miktarda saçılmış, yuvarlak taneler halinde, muhtemelen bakteri kökenli piritler içermektedir. Pirit taneleri tek tek, kümeler veya zincirler şeklinde görülmektedir. Yer yer, büyük kümeler içinde iri taneler şeklinde de gözükmetedir. Pirit tanelerinin boyları 5 mikronla 30 mikron arasında değişmektedir. Egemen tane boyu 10-15 mikron arasındadır.

İnce kesit: Kahverengi ile kırmızı-kahverengi arası, yarı saydam, dilinimli, çatlaklı, kırılğan bir kömürdür. Dilinim düzlemleri çoğunlukla birbirine dik olup, dilinim yüzeyleri

pürüzlü bir görünüm vermektedir. Kömür, çatlaklar boyunca kil ve daha az miktarda çok ince taneli kuvars içermektedir.

Temsili nümunenin parlatması :

Linyit, gri, mat, çatlaklı ve köşeli tanelerden oluşmaktadır. Pirit taneleri, kömürden ayrı olarak veya kömürün içinde küremsi taneler halinde bulunmaktadır. Ayrı tanelerin boyları 15 ile 300 mikron arasında, kömür içindeki tanelerin boyları ise 3 mikron ile 30 mikron arasında değişmektedir. Şekil-3'te Beypazarı-Çayırhan linyitine ait bir toz parlatması gösterilmiştir.



ŞEKİL-3: Beypazarı-Çayırhan linyiti toz parlatmasında piritler
(Büyütme: X 400)

6.1.2.4. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesinin Mineralojik Analizi

Parlak kesit: Numune gri, mat görünümlü olup, içinde gözle görülebilen, büyüklüğü 5 mm'ye kadar çıkabilen, çatlak dolgusu şeklinde fazla miktarda pirit içermektedir. Kömürün içinde ayrıca, tane boyutu 5 mikrona kadar inebilen bakteri kökenli kürecikler bulunmaktadır. Şekil-4'te Erzurum-Aşkale linyitinin bir parlak kesiti gösterilmiştir.

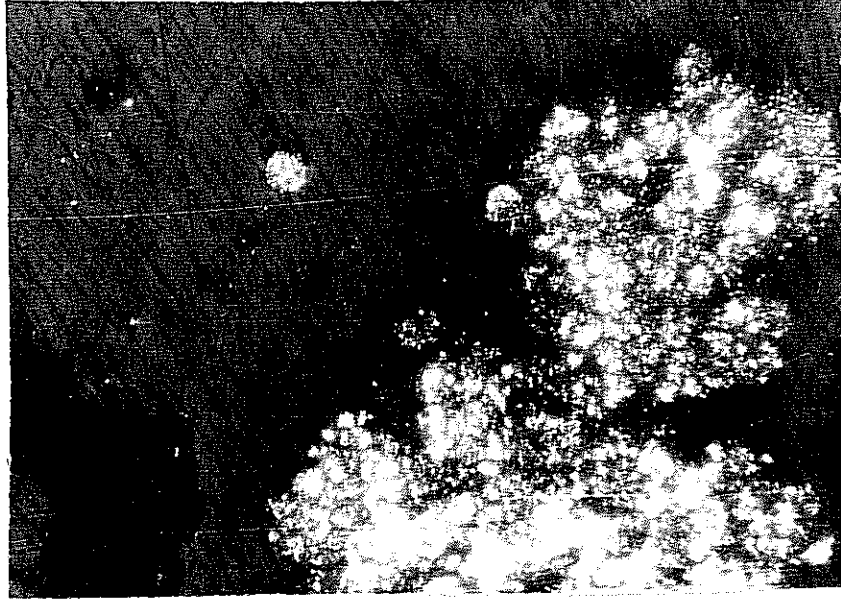


ŞEKİL-4: Erzurum-Aşkale linyiti parlak kesitindeki piritler
(Büyütme: X 500)

İnce kesit: Kömürün içinde gözlenebilen başlıca gang minerali, çatlak dolgusu şeklinde görülen kalsittir.

Temsili nümunenin parlatması :

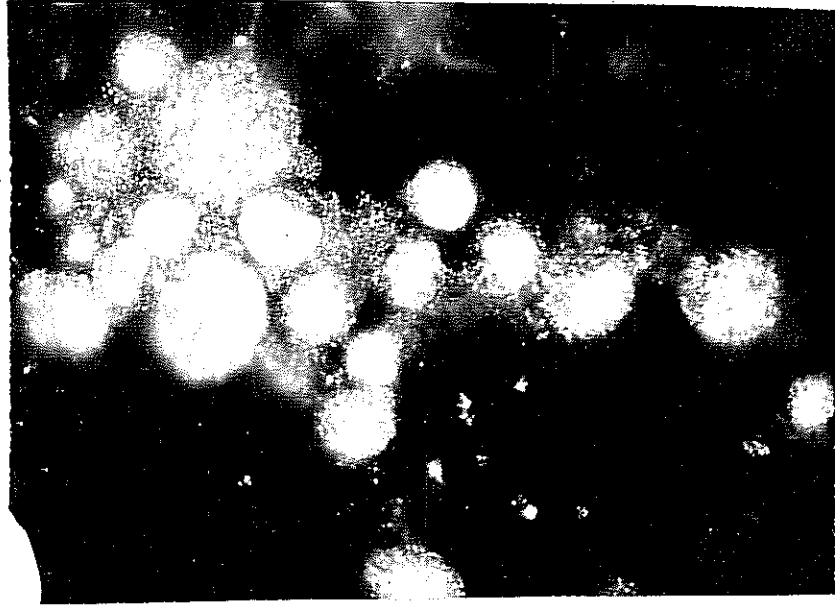
Linyit gri, mat, çatlaklı görünümlü olup, genellikle köşeli li taneler içermektedir. Piritler kısmen köşeli, kısmen de küresel taneler halinde, kömüre bağlı veya bağımsız olarak bulunmaktadırlar. Piritin çoğunluğu iri ve ince damar-çatlak dolgu su Şeklinde görülmektedir. Serbest pirit tanelerinin boyları 300 mikrondan büyüktür. Kömüre bağlı bakteri kökenli pirit kürelerinin boyları ise 5 ile 40 mikron arasında değişmektedir. Şekil-5'te Erzurum Aşkale linyitine ait bir toz parlatma gösterilmiştir.



ŞEKİL-5: Erzurum-Aşkale linyiti toz parlatmasındaki piritler
(Büyütme: X 500)

6.1.2.5. Çanakkale-Çan Linyit Nümunesinin Mineralojik Analizi

Parlak kesit: Linyit, koyu gri ve mat görünümlüdür. Pirit taneleri değişik boyutlarda dağılım göstermektedir. Boyları 1 ile 5 mikron arasında bulunan saçılmış küreler ve bakteri salkımları; 10 ile 20 mikron arasında bulunan yarı köşeli taneler ve 40 ile 120 mikron arasında bulunan yarı köşeli taneler ve tane grupları en çok göze çarpan pirit şekilleridir. Ayrıca dilinim boşluklarında, 20-60 mikron arasında pirit tanelerine rastlanmıştır. Şekil-6'da Çanakkale-Çan linyitinin bir parlak kesiti verilmiştir.

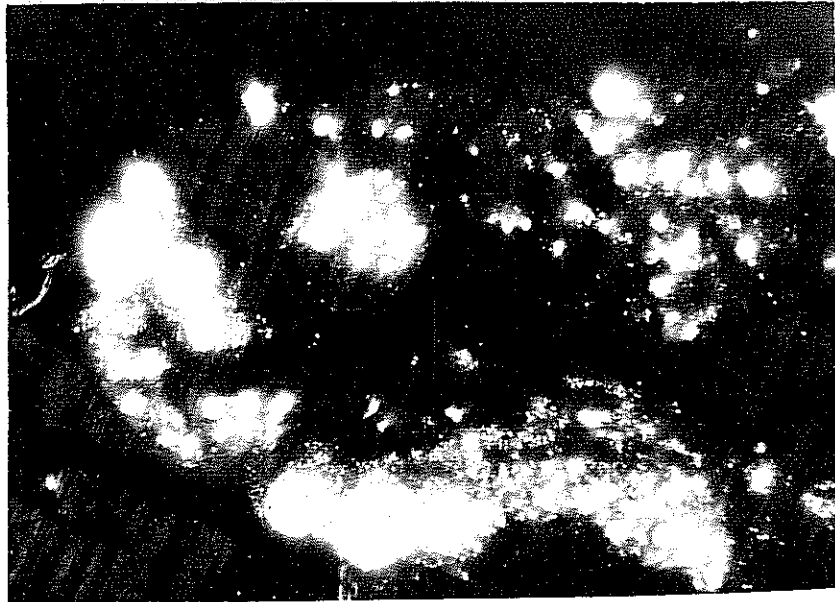


ŞEKİL-6: Çanakkale-Çan linyiti, parlak kesitindeki piritler
(Büyütme: X 400)

Ince kesit : Açık kahverengi-kestane rengi arasında yarı geçirgen özellikli bitkisel dokulu bir kömür nümunesi olarak tanımlanabilir. İçinde az miktarda opak mineraller, kil mineralleri ve kuvars içermektedir.

Temsili nümunenin parlatması :

Linyit, mat, gri-koyu gri renkte görünüm vermekte ve köşeli tanelerden oluşmaktadır. Pirit hem serbest halde hemde kömürle birleşik olarak bulunmaktadır. Ayrı tanelerin boyları 45 mikron ile 525 mikron arasında değişmektedir. Kömür taneleri içindeki kürelerin boyları 3-30 mikron arasında bulunmaktadır. Şekil-7'de Çanakkale-Çan linyitine ait bir toz parlatma gösterilmiştir.



ŞEKİL-7: Çanakkale-Çan linyiti toz parlatmasındaki piritler (Büyütme: X 500)

6.1.3. Linyit Nümunelerinin Fiziksel Özellikleri

Nümunelerin özgül ağırlıkları Çizelge-15'de, Hardgrove öğütülebilirlik ve iş indeksleri ise Çizelge-16'da verilmiştir.

ÇİZELGE-15: Linyit nümunelerinin Özgül ağırlıkları

Nümuneler	Özgül Ağırlık
Bolu-Merkeşler	1,39
Bolu-Çorak	1,46
Ankara-Çayırhan	1,63
Erzurum-Aşkale	1,50
Çanakkale-Çan	1,43

ÇİZELGE-16: Linyit nümunelerinin öğütülebilirlik ve iş indeksleri (hava kuru nümunede)

Nümuneler	Hardgrove öğütülebilirlik indeksi	İş indeksi kwh/ton
Bolu-Merkeşler	73,98	8,66
Bolu-Çorak	63,59	9,94
Ankara-Çayırhan	96,51	6,80
Erzurum-Aşkale	87,84	7,41
Çanakkale-Çan	87,15	7,46

6.1.4. Linyit Nümunelerinin Elek Analizleri

Linyitlerin kül ve kükürt içeriklerinin elek fraksiyonlarındaki dağılımları Çizelge-17,18,19,20 ve 21'de gösterilmiştir. Yüzdürme batırma deneyleri, hava kuru analiz esasına göre

ÇİZELGE-17: Bolu-Merkeşler linyit nümunesinin elek analizi

Elek açıklığı, mm	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat kükürtü	% Piritik kükürt	% Organik kükürt	% Toplam kükürt	% Piritik Kü- kürt Dağılımı
-50 +18	58,67	12,35	0,0917	3,4259	3,4984	7,0160	61,64
-18 + 10	15,60	13,24	0,1018	3,4997	3,3304	6,9319	16,74
-10 + 0,5	24,04	12,12	0,1283	2,7707	3,6420	6,5410	20,43
- 0,5	1,69	21,02	0,2855	2,2928	3,1797	5,7580	1,19
Toplam	100,00	12,58	0,1053	3,2608	3,5013	6,8674	100,00

ÇİZELGE-18: Bolu-Çorak linyit nümunesinin elek analizi

Elek açıklığı, mm	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat kükürtü	% Piritik kükürt	% Organik kükürt	% Toplam kükürt	% Piritik Kü- kürt Dağılımı
-50 + 18	37,47	12,09	0,2172	3,6027	1,9188	5,7387	37,65
-18 + 10	21,67	17,12	0,1934	3,5758	1,8379	5,6071	21,61
-10 + 0,5	37,53	16,77	0,7416	3,6567	1,3308	5,7291	38,28
- 0,5	3,33	31,23	1,3430	2,6492	0,6782	4,6704	2,46
Toplam	100,00	15,57	0,4463	3,5854	1,6393	5,6710	100,00

ÇİZELGE-19: Çayırhan linyit nümunesinin elek analizi

Elek Açıklığı, mm	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kü- kürt Dağılımı
-50 + 18	82,85	25,51	0,2060	2,1148	2,8950	5,2158	83,05
-18 + 10	9,13	22,72	0,2112	2,1472	3,0377	5,3961	9,29
-10 + 0,5	7,20	22,68	0,2343	1,9790	3,1508	5,3641	6,75
- 0,5	0,82	29,83	0,1776	2,3445	2,6937	5,2158	0,91
Toplam	100,00	25,09	0,2083	2,1099	2,9248	5,2430	100,00

ÇİZELGE-20: Erzurum Aşkale linyit nümunesinin elek analizi

Elek açıklığı, mm	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kü- kürt Dağılımı
-50 + 18	66,31	30,35	0,1351	4,5535	0,6653	5,3539	80,13
-18 + 10	11,73	20,92	0,1242	3,0809	0,4861	3,6912	9,59
-10 + 0,5	20,25	15,95	0,0950	1,7782	0,7982	2,6714	9,55
- 0,5	1,71	25,44	0,3840	1,6060	0,6130	2,6030	0,73
Toplam	100,00	26,24	0,1300	3,7683	0,6703	4,5686	100,00

ÇİZELGE-21: Çanakkale-Çan linyit nümesinin elek analizi

Elek açıklığı, mm	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat kükürtü	% Piritik kükürt	% Organik kükürt	% Toplam kükürt	% Piritik Kü- kürt Dağılımı
-50 + 18	71,21	13,79	0,2359	2,6810	2,1394	5,0563	60,82
-18 + 10	13,96	14,80	0,2839	2,8169	2,0509	5,1517	12,53
-10 + 0,5	12,79	17,99	0,4753	4,6501	2,0046	7,1300	18,95
- 0,5	2,04	30,83	1,2306	11,8534	2,1253	15,2093	7,70
Toplam	100,00	14,82	0,2935	3,1389	2,1095	5,5419	100,00

değerlendirileceği için, elek fraksiyonlarının analizleri de aynı esasa göre hesaplanmıştır.

6.2. Nümunelerin Yüzdürme-Batırma Deneyleri

Nümunelerin kimyasal ve mineralojik analizleri gözönüne alınarak, piritik/organik kükürt oranı yüksek, kömür içindeki pirit dağılımı çok ince boyutlarda yoğunlaşmayan ve linyit potansiyeli bakımından yurdumuz için önemli sayılan Erzurum-Aşkale linyiti yıkanabilirlik deneylerinde kullanılmak üzere seçilmiştir.

Yıkanabilirlik deneyleri için Erzurum-Aşkale linyiti farklı boyutlara kırılmıştır. Yüzdürme batırma deneyleri sırasıyla birincil, ikincil ve üçüncül kırma ürünlerinin elek fraksiyonlarına uygulanmıştır. Bu deneylerde 0,5 mm'nin altı, toplam nümunenin çok küçük bir parçasını kapsamaması ve tane boyutunun çinko klorürlü ortama uygun olmaması nedeniyle kullanılmamış ve işleme sokulmamıştır. Araştırmanın son deneyinde, bütün nümune 0,5 mm'nin altına öğütülmüş ve toz nümunenin yıkanabilirlik özellikleri, bromofom, CCl_4 ve ksilol karışımından oluşturulan ağır sıvılarda, yüzdürme-batırma deneyleri ile saptanmıştır.

Yüzdürme-batırma deneyi sonuçları kül, toplam kükürt ve piritik kükürt atılmasına yönelik ayrı ayrı değerlendirilmiş ve verilen çizelgeler üzerinde gösterilmiştir. Yıkanabilirlik eğrilerinin çiziminde kullanılan bu çizelgeler yüzdürme-batırma

deneyi sonuçlarının ardından verilmiştir. Bütün deney sonuçları, hava-kuru esasına göre hesaplanmıştır.

Erzurum-Aşkale linyit nümunesi üzerinde yürütülen yüzdürme-batırma deneyleri sonuçları, birincil kırma için Çizelge-22 den 34'e kadar, ikincil kırma için Çizelge-34'ten 43'e kadar, üçüncül kırma içinse Çizelge 43'ten 48'e kadar verilmiştir. 0,5 mm'nin altına kırılmış Erzurum-Aşkale nümunesinin yüzdürme-batırma deneyi sonuçları Çizelge-48'le 52 arasında gösterilmiştir.

ÇİZELGE-22 : Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 18) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları

Yoğunluk Fraksiyonları	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Kükürt	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Pirit S. Dağılımı
1,40 de yüzen	25,64	12,27	0,0790	1,7930	0,6750	2,5470	10,10
1,45 de yüzen	7,49	19,84	0,1682	2,4931	0,6817	3,3430	4,10
1,50 de yüzen	9,59	26,07	0,2251	5,1840	0,6129	6,0220	10,92
1,55 de yüzen	10,34	31,49	0,1950	3,7160	0,6051	4,5161	8,44
1,60 de yüzen	7,64	34,45	0,1230	2,9381	0,5370	3,5981	4,93
1,60 de batan	39,30	44,09	0,1301	7,1276	0,7093	7,9670	61,51
Toplam	100,00	30,35	0,1351	4,5535	0,6652	5,3538	100,00

ÇİZELGE-23 : Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 18) mm boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan			Ordinat Ekseni
	% Ağırlık	% Kül	Top.S.Çar.	% Ağırlık	% Kül	Top.S.Çar.	% Ağırlık	% Kül	Top.S.Çar.	
-1,40	25,64	12,27	314,60	25,64	12,27	314,60	100,00	30,35	3034,76	12,82
1,40/1,45	7,49	19,84	148,60	33,13	13,98	463,20	74,36	36,58	2720,16	29,38
1,45/1,50	9,59	26,07	250,01	42,72	16,69	713,21	66,87	38,46	2571,56	37,92
1,50/1,55	10,34	31,49	325,61	53,06	19,58	1038,82	57,28	40,53	2321,55	47,89
1,55/1,60	7,64	34,45	263,20	60,70	21,45	1302,02	46,94	42,52	1995,94	56,88
+1,60	39,30	44,09	1732,74	100,00	30,35	3034,76	39,30	44,09	1732,74	80,35

ÇİZELGE-24: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 18) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Top.S.	Top.S.Çarp.	% Ağır.	Top.S.Çarp.	% Top.S.	% Ağır.	Top.S.Çarp.	% Top.S.
-1,40	25,64	2,5470	65,3050	25,64	65,3050	2,5470	100,00	535,3838	5,3538
1,40/1,45	7,49	3,3430	25,0390	33,13	90,3440	2,7269	74,36	470,0788	6,3217
1,45/1,50	9,59	6,0220	57,7509	42,72	148,0949	3,4666	66,87	445,0398	6,6553
1,50/1,55	10,34	4,5161	46,6964	53,06	194,7913	3,6711	57,28	387,2889	6,7613
1,55/1,60	7,64	3,5981	27,4894	60,70	222,2807	3,6619	46,94	340,5925	7,2559
+ 1,60	39,30	7,9670	313,1031	100,00	535,3838	5,3538	39,30	313,1031	7,9670

ÇİZELGE-25: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 18) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Pirit S.	Pirit S.Çar.	% Ağır.	Pirit S.Çarp.	% Pirit S.	% Ağır.	% Pirit S.	% Pirit S.
-1,40	25,64	1,7930	45,9725	25,64	45,9725	1,7930	100,00	455,3453	4,5535
1,40/1,45	7,49	2,4931	18,6733	33,13	64,6458	1,9513	74,36	409,3728	5,5053
1,45/1,50	9,59	5,1840	49,7145	42,72	114,3603	2,6770	66,87	390,6995	5,8427
1,50/1,55	10,34	3,7160	38,4234	53,06	152,7837	2,8794	57,28	340,9850	5,9529
1,55/1,60	7,64	2,9381	22,4470	60,70	175,2307	2,8868	46,94	302,5616	6,4457
+1,60	39,30	7,1276	280,1146	100,00	455,3453	4,5535	39,30	280,1146	7,1276

ÇİZELGE-26 : Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-18 + 10)mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları

Ürünleri	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kü- kürt Dağılımı
1,40 da yüzen	60,50	10,41	0,0983	1,4429	0,5717	2,1129	28,34
1,45 de yüzen	6,96	22,10	0,1143	2,0405	0,4484	2,6032	4,61
1,50 de yüzen	6,97	26,12	0,1484	2,8031	0,5706	3,5221	6,34
1,55 de yüzen	3,39	30,10	0,1351	2,3920	0,5988	3,1259	2,63
1,60 da yüzen	3,66	34,73	0,2744	3,7621	0,4337	4,4702	4,47
1,60 batan	18,52	48,44	0,1719	8,9183	0,1784	9,2686	53,61
Toplam	100,00	20,92	0,1242	3,0808	0,4861	3,6911	100,00

ÇİZELGE-27: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma (-18 + 10) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar		Toplam Yüzen		Toplam Batan		Ordinat Ekseni
	% Ağır.	% Kül	% Ağır.	% Kül	% Ağır.	% Kül	
-1,40	60,50	10,41	629,81	10,41	100,00	2091,95	30,25
1,40/1,45	6,96	22,10	153,82	11,62	39,50	1462,14	63,98
1,45/1,50	6,97	26,12	182,06	12,97	32,54	1308,32	70,94
1,50/1,55	3,39	30,10	102,04	13,72	25,57	1126,26	76,12
1,55/1,60	3,66	34,73	127,11	14,66	22,18	1024,22	79,65
+ 1,60	18,52	48,44	897,11	20,92	18,52	897,11	90,74

ÇİZELGE-28: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Top.S.	Top.S.çarp.	% Ağır.	Top.S.çarp.	% Top.S.	% Ağır.	Top.S.çarp.	% Top.S.
-1,40	60,50	2,1129	127,8304	60,50	127,8304	2,1129	100,00	369,1099	3,6911
1,40/1,45	6,96	2,6032	18,1183	67,46	145,9487	2,1635	39,50	241,2795	6,1083
1,45/1,50	6,97	3,5221	24,5490	74,43	170,4977	2,2907	32,54	223,1612	6,8581
1,50/1,55	3,39	3,1259	10,5968	77,82	181,0945	2,3271	25,57	198,6122	7,7674
1,55/1,60	3,66	4,4702	16,3609	81,48	197,4554	2,4234	22,18	188,0154	8,4768
+1,60	18,52	9,2686	171,6545	100,00	369,1099	3,6911	18,52	171,6545	9,2686

ÇİZELGE-29: Erzurum-Aşkale, birincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Pirit S.	Pirit S.Çar.	% Ağır.	Pirit S.çarp.	% Pirit S.	% Ağır.	Pirit S.Çar.	% Pirit S.
-1,40	60,50	1,4429	87,2955	60,50	87,2955	1,4429	100,00	308,0801	3,0808
1,40/1,45	6,96	2,0405	14,2019	67,46	101,4974	1,5046	39,50	220,7846	5,5895
1,45/1,50	6,97	2,8031	19,5376	74,43	121,0350	1,6262	32,54	206,5827	6,3486
1,50/1,55	3,39	2,3920	8,1089	77,82	129,1439	1,6595	25,57	187,0541	7,3150
1,55/1,60	3,66	3,7621	13,7693	81,48	142,9132	1,7540	22,18	178,9362	8,0675
+1,60	18,52	8,9183	165,1669	100,00	308,0801	3,0808	18,52	165,1669	8,9183

ÇİZELGE-30: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kü-kürt Dağılımı
1,40 da yüzen	65,60	7,51	0,0618	1,0270	0,7829	1,8717	37,88
1,45 de yüzen	12,21	13,88	0,1579	1,5425	0,9527	2,6531	10,59
1,50 de yüzen	4,64	22,48	0,1524	1,7934	0,8770	2,8228	4,68
1,55 de yüzen	2,19	27,75	0,1546	2,1479	0,9070	3,2095	2,65
1,60 da yüzen	2,17	33,95	0,1548	2,2503	0,7373	3,1424	2,75
1,60 da batan	13,19	52,59	0,1617	5,5892	0,6959	6,4468	41,45
Toplam	100,00	15,94	0,0950	1,7784	0,7982	2,6716	100,00

ÇİZELGE-31: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar		Toplam Yüzen		Toplam Batan		Ordinat Ekseni
	% Ağır.	% Kül	% Ağır.	% Kül	% Ağır.	% Kül	
-1,40	65,60	7,51	65,60	7,51	100,00	15,94	32,80
1,40/1,45	12,21	13,88	492,66	8,51	34,40	32,03	71,70
1,45/1,50	4,64	22,48	77,81	9,30	22,19	42,02	80,13
1,50/1,55	2,19	27,75	82,45	9,77	17,55	47,18	83,54
1,55/1,60	2,17	33,95	84,64	10,38	15,36	49,96	85,72
+ 1,60	13,19	52,59	86,81	15,94	13,19	52,59	93,40

ÇİZELGE-32: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Top.S.	Top.S.çarp.	% Ağır.	Top.S.Çarp.	% Top.S.	% Ağır.	Top.S.Çarp.	% Top.S.
-1,40	65,60	1,8717	122,7835	65,60	122,7835	1,8717	100,00	267,1567	2,6716
1,40/1,45	12,21	2,6531	32,3944	77,81	155,1779	1,9943	34,40	144,3732	4,1969
1,45/1,50	4,64	2,8228	13,0978	82,45	168,2757	2,0409	22,19	111,9788	5,0464
1,50/1,55	2,19	3,2095	7,0288	84,64	175,3045	2,0712	17,55	98,8810	5,6342
1,55/1,60	2,17	3,1424	6,8190	86,81	182,1235	2,0979	15,36	91,8522	5,9800
+1,60	13,19	6,4468	85,0332	100,00	267,1567	2,6716	13,19	85,0332	6,4468

ÇİZELGE-33: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Pirit S	Pirit S.Çarp.	% Ağır.	Pirit S.çarp.	% Pirit S	% Ağır.	% Pirit S.	% Pirit S
-1,40	65,60	1,0270	67,3712	65,60	67,3712	1,0270	100,00	177,8351	1,7784
1,40/1,45	12,21	1,5425	18,8339	77,81	86,2051	1,1079	34,40	110,4639	3,2112
1,45/1,50	4,64	1,7934	8,3214	82,45	94,5265	1,1465	22,19	91,6300	4,1293
1,50/1,55	2,19	2,1479	4,7039	84,64	99,2304	1,1724	17,55	83,3086	4,7469
1,55/1,60	2,17	2,2503	4,8832	86,81	104,1136	1,1993	15,36	78,6047	5,1175
+1,60	13,19	5,5892	73,7215	100,00	177,8351	1,7784	13,19	73,7215	5,5892

ÇİZELGE-34 : Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, elek analizi sonuçları

Elek açıklığı, mm	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat kükürtü	% Piritik kükürt	% Organik kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kü- kürt Dağılımı
-18 + 10	49,85	30,04	0,1718	5,3972	0,6100	6,1790	69,15
-10 + 0,5	46,28	20,17	0,1284	2,3771	0,6869	3,1924	28,27
0,5	3,87	26,60	0,3877	2,5950	0,2359	3,2186	2,58
Toplam	100,00	25,34	0,1601	3,8910	0,6311	4,6822	100,00

ÇİZELGE-35: Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat kükürtü	% Piritik kükürt	% Organik kükürt	% Toplam kükürt	% Piritik Kü-kürt Dağılımı
1,40 da yüzen	39,73	10,00	0,0728	1,2755	0,8447	2,1930	9,39
1,45 de yüzen	3,85	21,32	0,2295	2,1254	0,5888	2,9437	1,52
1,50 de yüzen	4,17	24,10	0,2442	2,7832	0,4102	3,4376	2,15
1,55 de yüzen	4,45	28,98	0,2755	2,8690	0,4765	3,6210	2,36
1,60 de yüzen	4,49	32,76	0,2776	3,6141	0,1009	3,9926	3,01
1,60 da batan	43,31	49,61	0,2290	10,1653	0,4823	10,8766	81,57
Toplam	100,00	30,04	0,1718	5,3972	0,6100	6,1790	100,00

ÇİZELGE-36: Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar		Toplam Yüzen		Toplam Batan		Ordinat Ekseni
	% Ağır.	% Kül	% Ağır.	% Kül	% Ağır.	% Kül	
-1,40	39,73	10,00	39,73	10,00	100,00	30,04	19,86
1,40/1,45	3,85	21,32	43,58	11,00	60,27	43,26	41,66
1,45/1,50	4,17	24,10	47,75	12,14	56,42	44,76	45,66
1,50/1,55	4,45	28,98	52,20	13,58	52,25	46,40	49,97
1,55/1,60	4,49	32,76	56,69	15,10	47,80	48,03	54,45
+1,60	43,31	49,61	100,00	30,04	43,31	49,61	78,34

ÇİZELGE-37: Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Top.S.	Top.S.Çarp.	% Ağır.	Top.S.Çarp.	% Top.S.	% Ağır.	Top.S.Çarp.	% Top.S.
-1,40	39,73	2,1930	87,1278	39,73	87,1278	2,1930	100,00	617,9014	6,1790
1,40/1,45	3,85	2,9437	11,3332	43,58	98,4610	2,2593	60,27	530,7736	8,8066
1,45/1,50	4,17	3,4376	14,3348	47,75	112,7958	2,3622	56,42	519,4404	9,2067
1,50/1,55	4,45	3,6210	16,1134	52,20	128,9092	2,4695	52,25	505,1056	9,6671
1,55/1,60	4,49	3,9926	17,9267	56,69	146,8359	2,5902	47,80	488,9922	10,2300
+ 1,60	43,31	10,8766	471,0655	100,00	617,9014	6,1790	43,31	471,0655	10,8766

ÇİZELGE-38: Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-18 + 10) mm tane boyutundaki piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Pirit S.	Pirit S.Çarp.	% Ağır.	Pirit S.Çarp.	% Pirit S.	% Ağır.	Pirit S.	% Pirit S.
-1,40	39,73	1,2755	50,6756	39,73	50,6756	1,2755	100,00	539,7178	5,3972
1,40/1,45	3,85	2,1254	8,1828	43,58	58,8584	1,3506	60,27	489,0422	8,1142
1,45/1,50	4,17	2,7832	11,6059	47,75	70,4643	1,4757	56,42	480,8594	8,5228
1,50/1,55	4,45	2,8690	12,7671	52,20	83,2314	1,5945	52,25	469,2535	8,9809
1,55/1,60	4,49	3,6141	16,2273	56,69	99,4587	1,7544	47,80	456,4864	9,5499
+ 1,60	43,31	10,1653	440,2591	100,00	539,7178	5,3972	43,31	440,2591	10,1653

ÇİZELGE-39: Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Sülfür Kükürtü	% Piritik Kükürtü	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kü-kürt Dağılımı
1,40 da yüzen	69,12	11,43	0,0961	1,0526	0,8768	2,0255	30,61
1,45 de yüzen	3,38	17,59	0,1894	1,7072	0,6439	2,5405	2,43
1,50 de yüzen	3,72	22,91	0,2417	2,4948	0,4502	3,1867	3,90
1,55 de yüzen	2,45	26,00	0,1676	2,0487	0,5158	2,7321	2,11
1,60 da yüzen	2,29	31,04	0,1949	2,3095	0,6514	3,1558	2,23
1,60 da batan	19,04	49,80	0,1997	7,3317	0,0774	7,6088	58,72
Toplam	100,00	20,17	0,1284	2,3771	0,6869	3,1924	100,00

ÇİZELGE-40: Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar		Toplam Yüzen		Toplam Batan		Ordinat Ekseni
	% Ağır.	% Kül	% Ağır.	% Kül	% Ağır.	% Kül	
-1,40	69,12	11,43	69,12	11,43	100,00	20,17	34,56
1,40/1,45	3,38	17,59	72,50	11,72	30,88	39,75	70,81
1,45/1,50	3,72	22,91	76,22	12,26	27,50	42,48	74,36
1,50/1,55	2,45	26,00	78,67	12,69	23,78	45,54	77,44
1,55/1,60	2,29	31,04	80,96	13,21	21,33	47,78	79,81
+ 1,60	19,04	49,80	100,00	20,17	19,04	49,80	90,48

ÇİZELGE-41: Çanakale-Çan linyiti, ikincil kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Top.S.	Top.S.çarp.	% Ağır.	Top.S.çarp.	% Top.S.	% Ağır.	Top.S.çarp.	% Top.S.
-1,40	69,12	2,0255	140,0025	69,12	140,0025	2,0255	100,00	319,2357	3,1923
1,40/1,45	3,38	2,5405	8,5869	72,50	148,5894	2,0495	30,88	179,2332	5,8042
1,45/1,50	3,72	3,1867	11,8544	76,22	160,4438	2,1050	27,50	170,6463	6,2053
1,50/1,55	2,45	2,7321	6,6935	78,67	167,1373	2,1245	23,78	158,7919	6,6775
1,55/1,60	2,29	3,1558	7,2268	80,96	174,3641	2,1537	21,33	152,0984	7,1307
+ 1,60	19,04	7,6088	144,8716	100,00	319,2357	3,1923	19,04	144,8716	7,6088

ÇİZELGE-42: Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Pirit S	Piritik çarp.	% Ağır.	Piritik çarp.	% Pirit S	% Ağır.	Piritik S.çar.	% piri.S
-1,40	69,12	1,0526	72,7557	69,12	72,7557	1,0526	100,00	237,7103	2,3771
1,40/1,45	3,38	1,7072	5,7703	72,50	78,5260	1,0831	30,88	164,9546	5,3418
1,45/1,50	3,72	2,4948	9,2806	76,22	87,8066	1,1520	27,50	159,1843	5,7885
1,50/1,55	2,45	2,0487	5,0193	78,67	92,8259	1,1799	23,78	149,9037	6,3037
1,55/1,60	2,29	2,3095	5,2888	80,96	98,1147	1,2119	21,33	144,8844	6,7925
+1,60	19,04	7,3317	139,5956	100,00	237,7103	2,3771	19,04	139,5956	7,3317

ÇİZELGE-43: Erzurum-Aşkale linyiti, üçüncül kırma, elek analizi sonuçları

Elek açıklığı, mm	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kü- kürt Dağılımı
-10 + 0,5	94,80	25,21	0,1487	3,9623	0,6258	4,7368	96,54
- 0,5	5,20	27,73	0,3675	2,5926	0,7279	3,6880	3,46
Toplam	100,00	25,34	0,1601	3,8911	0,6311	4,6823	100,00

ÇİZELGE-44 : Erzurum-Aşkale linyiti, üçüncü kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Küldürtü	% Piritik Küldürtü	% Organik Küldürtü	% Toplam Küldürtü	% Piritik Küldürtü	% Piritik Küldürtü Dağılımı
1,40 da yüzen	55,20	10,51	0,0904	1,0444	0,8450	1,9798	20,26	
1,45 de yüzen	3,37	19,42	0,1839	1,8009	0,6239	2,6087	4,16	
1,50 de yüzen	3,96	24,65	0,2393	2,1292	0,6070	2,9755	2,96	
1,55 de yüzen	2,81	27,75	0,1696	2,3852	0,5905	3,1453	2,01	
1,60 da yüzen	3,37	32,41	0,1857	2,3262	0,5818	3,0937	2,01	
1,60 da batan	31,29	50,83	0,2303	9,8924	0,2495	10,3722	68,60	
Toplam	100,00	25,21	0,1487	3,9623	0,6257	4,7367	100,00	

ÇİZELGE-45: Erzurum-Aşkale linyiti, üçüncül kırma, (-10 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar		Toplam Yüzen		Toplam Batan		Ordinat Ekseni
	% Ağır.	% Kül	% Ağır.	% Kül.	% Ağır.	% Kül	
-1,40	55,20	10,51	580,15	10,51	100,00	2520,87	27,60
1,40/1,45	3,37	19,42	65,44	11,02	44,80	1940,72	56,88
1,45/1,50	3,96	24,65	97,61	11,88	41,43	1875,28	60,55
1,50/1,55	2,81	27,75	77,98	12,57	37,47	1777,67	63,93
1,55/1,60	3,37	32,41	109,22	13,54	34,66	1699,69	67,02
+ 1,60	31,29	50,83	1590,47	25,21	31,29	1590,47	84,35

ÇİZELGE.46- Erzurum-Aşkale Linyiti, üçüncül kırma (-10+05) mm tane boyutlarındaki yüzdürme batırma deneyi, toplam kükürt dağılımı neticeleri.

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Top.S.	Top.S.Çarp.	% Ağır.	Top.S.Çarp.	% Topl.S.	% Ağır.	Top.S.Çarp.	% Top.S.
-1,40	55,20	1,9798	109,2850	55,20	109,2850	1,9798	100,00	473,6693	27,60
1,40/1,45	3,37	2,6087	8,7913	58,57	118,0763	2,0160	44,80	364,3843	8,1336
1,45/1,50	3,96	2,9755	11,7829	62,53	129,8592	2,0767	41,43	355,5930	8,5830
1,50/1,55	2,81	3,1453	8,8383	65,34	138,6975	2,1227	37,47	343,8101	9,1756
1,55/1,60	3,37	3,0937	10,4257	68,71	149,1232	2,1703	34,66	334,9718	9,6645
+1,60	31,29	10,3722	324,5461	100,00	473,6693	4,7367	31,29	324,5461	10,3722

ÇİZELGE.47- Erzurum-Aşkale Linyiti, üçüncül kırma, (-10+0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme batırma deneyi, piritik kükürt dağılımı neticeleri.

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Pirit.S.	Pirit.S.Çarp.	% Ağır	Pirit.S.Çarp.	% Pirit.S.	% Ağır.	Pirit.S.Çarp.	% Pirit.S.
-1,40	55,20	1,0444	57,6509	55,20	57,6509	1,0444	100,00	396,2264	3,9623
1,40/1,45	3,37	1,8009	6,0690	58,57	63,7199	1,0879	44,80	338,5755	7,5575
1,45/1,50	3,96	2,1292	8,4316	62,53	72,1515	1,1539	41,43	332,5065	8,0257
1,50/1,55	2,81	2,3852	6,7024	65,34	78,8539	1,2068	37,47	324,0749	8,6489
1,55/1,60	3,37	2,3262	7,8393	68,71	86,6932	1,2617	34,66	317,3725	9,1567
+1,60	31,29	9,8924	309,5332	100,00	396,2264	3,9623	31,29	309,5332	9,8924

ÇİZELGE-48: 0,5 mm'nin altına öğütülmüş Erzurum-Aşkale Linyit nümunesinin yüzdürme-
batırma deneyi sonuçları

Yoğunluk Fraksiyonları	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kü- kürt Dağılımı
1,35 de yüzen	41,75	5,48	0,0762	0,8848	0,7380	1,6990	9,49
1,40 da yüzen	8,39	8,61	0,1248	1,3235	0,7870	2,2353	2,85
1,45 de yüzen	6,94	11,23	0,1646	1,6847	0,7363	2,5856	3,01
1,50 de yüzen	5,00	14,18	0,1735	1,8001	0,7458	2,7194	2,31
1,55 de yüzen	2,59	17,30	0,2203	2,1330	0,6857	3,0390	1,42
1,60 da yüzen	1,52	26,35	0,2845	2,8610	0,7289	3,8744	1,12
1,70 de yüzen	3,42	28,71	0,2624	2,8072	0,5211	3,5907	2,47
1,80 de yüzen	1,40	38,72	0,2825	3,2650	0,4495	3,9970	1,18
1,80 de batan	28,99	63,71	0,2577	10,2210	0,3990	10,8777	76,15
TOPLAM	100,00	25,34	0,1600	3,8909	0,6312	4,6821	100,00

ÇİZELGE-49: 0,5 mm'nin altına öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyiti yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk Fraksiyon.	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan			Ordinat Ekseni
	% Ağır.	% Kül	Kül çarp.	% Ağır	Kül çarpımı	% Kül	% Ağır	Kül çarpı.	% Kül	
-1,35	41,75	5,48	228,79	41,75	228,79	5,48	100,00	2534,08	25,34	20,87
1,35/1,40	8,39	8,61	72,24	50,14	301,03	6,00	58,25	2305,29	39,57	45,94
1,40/1,45	6,94	11,23	77,94	57,08	378,97	6,64	49,86	2233,05	44,79	53,61
1,45/1,50	5,00	14,18	70,90	62,08	449,87	7,25	42,92	2155,11	50,21	59,58
1,50/1,55	2,59	17,30	44,81	64,67	494,68	7,65	37,92	2084,21	54,96	63,37
1,55/1,60	1,52	26,35	40,05	66,19	534,73	8,08	35,33	2039,40	57,72	65,43
1,60/1,70	3,42	28,71	98,19	69,61	632,92	9,09	33,81	1999,35	59,13	67,90
1,70/1,80	1,40	38,72	54,21	71,01	687,13	9,68	30,39	1901,16	62,56	70,31
+ 1,80	28,99	63,71	1846,95	100,00	2534,08	25,34	28,99	1846,95	63,71	85,50

ÇİZELGE-50: 0,5 mm'nin altına öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyiti yüzdürme-batırma deneyi, toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk Fraksiyonları	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Top.S.	Top.S.çarpı.	% Ağır.	Topl.S.çarp.	% Top.S.	% Ağır	Top.S.çarp.	% Topl.S.
-1,35	41,75	1,6990	70,9332	41,75	70,9332	1,6990	100,00	468,2089	4,6821
1,35/1,40	8,39	2,2353	18,7542	50,14	89,6874	1,7887	58,25	397,2757	6,8202
1,40/1,45	6,94	2,5856	17,9440	57,08	107,6314	1,8856	49,86	378,5215	7,5917
1,45/1,50	5,00	2,7194	13,5970	62,08	121,2284	1,9528	42,92	360,5775	8,4011
1,50/1,55	2,59	3,0390	7,8710	64,67	129,0994	1,9963	37,92	346,9805	9,1503
1,55/1,60	1,52	3,8744	5,8890	66,19	134,9884	2,0394	35,33	339,1095	9,5983
1,60/1,70	3,42	3,5907	12,2802	69,61	147,2686	2,1156	33,81	333,2205	9,8557
1,70/1,80	1,40	3,9970	5,5958	71,01	152,8644	2,1527	30,39	320,9403	10,5607
+ 1,80	28,99	10,8777	315,3445	100,00	468,2089	4,6821	28,99	315,3445	10,8777

ÇİZELGE-51: 0,5 mm'nin altına öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyiti, yüzdürme-batırma deneyi, piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk Fraksiyonları	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Pirit S	Pirit S.çar.	% Ağır.	Pirit S.çar.	% pirit S	% Ağır.	Pirit S.çar.	% Pirit S
-1,35	41,75	0,8848	36,9404	41,75	36,9404	0,8848	100,00	389,0885	3,8909
1,35/1,40	8,39	1,3235	11,1042	50,14	48,0446	0,9582	58,25	352,1481	6,0455
1,40/1,45	6,94	1,6847	11,6918	57,08	59,7364	1,0465	49,86	341,0439	6,8400
1,45/1,50	5,00	1,8001	9,0005	62,08	68,7369	1,1072	42,92	329,3521	7,6736
1,50/1,55	2,59	2,1330	5,5245	64,67	74,2614	1,1483	37,92	320,3516	8,4481
1,55/1,60	1,52	2,8610	4,3487	66,19	78,6101	1,1876	35,33	314,8271	8,9110
1,60/1,70	3,42	2,8072	9,6006	69,61	88,2107	1,2672	33,81	310,4784	9,1830
1,70/1,80	1,40	3,2650	4,5710	71,01	92,7817	1,307	30,39	300,8778	9,9005
+1,80	28,99	10,2210	296,3068	100,00	389,0885	3,8909	28,99	296,3068	10,2210

6.3. Zenginleştirme deneyleri

6.3.1. Gravite ayırım deneyleri

Gravite ayırım deneylerinde piritik kükürtün kömürden ayrılması için, pratikte de uygulaması olan sallantılı masa ve Humphreys spiralinden faydalanılmıştır. Bunun için değişik tane boyutlarında hazırlanmış nünuneler ayrı ayrı masa ve spiralde denenmiş ve elde edilen ürünler kükürt türleri yönünden incelenmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge-52 ile 56 arasında gösterilmiştir. Bunu takip eden gravite deneylerinde ise -10 meşe kırılmış olan nümune 14,28 ve 65 meş'lik eleklerden elenerek yakın tane boyutlarına ayrılmış ve herbir fraksiyon ayrı ayrı masada temizlenmiştir. Çizelge 56'dan 63'e kadar bu deneylerin sonuçları verilmiştir.

ÇİZELGE-52: (-10 meş'e) öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin sallantılı masada yıkanması

Ürünler	% Ağırlık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kükürt Dağılı.
Kömür	79,95	0,1024	1,5361	0,7005	2,3390	31,56
Ara ürün	12,75	0,3954	8,6921	0,4853	9,5728	28,48
Pirit	7,30	0,3811	21,2970	0,1218	21,7999	39,96
Toplam	100,00	0,1601	3,8910	0,6306	4,6819	100,00

ÇİZELGE-53: (-14 meş'e) öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin sallantılı masada yıkanması

Ürünler	% Ağırlık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kükürt Dağılı.
Kömür	83,16	0,1265	1,8894	0,7271	2,7430	40,38
Ara ürün	4,40	0,1886	4,2203	0,2889	4,6978	4,77
Pirit	12,44	0,3834	17,1543	0,1010	17,6387	54,85
Toplam	100,00	0,1612	3,8909	0,6299	4,6820	100,00

ÇİZELGE-54: -28 meş'e öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin sallantılı masada yıkarması

Ürünler	% Ağırlık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kükürt Dağılı
Kömür	84,94	0,1522	2,0026	0,7130	2,8678	43,72
Ara ürün I	3,50	0,1783	3,7884	0,3381	4,3048	3,41
Ara ürün II	3,29	0,1919	5,4305	0,1524	5,7748	4,59
Pirit	8,27	0,2210	22,7183	0,1022	23,0416	48,28
Toplam	100,00	0,1601	3,8911	0,6309	4,6821	100,00

ÇİZELGE-55: (-28 meş'e) öğütülmüş Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin Humphreys Spiralinde yıkarması

Ürünler	% Ağırlık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kükürt Dağılı
Kömür	78,81	0,1371	2,0930	0,7239	2,9540	42,39
Ara Ürün	6,08	0,1600	6,7415	0,3769	7,2784	10,53
Pirit	11,03	0,2288	15,1425	0,1437	15,5150	42,93
-270 meş	4,08	0,4170	3,9578	0,5314	4,9062	4,15
Toplam	100,00	0,1600	3,8911	0,6309	4,6820	100,00

*) Humphreys Spiral deneyi (-28 +270) meş'lik fraksiyona uygulanmış ve -270 meş'lik kısım hesaplara dahil edilmiştir.

ÇİZELGE-56: (-10 meş'e) kırılmış Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin elek analizi

Elek açıklığı (meş)	% Ağırlık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik S Dağılımı
-10 + 14	28,50	0,1398	4,0445	0,5294	4,7137	28,69
-14 + 28	33,50	0,1743	3,8576	0,5004	4,5323	32,43
-28 + 65	23,70	0,1797	3,7070	1,0589	4,9456	25,04
-65	14,30	0,1347	3,9666	0,4309	4,5322	13,84
Toplam	100,00	0,1601	3,8907	0,6311	4,6819	100,00

ÇİZELGE-57: Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin (-10 +14) meş'lik elek fraksiyonunun sallantılı masada yıkaması

Ürünler	% Ağırlık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik S Dağılımı
Kömür	68,25	0,1107	1,2243	0,6677	2,0027	20,67
Ara Ürün	17,02	0,1674	4,4881	0,3192	4,9747	18,89
Pirit	14,73	0,2428	16,5924	0,1314	16,9666	60,44
Toplam	100,00	0,1398	4,0435	0,5294	4,7127	100,00

ÇİZELGE-58: Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin (-14 + 28) meş'lik elek fraksiyonunun sallantılı masada yıkaması

Ürünler	% Ağırlık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik S Dağılımı
Kömür	73,35	0,1303	1,3531	0,6146	2,0980	25,73
Ara Ürün	11,31	0,1992	3,9593	0,3772	4,5357	11,61
Pirit	15,34	0,3665	15,7544	0,0452	16,1661	62,66
Toplam	100,00	0,1743	3,8570	0,5004	4,5317	100,00

ÇİZELGE-59: Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin (-28 + 65) meş'lik elek fraksiyonunun sallantılı masada yıkaması

Ürünler	% Ağırlık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik S Dağılımı
Kömür	76,89	0,1664	1,3344	1,2728	2,7736	27,71
Ara ürün	14,69	0,1942	6,1342	0,4526	6,7810	24,33
Pirit	8,42	0,2745	21,0917	0,1591	21,5253	47,96
Toplam	100,00	0,1796	3,7030	1,0585	4,9411	100,00

ÇİZELGE-60: Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin (-65) meş'lik elek fraksiyonunun sallantılı masada yıkanması

Ürünler	% Ağırlık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik S Dağılımı
Kaba kömür	86,02	0,1097	2,1570	0,4994	2,7661	46,77
Pirit	13,98	0,2890	15,1063	0,0123	15,4076	53,23
Toplam	100,00	0,1347	3,9673	0,4313	4,5333	100,00

ÇİZELGE-61: -10 meş'e öğütölmüş Erzurum-Aşkale nümunesinin sallantılımmasa deneylerinin toplam neticesi

ürünler	% Ağırılık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik S Dağılımı
+ 14 meş						
Kömür	19,45	0,1197	1,2243	0,6677	2,0027	6,12
Ara ürün	4,85	0,1674	4,4881	0,3192	4,9747	5,59
Pirit	4,20	0,2428	16,5924	0,1314	16,9666	17,91
+ 28 "						
Kömür	24,57	0,1303	1,3531	0,6146	2,0980	8,55
Ara ürün	3,79	0,1992	3,9593	0,3772	4,5357	3,86
Pirit	5,14	0,3665	15,7544	0,0452	16,1661	20,81
+ 65 "						
Kömür	18,23	0,1664	1,3344	1,2728	2,7736	6,25
Ara ürün	3,48	0,1942	6,1342	0,4526	6,7810	5,49
Pirit	2,00	0,2745	21,0917	0,1531	21,5253	10,84
Kaba kömür	12,29	0,1097	2,1570	0,4994	2,7661	6,81
-65 "						
Pirit	2,00	0,2890	15,1063	0,0123	15,4076	7,77
TOPLAM	100,00	0,1601	3,8907	0,6311	4,6819	100,00

ÇİZELGE-62: -10 meş'e öğütölmüş Erzurum-Aşkale nümunesinin sallantılı masa deneylerinin toplam ürünleri

Ürünler	% Ağırlık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik S. Dağılımı
Kömür*	74,54	0,1306	1,4475	0,7704	2,3485	27,73
Ara ürün	12,12	0,1850	4,7954	0,3756	5,3560	14,94
Pirit	13,34	0,3021	16,7213	0,0845	17,1079	57,33
Toplam	100,00	0,1601	3,8908	0,6310	4,6819	100,00

*) -65 meş'lik fraksiyondan elde edilen kaba kömürü de içermektedir.

6.3.2. Flotasyon Deneyleri

Erzurum-Aşkale linyit nümunesinden flotasyonla piritik kükürtün atılmasında hem tek basamaklı, hem de 2-basamaklı flotasyon yöntemleri uygulanmıştır. Tek-basamaklı flotasyon deneyleri -35 meş boyutunda, ağırlıkça % 20 katı yoğunluğunda ve pülpün orijinal pH değerinde gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde gazyağı ve izo-oktanol ilavesiyle kömür .. yüzdürülerek inorganik safsızlıklardan ayrılmasına çalışılmıştır. Gazyağı ve izo-oktanol sırasıyla 3 ve 1 dakika süreyle şartlandırılmıştır.

2-basamaklı flotasyon deneylerinde ise önce direkt flotasyon yöntemiyle kömür yüzdürülmüş, sonra da ters flotasyon yöntemiyle kömür çöktürülerek pirit yüzdürülmüştür. Direkt flotasyon yönteminde, tek basamaklı flotasyon şartları uygulanmıştır. Ters flotasyonda ise kömür Aero-Depressant 633 ile çöktürülmüş ve pülpe potasyum amil ksantat (KAX) ve metil iso-butil karbinol (MIBC) ilâvesiyle pirit yüzdürülmüştür. Bu deneylerde çöktürücü ve toplayıcılar için 3'er dakika, köpürtücüler için 1'er dakika şartlandırma süresi verilmiştir.

Flotasyon deneylerinin sonuçları Çizelge-63 ve 64'te gösterilmiştir.

ÇİZELGE-63: Flotasyon Deneş Şartları ve Flotasyon Sonuçları

Reaktif	Flotasyon Deneş No			
	1	2	3	7
PH	7,5	7,5	11,4	1-7,5 2-6,0
Çöktürücü	-	-	NaCN 250 gr/t	1- Yok 2-Aero Dep 633 250 gr/t
Toplayıcı	Gaz yağı 675 gr/t	Gazyağı 430 gr/t	Gazyağı 310 gr/t	1-Gazyağı 310 gr/t 2-KAX, 250 gr/t
Köptürücü	Izo-Oktanöl 190 gr/t	Izo-Oktanöl 60 gr/t	Izo-Oktanöl 250 gr/t	1-Izo-Oktanöl 250 gr/t 2-MIBC 60 gr/t
				Gazyağı 430 gr/t MIBC 60 + 60 + 60

Deneş No	Konsantre % Ağırlık	Sülfat Kükürtü	Piritik Kükürt	Organik Kükürt	Toplam Kükürt	Piritik S Dağılımı
Deneş-1	74,80	0,2528	2,5635	0,5647	3,3810	49,28
Deneş-2	72,40	0,1907	2,0312	0,5846	2,8065	37,79
Deneş-3	75,60	0,1869	2,0431	0,6642	2,8942	39,70
Deneş-7	42,80	0,2619	1,8451	0,5155	2,6225	20,29
Deneş-8	50,62	0,1286	1,8103	0,6510	2,5899	23,55
Orijinal Analiz	100,00	0,1601	3,8910	0,6310	4,6821	100,00

ÇİZELGE-64 : Flotasyon-Deney No:8'in sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürtü	% Piritik-S Dağılımı
Konsantre-1	50,62	0,1286	1,8103	0,6378	2,5767	23,56
Konsantre-2	4,94	0,0976	1,9369	0,6906	2,7251	2,46
Yıkama Artığı-2	5,35	0,1052	2,4874	0,3754	2,9680	3,42
Yıkama Artığı-1	3,29	0,0815	4,6754	0,4508	5,2077	3,95
Yıkama Artığı-3	2,06	0,1578	5,5039	0,6275	6,2892	2,91
Artık	33,74	0,2330	7,3446	0,6703	8,2479	63,70
Toplam	100,00	0,1601	3,8904	0,6310	4,6815	100,00

6.3.3. Manyetik ayırım deneyleri

Pirit ve kömürün farklı manyetik özellik göstermelerinden faydalanılarak yapılan manyetik ayırım deneylerinde Newport Instrument Electromagnet firmasına ait yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı ile İngiltere'nin Salford Üniversitesindeki Yüksek Gradyantlı Manyetik Ayırıcı kullanılmıştır. Deneyler sırasında manyetik alan şiddetinin, nümunenin, tane büyüklüğünün ve yıkama sayısının ayırma ve elde edilen kömür konsantresinin saflığına olan etkisi incelenmiştir. Çizelge 65'te verilen manyetik alan şiddetinin etkisini gösteren deneylerde, 14000 ve 18000 Gauss şiddetinde alanlar yaratılmış ve -300 mikron tane boyutundaki nümunelerde ve ağırlıkça % 5 katı yoğunluğunda çalışılmıştır. Çizelge 66'da gösterilen tane boyutunun etkisi deneylerinde -300, -212 ve -106 mikrona öğütülmüş nümunelerde çalışılmış, % 5 katı yoğunluğu ve 18000 Gauss manyetik alan şiddeti sabit tutulmuştur. Çizelge 67'de ise yıkama sayısının konsantre saflık ve randımanına olan etkisi gösterilmiştir. Bu deneylerde 13000 Gauss manyetik alan şiddetinde ve -300 mikron tane boyutunda çalışılmıştır.

ÇİZELGE-65: Manyetik alan şiddetinin ayırma etkisi

Manyetik Alan Şiddeti, Gauss	Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Piritik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kükürt Dağılımı
14000	Kaba Kömür Konsantresi	80,75	17,07	1,7980	3,0520	38,53
18000	Kaba Kömür Konsantresi	72,18	13,97	1,6436	3,8414	31,48

ÇİZELGE-66: Nünümenin tane boyutunun manyetik ayırma etkisi

Tane boyutu, Mikron	% Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Piritik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kükürt Dağılımı
-300	Kaba Kömür Konsantresi	64,43	12,52	1,4702	2,8150	25,14
-212	Kaba Kömür Konsantresi	67,27	13,35	1,7450	2,8768	31,15
-106	Kaba Kömür Konsantresi	71,59	14,66	1,7314	2,5508	32,90

ÇİZELGE-67: Yıkama Sayısının, Kömür konsantrasyonunun saflığına etkisi

Kömür Konsantrasyonu	% Ağırlık	% Kül	% Piritik	% Toplam	% Piritik Kükürt Dağılımı
Kaba Kömür Konsantrasyonu	82,98	19,25	2,5404	3,5037	55,95
1 kere Yıkamış Kömür Konsantrasyonu	69,30	15,66	1,7987	2,9145	33,08
2 kere Yıkamış Kömür Konsantrasyonu	61,09	13,18	1,3430	2,6606	21,77

BÖLÜM 7

DENEYSEL BULGULARIN TARTIŞILMASI

7.1. Nümunelerin Özellikleri

Yurdumuzun değişik yörelerinden getirilmiş Bolu-Merkeşler, Bolu-Çorak, Ankara-Çayırhan, Erzurum-Aşkale ve Çanakkale-Çan linyit nümunelerinin kimyasal, fiziksel, petrografik ve mineralojik analizleri incelenerek safsızlıklar yönünden özellikleri karşılaştırılmış ve fiziksel yöntemlerin uygulanabileceği nümunelerin seçilmesine çalışılmıştır. Nümunelerin ortak ve farklı özellikleri yanında, seçimde rol oynayan faktörler de izah edilmiştir.

7.1.1. Nümunelerin Kimyasal Özellikleri

Nümunelerin kimyasal analizlerinden görüleceği gibi, linyitlerin orijinal nem yüzdelerinde büyük farklılıklar göze çarpmaktadır. Bu farklılıklar orijinal kömürlerde % 4,75 ile % 32,40 arasında değişirken, hava kuru nümunelerde % 1,80 ile % 9,40 arasında oynamaktadır. Bu durum, kömürlerdeki nemin büyük bir kısmının kaba nemden kaynaklandığını göstermektedir. Kaba nemin oluşumunda, kömür damarının su tablasına göre konumu

büyük önem taşırken, nümunenin alındığı sıradaki mevsim şartları da etkin rol oynamaktadır.

Linyit nümunelerinden Bolu yöresinin kömürleri ile Çanakkale-Çan linyiti, % 12,58 ile % 15,57 arasında değişen düşük kül içermektedir. Erzurum ve Beypazarı linyitlerinin ise kül içerikleri % 25'in üstündedir. Bu yüzden Erzurum ve Beypazarı linyitlerinin yüksek kül içeriklerinden temizlenmeleri gerekmektedir.

Çizelge-8,9,10,11 ve 12'den görüldüğü gibi, linyit nümunelerinin hepsi yüksek kükürt içermektedir. Toplam kükürt içerikleri % 4,56 ile % 6,86 arasında değişen bu linyitlerin kükürt türlerinin toplam kükürte olan oranları, Çizelge-82'de gösterilmiştir.

ÇİZELGE-82: Linyit nümunelerinin kükürt türlerinin toplam kükürtteki dağılımları

Nümuneler	% Toplam Kükürte göre dağılım			Piritik/Organik
	Sülfat	Piritik	Organik	
Bolu-Merkeşler	1,53	47,48	50,99	0,93
Bolu-Çorak	7,87	63,22	28,91	2,19
Ankara-Çayırhan	3,97	40,24	55,79	0,72
Erzurum-Aşkale	2,84	82,49	14,67	5,62
Çanakkale-Çan	5,30	56,64	38,06	1,49

Çizelge-82'de görüldüğü gibi, kükürt türlerinin toplam kükürt içindeki dağılımları havzadan havzaya değişmekte, hatta aynı havzanın (örneğin Bolu kömür havzasının Merkeşler ve Çorak

ocakları) kömürlerinde bile farklılık göstermektedir. Bu durum, organik ve piritik kükürt dağılımları hakkında Bölüm 2.3.5'de verilen literatür bulgularını doğrulamaktadır.

İncelenen kömürler içerisinde Erzurum-Aşkale linyit münnesi, en yüksek piritik kükürt içeren kömür olmuştur. Bu kömürün piritik/organik kükürt oranı 5,62'dir. Fiziksel yöntemlerle kömürden yalnızca piritik kükürtün atılması mümkün olduğuna göre, piritik/organik kükürt oranı yüksek olan örnekler üzerinde çalışılmasının amaca daha uygun olacağı açıktır.

7.1.2. Nümunelerin Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Nümunelerin mineralojik analizleri, linyitlerdeki piritik kükürtün kökeninin piritten ileri geldiğini göstermektedir. Bütün linyitlerde görülen ortak bir özelliğe göre, kömürler hem kiristal piriti, hem de bakteri kökenli piriti içermektedirler. Piritlerin tane boyları ise kömürden kömüre farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Bolu-Merkeşler ve Ankara - Çayırhan linyit nümunelerinde piritlerin egemen tane boyları 65 mikronla 30 mikron arasında değişirken, Erzurum-Aşkale linyitinde mm. ile ifade edilebilecek boyutlarda piritler bulunmaktadır. Şekil-4'te bu durum açıkta görülmektedir.

Nümuneler petrografik yönden benzer özellikler göstermektedir. Bütün nümunelerde-ki bu linyitlerin karakteristik özelliği sayılmaktadır-hümunit çoğunlukta bulunmakta, bunu eksinit ve inertinit takip etmektedir.

7.1.3. Nümunelerin Fiziksel Özellikleri

Linyit nümunelerinin özgül ağırlıkları, kül içeriklerine paralel olarak değişmektedir. En az küllü nümune olan Bolu-Merkeşler en düşük yoğunluğu göstermektedir.

Nümunelerin öğütülebilirlik indeksleri, birbirlerine yakın değerler göstermişlerdir.

7.1.4. Nümunelerin Elek Analizleri

Safsızlıkların çeşitli tane boyutlarındaki dağılımlarının saptanması için, 50 mm'nin altına kırılmış nümunelerde elek analizleri yapılmıştır. Çizelge-17,18,19,20 ve 21'de gösterilen elek analizi sonuçlarından, en fazla ağırlık yüzdesinin iri fraksiyonlarda yoğunlaştığı ve en az ağırlık yüzdesinin de 0,5 mm'nin altında bulunduğu anlaşılmaktadır. Nümunelerin tozlaşmalarının çok az ve ihmal edilebilir boyutlarda olduğunu gösteren bu durum, incelenen linyitlerin ortak bir özelliği olarak göze çarpmaktadır.

Kül yüzdesi, Erzurum-Aşkale nümunesi hariç diğerlerinde ince fraksiyonlara doğru artmaktadır. Kül yüzdesindeki artışın nedeni, külü oluşturan minerallerin kömürden serbestleşmelerinden kaynaklanmaktadır. Kükürt dağılımında da Çanakkale-Çan nümunesinde ince fraksiyonlara doğru bir artış bulunmaktaysa da diğer nümunelerde böyle bir yoğunlaşmaya rastlanmamaktadır.

7.2. Yıkanabilirlik Deneyleri İçin Nümunelerin Seçimi

Fiziksel yöntemlerle kömürdeki kükürt oranının düşürülmesinde, Bölüm 3.3'te açıklandığı gibi, yüksek piritik/organik kükürt oranı ve piritin çok ince dağılmış olmama koşulu aranmaktadır. Bu koşulları sağlayabilecek nümunelerin seçimi için linyitlerin kimyasal ve mineralojik özelliklerinden faydalanılmıştır.

Bölüm 7.1.1.'de kükürt dağılımları incelenen 5 linyit nümunesinden en yüksek piritik/organik kükürt oranına sahip kömürün, Erzurum-Aşkale nümunesi olduğu anlaşılmaktadır. O halde, Erzurum-Aşkale nümunesi, fiziksel yöntemlerin uygulanması için aranan şartın birincisini yerine getirmektedir. Diğer taraftan, Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin mineralojik analizi, piritlerin çoğunluğunun iri ve ince çatlak dolgusu şeklinde olduğunu göstermektedir. Piritlerin ince ve dissemine olmaması, bu nümunenin fiziksel yöntemlerin uygulanması için gerekli ikinci koşulu da sağladığını göstermektedir. Bu yüzden Erzurum-Aşkale linyit nümunesi yüzdürme-batırma deneylerinde kullanılmak üzere seçilmiştir.

7.3. Yıkanabilirlik Deneylerinin Tartışılması

7.3.1. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesinin Yüzdürme-Batırma Deneyleri

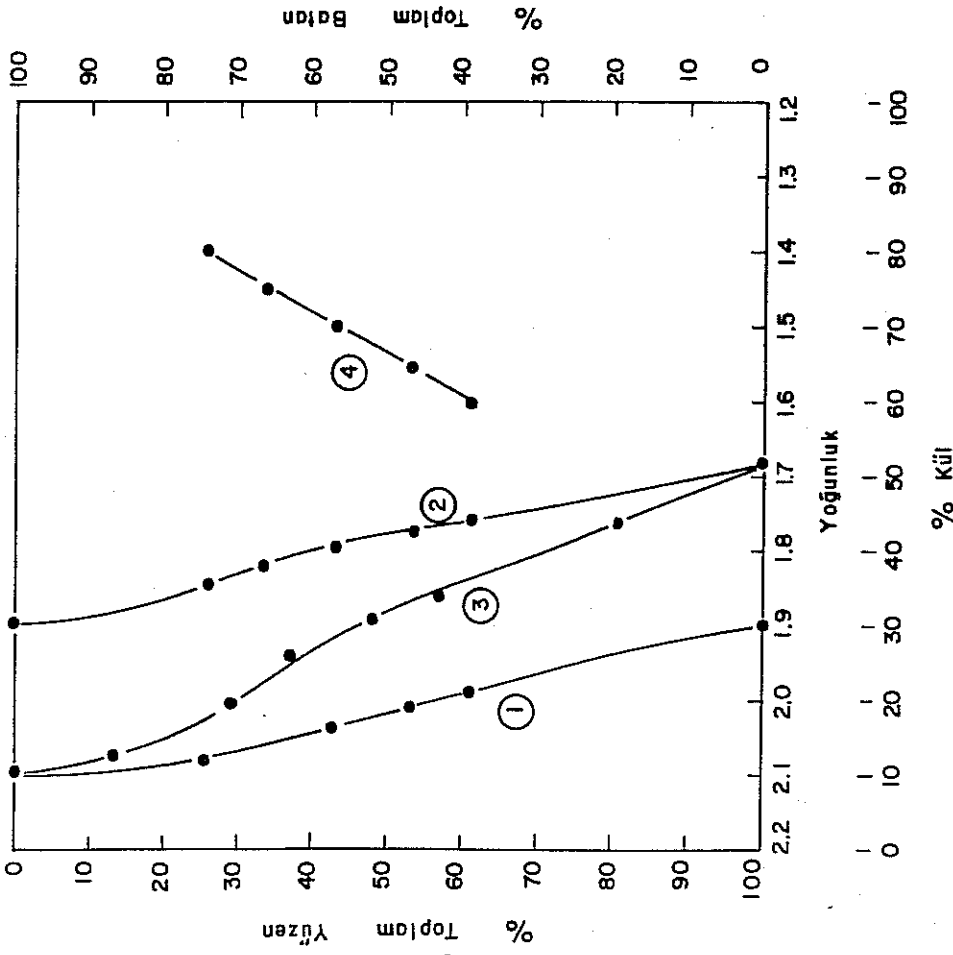
Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin yüzdürme-batırma deneylerinin sonuçları ve yıkanabilirlik eğrilerinin çizilmesinde gerekli olan hesaplamalar Bölüm-6'da verilmiştir. Bu verilerin ve

hesaplamaların yardımıyla Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin "yıkaneabilirlik Eğrileri" çizilmiş ve kömürün safsızlıklarından arındırılma olanakları bu eğriler üzerinde tartışılmıştır.

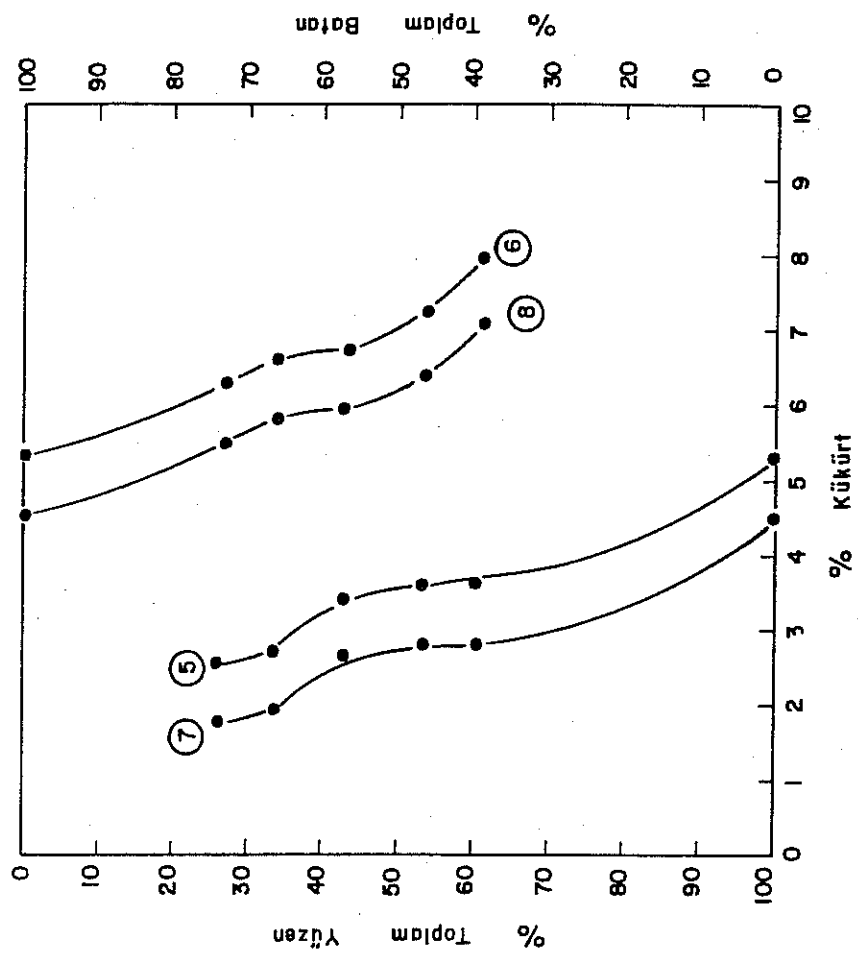
7.3.1.1. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesi, Birincil Kıırma Ürünlerinin Yıkaneabilirlik Eğrileri

Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin birincil kırma ürününe ait (-50 + 18) mm, (-18 + 10) mm ve (-10 + 0,5) mm elek fraksiyonlarının yıkaneabilirlik eğrileri sırasıyla Şekil-8,9 ve 10'da gösterilmiştir.

Şekil-8'in kül ve kükürt eğrilerinin ortak özellikleri, hepsinin çok dik eğimli olmalarıdır. Böyle dik eğimli yıkama eğrisi veren kömürlerde, değişik yoğunluklarda çalışılması ağırlık yüzdesinde büyük değişmelere neden olurken, kömürün içerdiği safsızlıkların giderilmesi açısından bir yarar sağlayamamaktadır^(5,8). Bu da, (-50 + 18) mm tane boyutunun kül ve kükürtün uzaklaştırılmasında uygun bir boyut olmadığını kanıtlamaktadır.

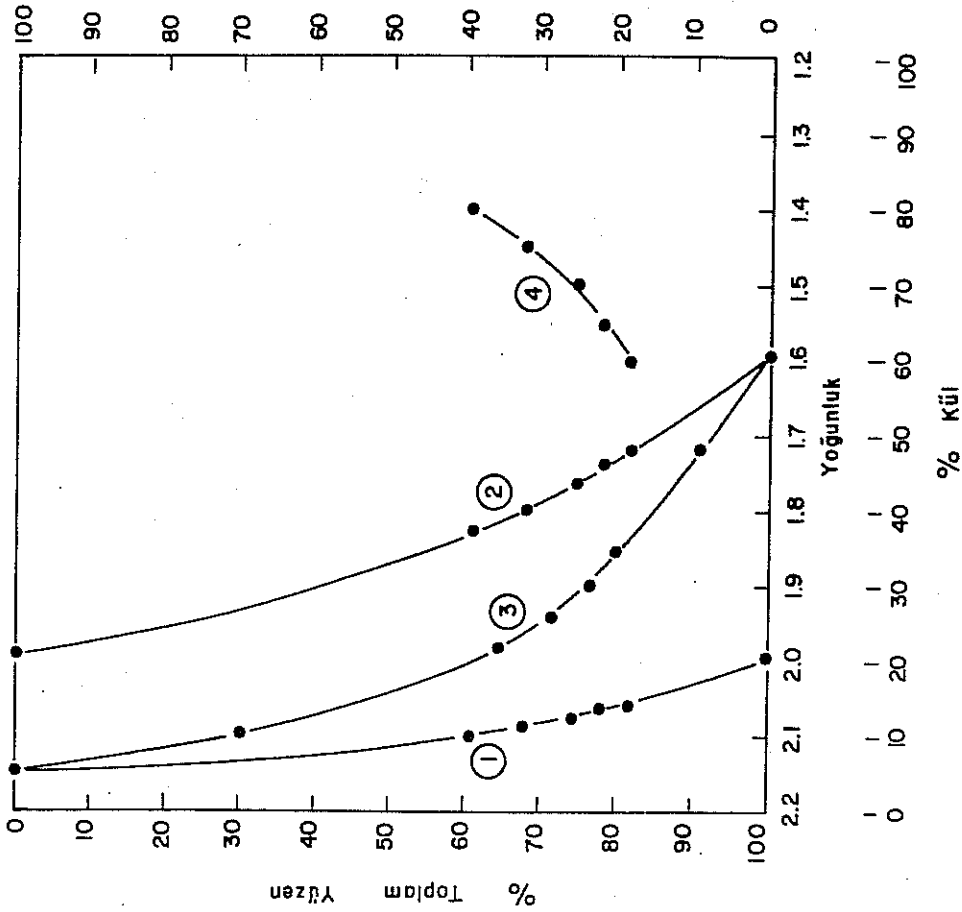


1. Toplam yüzeyde kül
2. Toplam batanda kül
3. Elementer kül
4. Yoğunluk

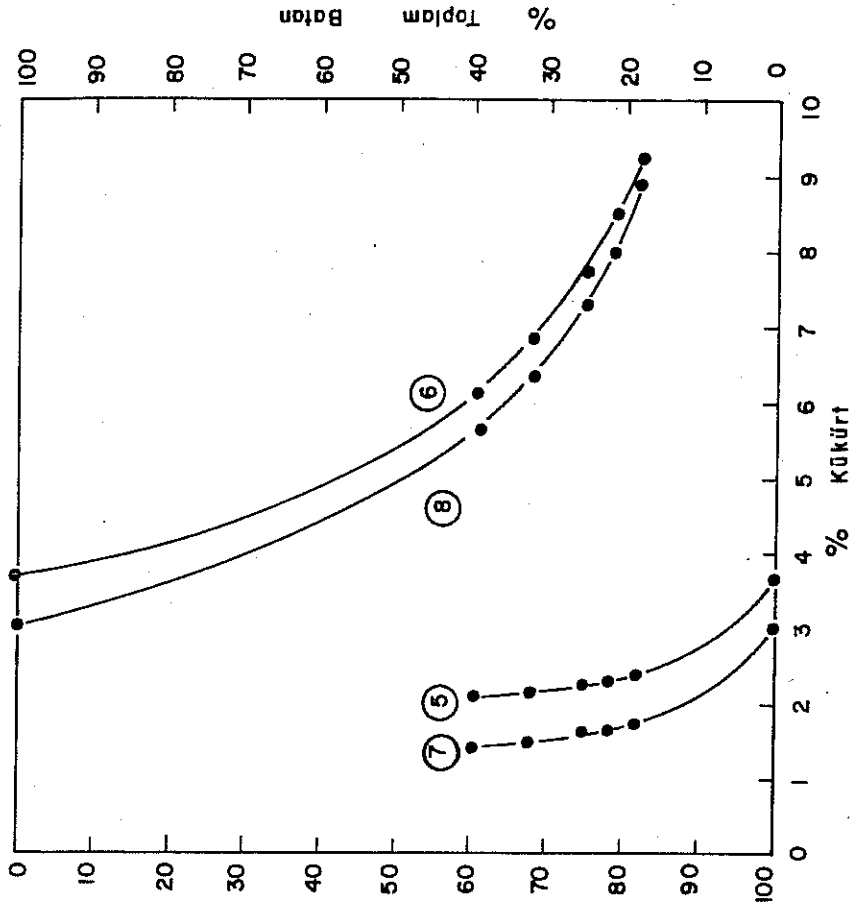


5. Toplam yüzende toplam kükürt
6. Toplam batanda toplam kükürt
7. Toplam yüzende piritik kükürt
8. Toplam batanda piritik kükürt

Şekil - 8 - Erzurum - Aşkale linyit nümunesi , birincil kırma , (-50 + 18) mm. elek fraksiyonunun yikanabilirlik eğrileri

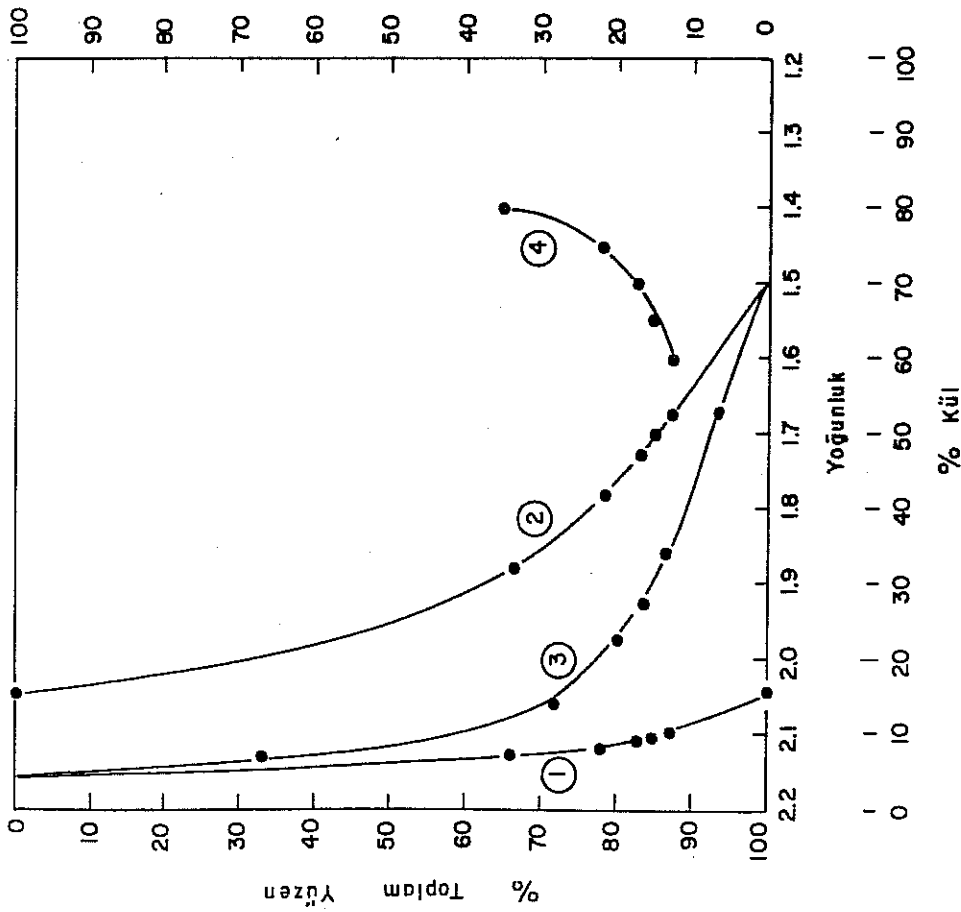


1. Toplam yüzende kül
2. Toplam batanda kül
3. Elementer kül
4. Yoğunluk

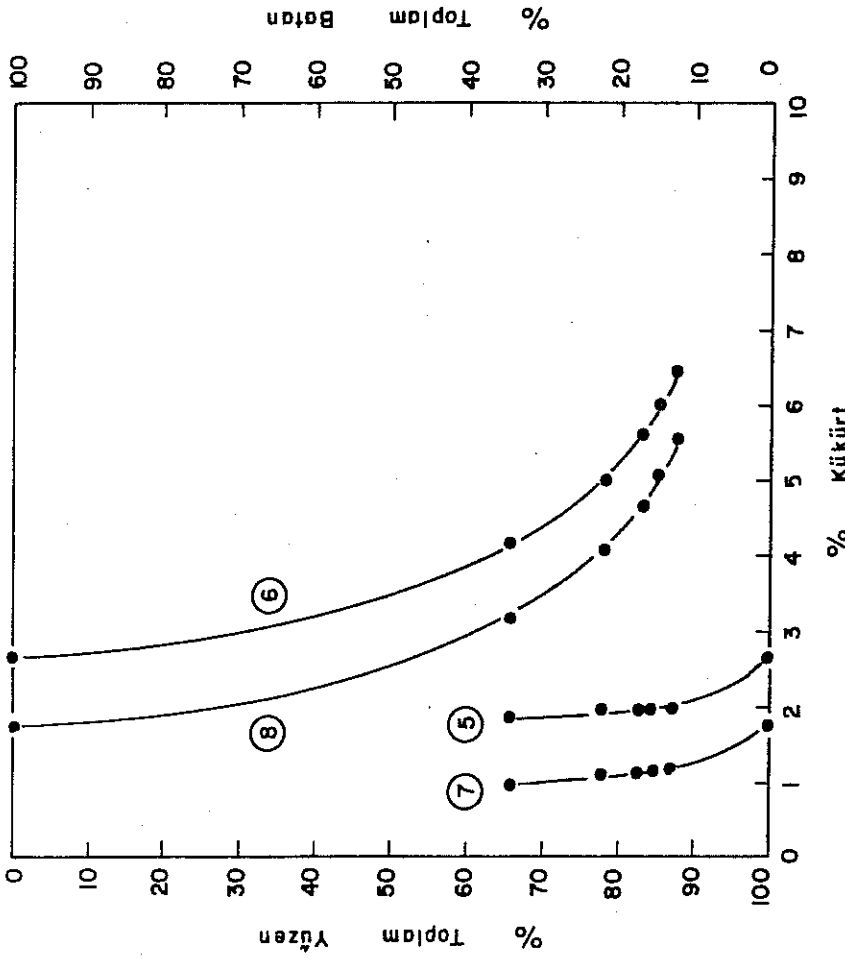


5. Toplam yüzende toplam kükürt
6. Toplam batanda toplam kükürt
7. Toplam yüzende piritik kükürt
8. Toplam batanda piritik kükürt

Şekil - 9 - Erzurum - Aşkale linyit nümunesi , birincil kırma , (- 18 + 10) mm. elek fraksiyonunun yikanabilirlik eğrileri



1. Toplam yüzende kül
2. Toplam batanda kül
3. Elementer kül
4. Yoğunluk



5. Toplam yüzende toplam kükürt
6. Toplam batanda toplam kükürt
7. Toplam yüzende piritik kükürt
8. Toplam batanda piritik kükürt

Sekil - 10 - Erzurum - Aşkale linyit nümunesi , birincil kırma , (-10 + 0.5) mm. elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri

Şekil-9 ve Şekil-10'daki eğrilerin eğimleri, tane boyutunun azalmasına paralel olarak düşmektedir. Buna rağmen henüz safsızlıkların uzaklaştırılmasına olanak sağlayabilecek bir ortam yaratılamamıştır.

Birincil kırma ürünlerinin Çizelge-22, 26 ve 30'da gösterilen deney sonuçları, (-0,5) mm hariç, Çizelge-20'deki elek analizi dağılımlarına göre birleştirilirse, teorik olarak (-50 + 0,5) mm tane boyutundaki nümunenin yüzdürme-batırma deneyi sonucu elde edilmektedir. Çizelge-83, teorik olarak oluşturulan (-50 + 0,5) mm boyutundaki nümunenin yüzdürme-batırma deneyi sonucunu vermektedir. Aynı nümunenin yıkanabilirlik eğrilerinin çizimi için gerekli kül, toplam kükürt ve piritik kükürt dağılımları hesaplamaları Çizelge-84,85 ve 86'da gösterilmiştir. Bu tane boyutunun yıkanabilirlik eğrileri ise Şekil-11'de çizilmiştir.

Şekil-11'de yıkanabilirlik eğrileri verilen (-50 + 0,5)mm Erzurum-Aşkale teorik nümunesi, kendisini oluşturan (-50 + 18)mm (-18 + 10) mm ve (-10 + 0,5)mm tane boyutlarının yıkanabilirlik eğrilerine benzer bir yıkama karakteristiği göstermiştir. $\mp 0,10$ yoğunluk dağılım eğrisinden de görüldüğü gibi, hiçbir yoğunlukta (-50 + 0,5) mm tane boyutundaki kömürden, safsızlıkların uzaklaştırılabilmesi mümkün olamamıştır. 1,60 yoğunlukta bile $\mp 0,10$ yoğunluğundaki kömür miktarının % 25'in üstünde olması, ayırımın "olanaksız" olduğunu göstermektedir.

ÇİZELGE-69: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi sonuçları

ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kü-kürt Dağılımı
1,40 de yüzen	38,04	10,23	0,0765	1,4543	0,6938	2,2246	14,54
1,45 de yüzen	8,40	18,28	0,1598	2,1632	0,7399	3,0629	4,77
1,50 de yüzen	8,25	25,66	0,2090	4,5540	0,6391	5,4021	9,87
1,55 de yüzen	7,83	31,20	0,1896	3,5582	0,6222	4,3700	7,32
1,60 da yüzen	6,04	34,43	0,1364	2,9469	0,5444	3,6277	4,68
1,60 da batan	31,44	45,13	0,1358	7,1204	0,6708	7,9270	58,82
Toplam	100,00	26,25	0,1255	3,8059	0,6713	4,6027	100,00

ÇİZELGE-70: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 0,5) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları

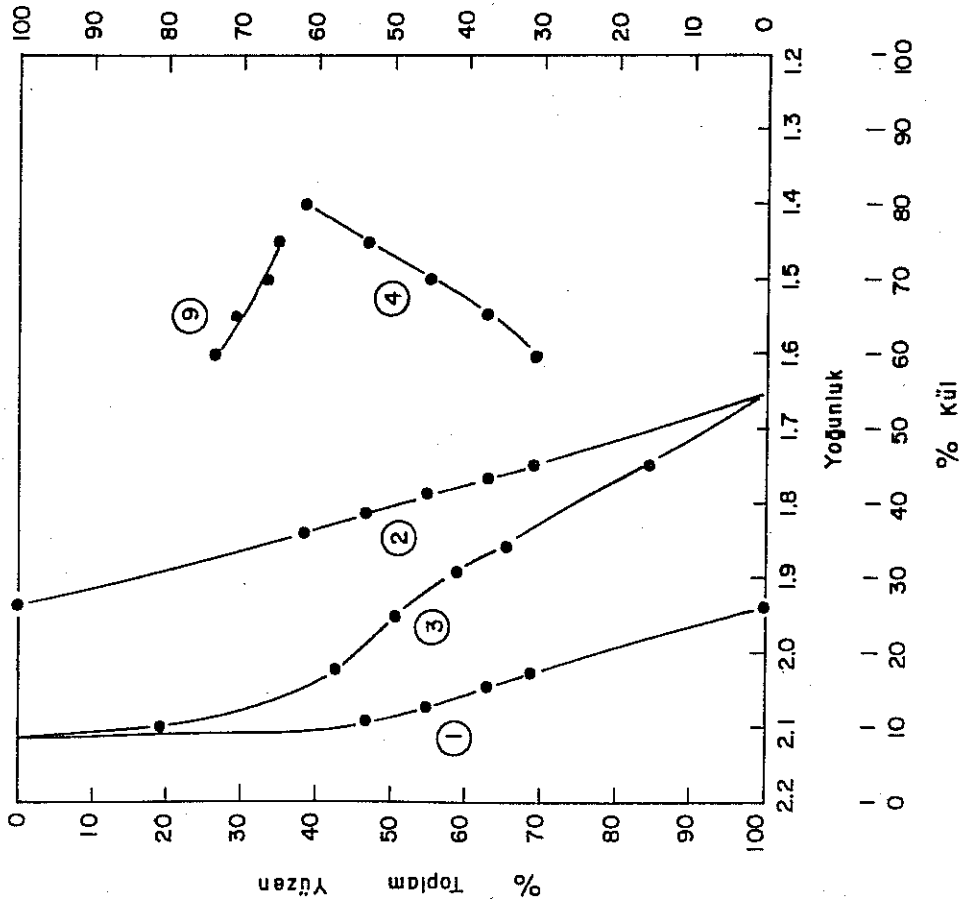
Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan			Ordinat Ekseni
	% Ağırl.	% Kül	Kül Çarp.	% Ağırl.	% Kül	Kül Çarp.	% Ağırl.	% Kül	Kül.Çarp.	
-1,40	38,04	10,23	389,15	38,04	10,23	389,15	100,00	26,26	2625,57	19,02
1,40/1,45	8,40	18,28	153,55	46,44	11,69	542,70	61,96	36,09	2236,42	42,24
1,45/1,50	8,25	25,66	211,69	54,69	13,79	754,39	53,56	38,89	2082,87	50,56
1,50/1,55	7,83	31,20	244,30	62,52	15,97	998,69	45,31	41,30	1871,18	58,60
1,55/1,60	6,04	34,43	207,96	68,56	17,60	1206,65	37,48	43,41	1626,88	65,54
+ 1,60	31,44	45,13	1418,92	100,00	26,26	2625,57	31,44	45,13	1418,92	84,28

ÇİZELGE-71: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma, (-50 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi, toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları

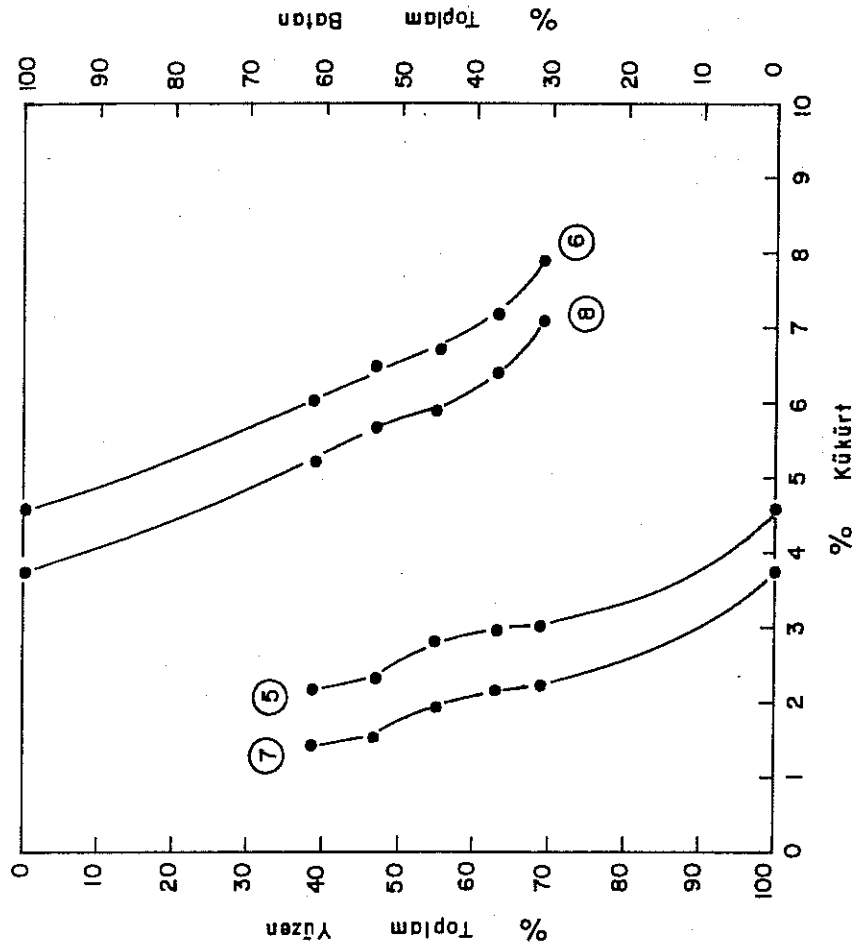
Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Top.S.	Top.S.çarp.	% Ağır.	Top.S.çarp.	% Top.S.	% Ağır.	Top.S. Çarp.	% Top.S.
-1,40	38,04	2,2246	84,6238	38,04	84,6238	2,2246	100,00	460,2727	4,6027
1,40/1,45	8,40	3,0629	25,7284	46,44	110,3522	2,3762	61,96	375,6489	6,0628
1,45/1,50	8,25	5,4021	44,5673	54,69	154,9195	2,8327	53,56	349,9205	6,5332
1,50/1,55	7,83	4,3700	34,2171	62,52	189,1366	3,0252	45,31	305,3532	6,7392
1,55/1,60	6,04	3,6277	21,9113	68,56	211,0479	3,0783	37,48	271,1361	7,2341
+ 1,60	31,44	7,9270	249,2248	100,00	460,2727	4,6027	31,44	249,2248	7,9270

ÇİZELGE-72: Erzurum-Aşkale linyiti, birincil kırma (-50 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi, piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız aParçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Pirit S	Pirit S.çarp.	% Ağır.	Pirit S.çarp.	%Pirit S.	% Ağır.	Piritik S.Çar.	% Pir.S.
-1,40	38,04	1,4543	55,3216	38,04	55,3216	1,4543	100,00	380,5884	3,8059
1,40/1,45	8,40	2,1632	18,1709	46,44	73,4925	1,5825	61,96	325,2668	5,2496
1,45/1,50	8,25	4,5540	37,5705	54,69	111,0630	2,0308	53,56	307,0959	5,7337
1,50/1,55	7,83	3,5582	27,8607	62,52	138,9237	2,2221	45,31	269,5254	5,9485
1,55/1,60	6,04	2,9469	17,7993	68,56	156,7230	2,2859	37,48	241,6647	6,4478
+ 1,60	31,44	7,1204	223,8654	100,00	380,5884	3,8059	31,44	223,8654	7,1204



1. Toplam yüzde küll
2. Toplam batanda küll
3. Elementer küll
4. Yoğunluk



5. Toplam yüzde küll
6. Toplam batanda küll
7. Toplam yüzde piritlik küll
8. Toplam batanda piritlik küll
9. \bar{x} 0,10 Yoğunluk dağılım eğrisi

Şekil - 11 - Erzurum - Aşkale linyit nümunesi , teorik (- 50 +0.5) mm. elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri

Çizelge-83'te gösterilen sonuçlar, (-0,5) mm elek fraksiyonunu da içerecek şekilde yeniden hesaplanmış ve Çizelge 87'de gösterilen toplam (-50 + 0) mm Erzurum-Aşkale linyit nümunesi yüzdürme-batırma deneyi sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge-87'den görüldüğü gibi, nümunedeki piritik kükürtün % 58'i, 1,60 yoğunluğundaki batan fraksiyondan atılabilmektedir.

Sonuç olarak, Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin 50 mm'ye kırılmasıyla, kül ve piritik kükürttten uzaklaştırılamayacağı ve tane serbestleşmesi için daha ince tane boyutlarına kırılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

ÇİZELGE-73 : Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, birincil kırma, (-50 + 0) mm tane boyutundaki toplam yüzdürme-batırma deneyi sonuçları.

Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kükürt Dağılımı
1,40 da yüzen	37,39	10,23	0,0765	1,4543	0,6938	2,2246	14,43
1,45 de yüzen	8,26	18,28	0,1598	2,1632	0,7399	3,0629	4,74
1,50 de yüzen	8,11	25,66	0,2090	4,5540	0,6391	5,4021	9,80
1,55 de yüzen	7,69	31,20	0,1896	3,5582	0,6222	4,3700	7,26
1,60 da yüzen	5,94	34,43	0,1364	2,9469	0,5444	3,6277	4,65
Batan	30,90	45,13	0,1358	7,1204	0,6708	7,9270	58,39
-0,5 mm	1,71	25,44	0,3840	1,6060	0,6130	2,6030	0,73
Toplam	100,00	26,24	0,1300	3,7681	0,6703	4,5684	100,00

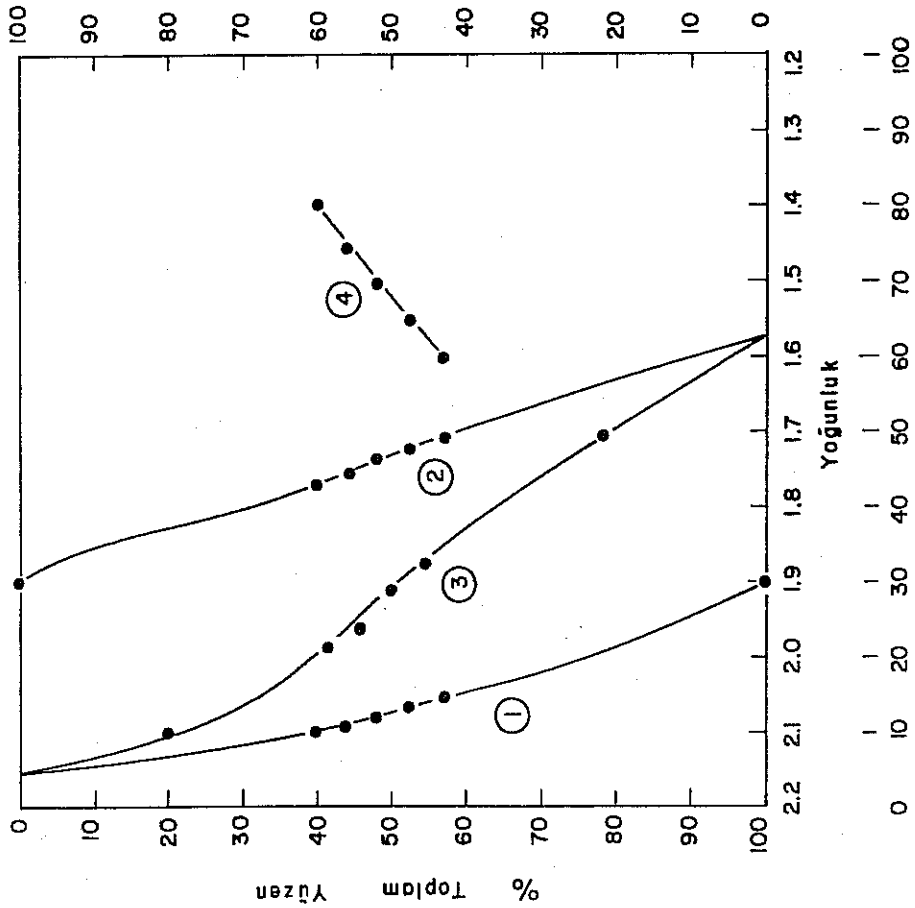
7.3.1.2. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesi, İkincil Kıрма

Ürünlerinin Yıkanabilirlik Eğrileri

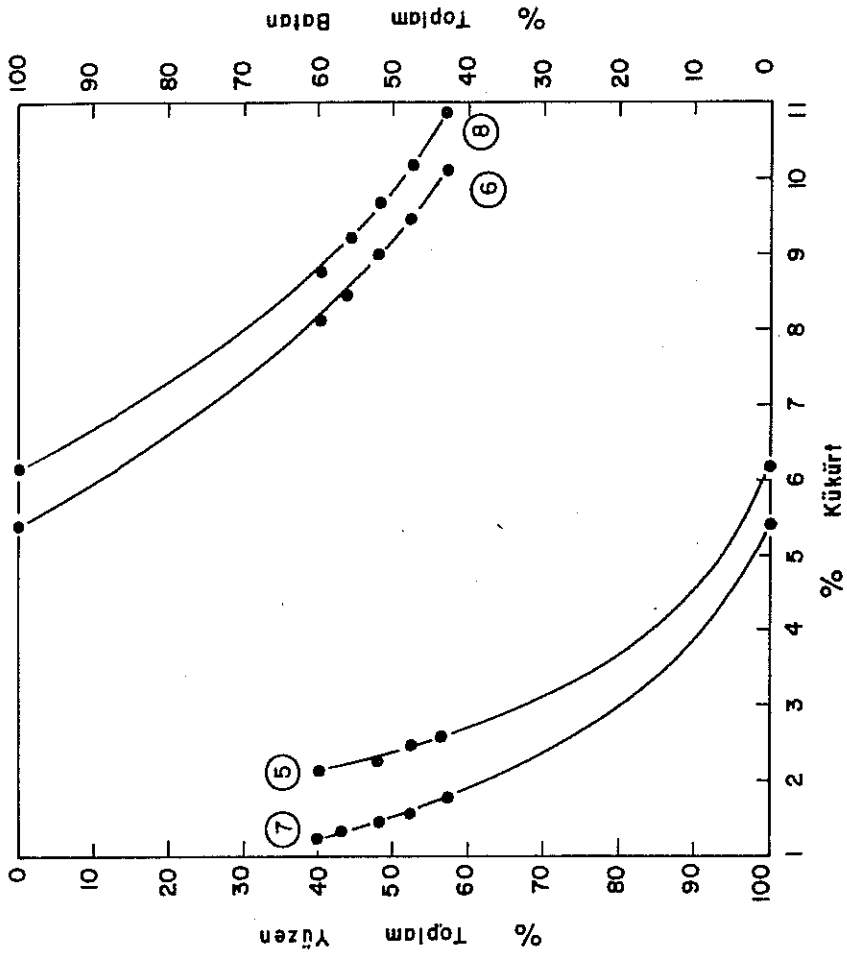
Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin ikincil kırma ürünlerinden (-18 + 10) mm ve (-10 + 0,5) mm elek fraksiyonlarının yıkanabilirlik eğrileri çizilmiş ve sırasıyla Şekil-12 ve 13'de gösterilmiştir.

Şekil-12 ve 13'den görüldüğü gibi, ikincil kırma işlemi, Erzurum-Aşkale nümunesinden kül ve kükürtün daha fazla serbestleşmesine olanak sağlamış, bu da safsızlıkların uzaklaştırılma şansını arttırmıştır. İkincil kırma ürünlerinin yıkanabilirlik eğrileri, birincil kırma ürünlerinin yıkanabilirlik eğrileriyle karşılaştırıldığında bu durum daha açık bir şekilde görülmektedir. Yüzen kömürlerin kül ve kükürt oranları biraz daha düşmüş, eğrilerin şekilleri daha yataylaşmıştır. Buna rağmen, 1,40 da yüzen kömürde bile piritik kükürt yüzdesi hala % 1'in üstündedir.

İkincil kırma ürünlerinin Çizelge-35 ve 39'da gösterilen deney sonuçları, Çizelge-34'teki elek analizi ağırlık yüzdelerine göre -(-0,5 mm hariç)- yeniden düzenlenirse, (-18 + 0,5) mm tane boyutundaki nümunenin teorik yüzdürme-batırma deneyi sonucu elde edilmektedir. Çizelge-88'de rakamları verilen (-18 + 0,5) mm boyutundaki nümunenin kül, toplam kükürt ve piritik kükürt uzaklaştırma hesapları Çizelge-89, 90 ve 91'de gösterilmiştir. İkincil kırma (-18 + 0,5) mm tane boyutundaki nümunenin teorik yıkanma eğrileri de Şekil-14'te verilmiştir.

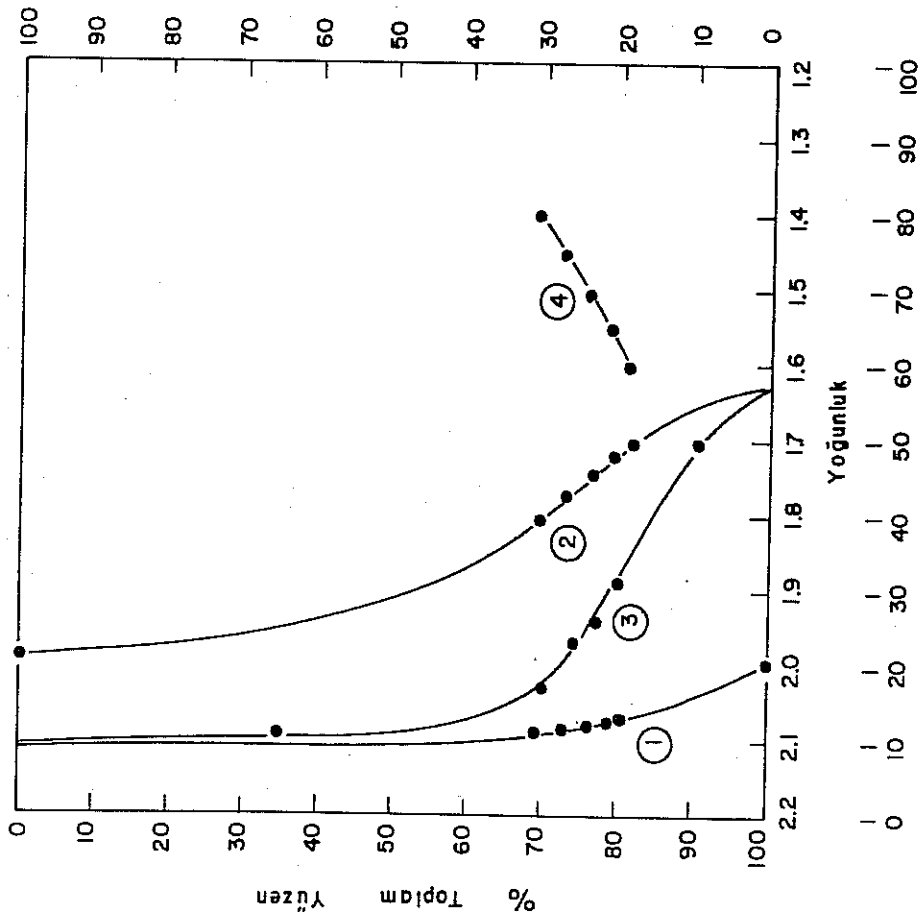


1. Toplam yüzen küi
2. Toplam batanda küi
3. Elementer küi
4. Yoğunluk

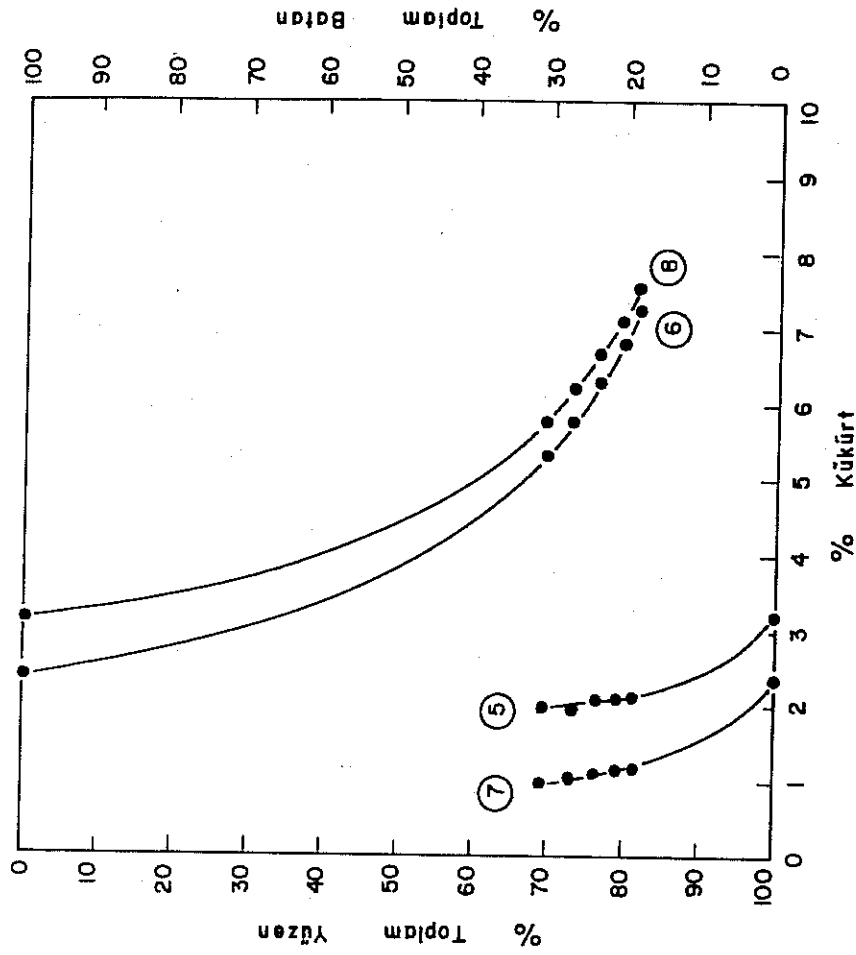


5. Toplam yüzen toplam kükürt
6. Toplam batanda toplam kükürt
7. Toplam yüzen piritlik kükürt
8. Toplam batanda piritlik kükürt

Şekil -12- Erzurum - Aşkale linyit nümunesi ; ikincil kırma , (- 18 + 10) mm. elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri



1. Toplam yüzen küi
2. Toplam batanda küi
3. Elementer küi
4. Yoğunluk



5. Toplam yüzen küi
6. Toplam batanda küi
7. Elementer küi
8. Yoğunluk

Şekil - 13- Erzurum - Aşkale linyit nümunesi , ikinci kırma , (- 10 + 0.5) mm. elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri

ÇİZELGE-74: Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma (-18 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi sonuçları

Ürünler	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kül- kürt Dağılımı
1,40 da yüzen	53,87	10,88	0,0872	1,1378	0,8645	2,0895	15,54
1,45 de yüzen	3,63	19,64	0,2115	1,9376	0,6135	2,7626	1,78
1,50 de yüzen	3,95	23,56	0,2431	2,6525	0,4283	3,3239	2,66
1,55 de yüzen	3,49	27,97	0,2390	2,5917	0,4897	3,3204	2,29
1,60 da yüzen	3,43	32,21	0,2511	3,1957	0,2774	3,7242	2,78
1,60 da batan	31,63	49,66	0,2205	9,3438	0,3649	9,9292	74,95
Toplam	100,00	25,29	0,1510	3,9435	0,6469	4,7414	100,00

ÇİZELGE-75: Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-18 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi, kül uzaklaştırma sonuçları

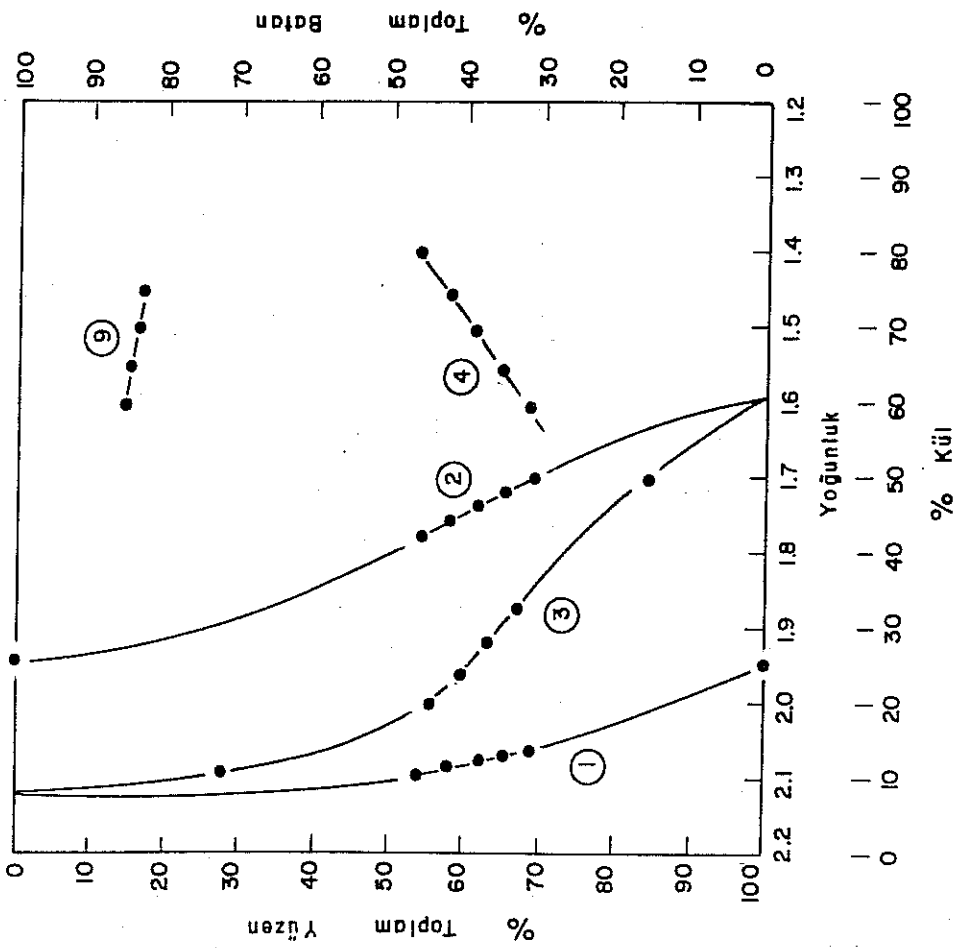
Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan			Ordinat Ekseni
	% Ağır.	% Kül	Kül Çarp.	% Ağır.	Kül Çarp.	% Kül.	% Ağır.	Kül Çarp.	% Kül.	
-1,40	53,87	10,88	586,11	53,87	586,11	10,88	100,00	2529,30	25,29	26,93
1,40/1,45	3,63	19,64	71,29	57,50	657,40	11,43	46,13	1943,19	42,12	55,68
1,45/1,50	3,95	23,56	93,06	61,45	750,46	12,21	42,50	1871,90	44,04	59,47
1,50/1,55	3,49	27,97	97,61	64,94	848,07	13,06	38,55	1778,84	46,14	63,19
1,55/1,60	3,43	32,21	110,48	68,37	958,55	14,02	35,06	1681,23	47,95	66,65
+ 1,60	31,63	49,66	1570,75	100,00	2529,30	25,29	31,63	1570,75	49,66	84,18

ÇİZELGE-76: Erzurum-Aşkale linyiti ikincil kırma, (-18 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi, toplam kükürt uzaklaştırma sonuçları

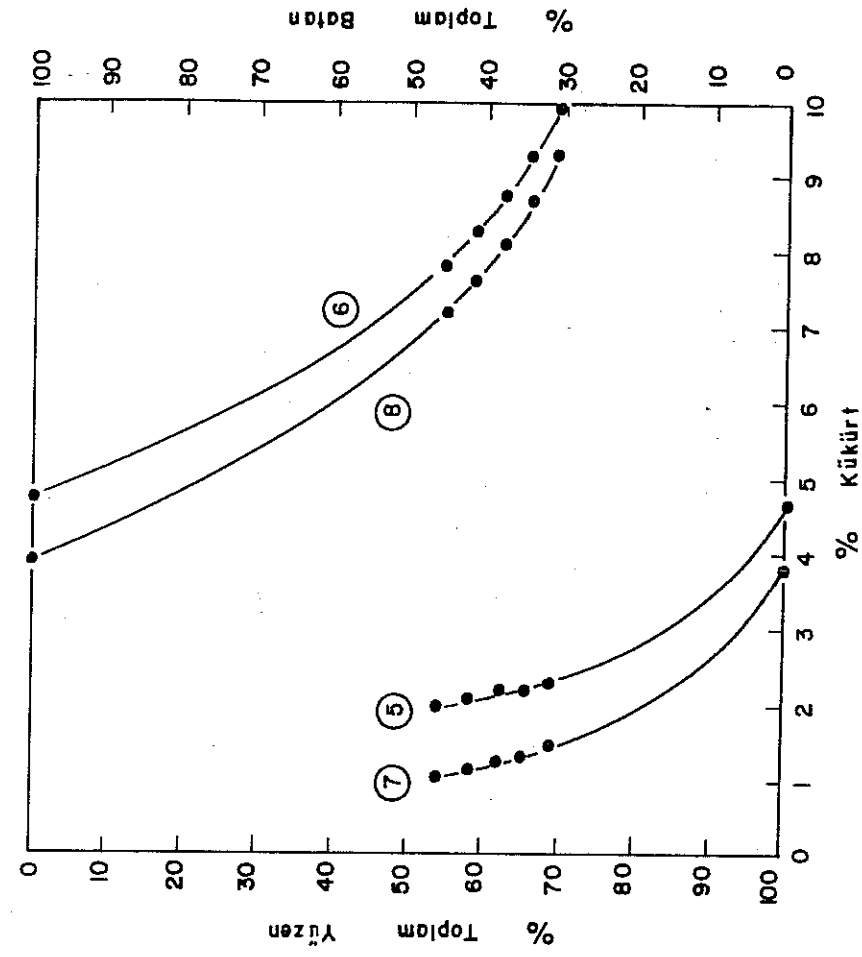
Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Top.S.	Top.S.Çarp.	% Ağır.	Top.S.Çarp.	% Top.S.	% Ağır.	Top.S.Çarp.	% Top.S.
-1,40	53,87	2,0895	112,5614	53,87	112,5614	2,0895	100,00	474,1418	4,7418
1,40/1,45	3,63	2,7626	10,0282	57,50	122,5896	2,1320	46,13	361,5804	7,8383
1,45/1,50	3,95	3,3239	13,1294	61,45	135,7190	2,2086	42,50	351,5522	8,2718
1,50/1,55	3,49	3,3204	11,5882	64,94	147,3072	2,2684	38,55	338,4228	8,7788
1,55/1,60	3,43	3,7242	12,7740	68,37	160,0812	2,3414	35,06	326,8346	9,3221
+ 1,60	31,63	9,9292	314,0606	100,00	474,1418	4,7414	31,63	314,0606	9,9292

ÇİZELGE-77: Erzurum-Aşkale linyiti, ikincil kırma, (-18 + 0,5) mm tane boyutundaki teorik yüzdürme-batırma deneyi, piritik kükürt uzaklaştırma sonuçları

Yoğunluk	Bağımsız Parçalar			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	% Ağır.	% Pirit S.	Pirit S.Çarp.	% Ağır.	Pirit S.Çarp.	% Pirit S.	% Ağır.	Pirit S.	% Pirit S.
-1,40	53,87	1,1378	61,2933	53,87	61,2933	1,1378	100,00	394,3548	3,9435
1,40/1,45	3,63	1,9376	7,0335	57,50	68,3268	1,1883	46,13	333,0615	7,2201
1,45/1,50	3,95	2,6525	10,4774	61,45	78,8042	1,2824	42,50	326,0280	7,6712
1,50/1,55	3,49	2,5917	9,0450	64,94	87,8492	1,3528	38,55	315,5506	8,1855
1,55/1,60	3,43	3,1957	10,9612	68,37	98,8104	1,4452	35,06	306,5056	8,7423
+ 1,60	31,63	9,3438	295,5444	100,00	394,3548	3,9435	31,63	295,5444	9,3438



1. Toplam yüzende küi
2. Toplam batanda küi
3. Elementer küi
4. Yoğunluk



5. Toplam yüzende küi
6. Toplam batanda küi
7. Toplam yüzende piritlik küi
8. Toplam batanda piritlik küi
9. F O, 10 Yoğunluk dağılım eğrisi

Şekil - 14 - Erzurum - Aşkale linyit nümunesi , ikincil kırma , (-18 +0.5) mm. elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri

Şekil-14'te gösterilen, Erzurum-Aşkale, ikincil kırma (-18 + 0,5) mm tane boyutundaki nümunenin yıkama kolaylığı veya zorluğunun tesbiti için, $\mp 0,10$ yoğunluk eğrisi incelendiğinde, nümunenin hâlâ "zor" yıkanabilir kömürler grubuna girdiği ve % 10 ayırma yoğunluğuna yakın kömür içeren hiçbir yoğunluğun bulunmadığı görülmektedir.

İkincil kırma, toplam yüzdürme-batırma tablosunu oluşturmak amacıyla, Çizelge-88, (-0,5) mm tane boyutunu da içerecek şekilde yeniden düzenlenmiş ve Çizelge-92'de bu son şekil gösterilmiştir.

Çizelge-92'den görüldüğü gibi, ikincil kırma işlemi, 1,60 yoğunluktaki batan kısımdan, piritik kükürtün % 73'ünün uzaklaştırılmasına olanak sağlamıştır. Birincil kırma işleminde ise piritik kükürtün uzaklaştırılması % 58 oranında olmuştur..

ÇİZELGE-78: Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, ikincil kırma (-18 + 0) mm tane boyutundaki toplam yüzdürme-batırma deneyi sonuçları

Yoğunluk Fraksiyonları	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kü- kürt Dağılımı
1,40 da yüzen	51,78	10,88	0,0872	1,1378	0,8645	2,0895	15,14
1,45 de yüzen	3,49	19,64	0,2115	1,9376	0,6135	2,7626	1,74
1,50 de yüzen	3,80	23,56	6,2431	2,6525	0,4283	3,3239	2,59
1,55 de yüzen	3,35	27,97	0,2390	2,5917	0,4897	3,3204	2,23
1,60 de yüzen	3,30	32,21	0,2511	3,1957	0,2774	3,7242	2,71
1,60 da batan	30,41	49,66	0,2205	9,3438	0,3649	9,9292	73,01
-0,5 mm	3,87	26,60	0,3877	2,5950	0,2359	3,2186	2,58
Toplam	100,00	25,34	0,1601	3,8917	0,6310	4,6828	100,00

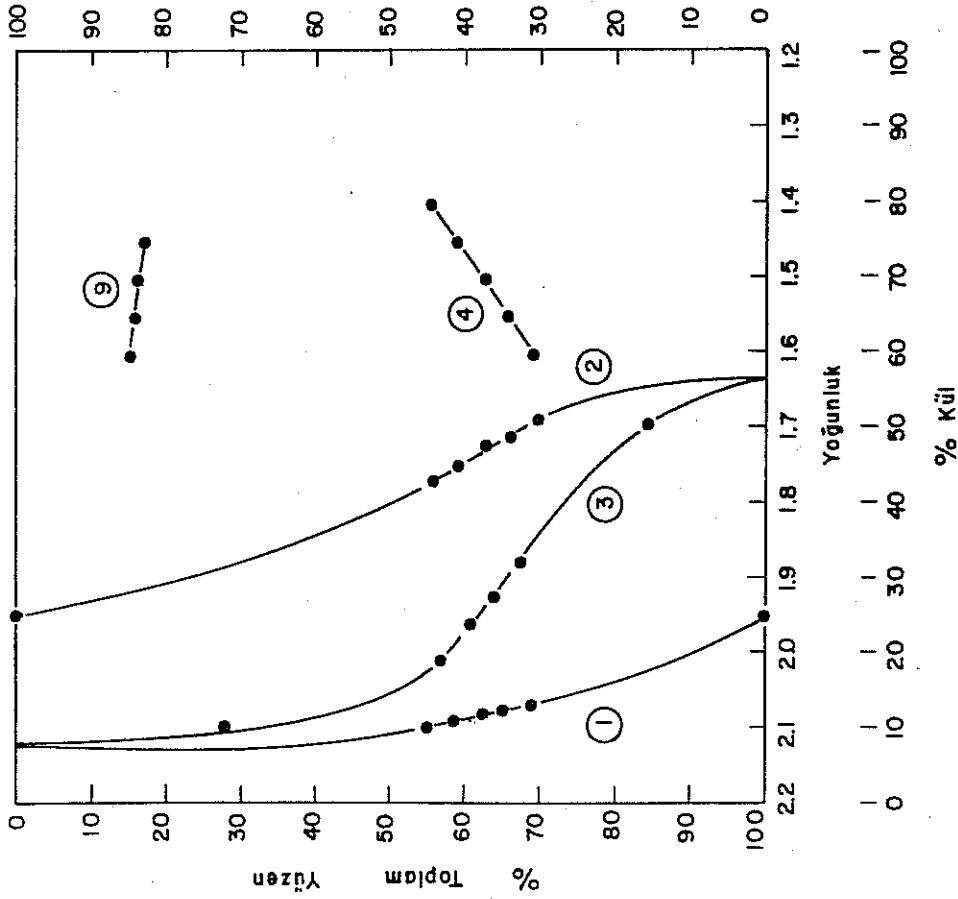
7.3.1.3. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesi, Üçüncül Kıрма Ürününün Yıkanabilirlik Eğrileri

Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin üçüncül kıрма (-10+ 0,5)mm fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrisi Şekil-15'te gösterilmiştir. Bu eğrinin çizilmesinde Çizelge-45,46 ve 47'den faydalanılmıştır.

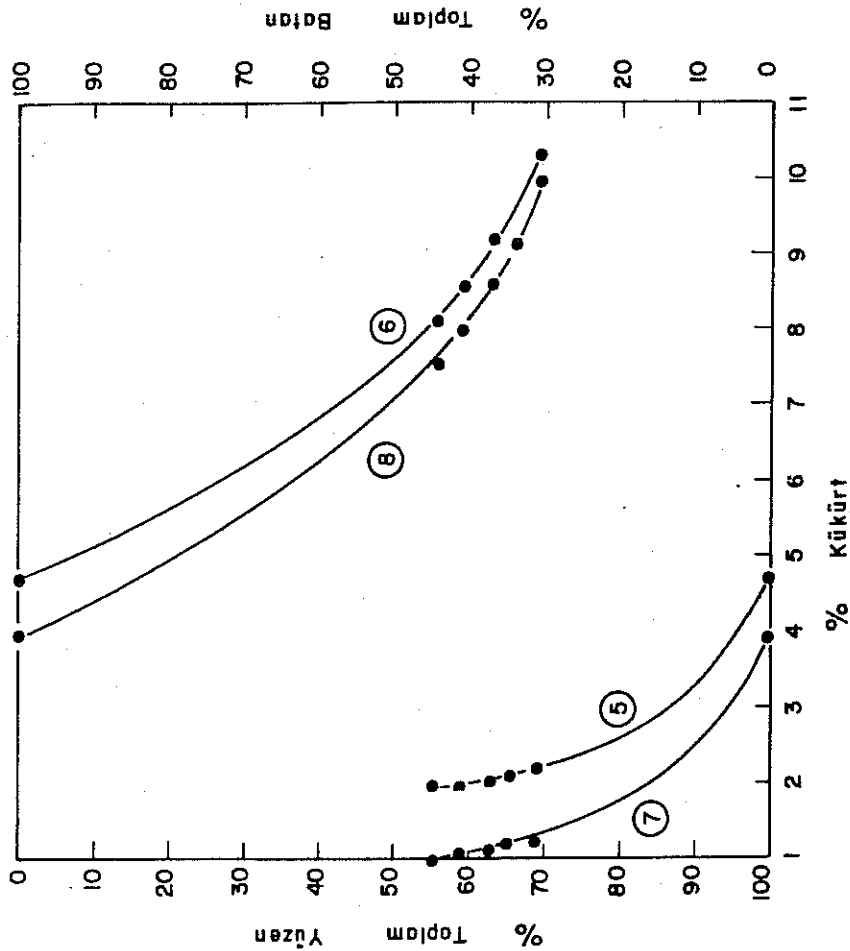
Şekil-15'te gösterilen üçüncül kıрма yıkanabilirlik eğrileri, birincil ve ikincil kıрма yıkanabilirlik eğrileriyle karşılaştırıldığında, tane boyutundaki düşmenin, kömürden kül ve kükürtün uzaklaştırılmasını olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Safsızlıkların kömürden serbestleşmesi, birincil ve üçüncül kıрма ürünlerinde çok açık şekilde gözleendiği halde, yakın tane boyutlu ikincil ve üçüncül kıрма ürünlerinde daha az farkedilmektedir. Yine de üçüncül kıрма ürününün yıkanmasıyla, ikincil kırmadan daha az küllü ve daha düşük piritik ve toplam kükürtlü kömür elde etmek mümkün olmuştur. Yüzen kömürün de ağırlık yüzdesi ikincilere nazaran fazladır.

(-10 + 0,5) mm tane boyutundaki Erzurum-Aşkale linyitinin $\mp 0,10$ yoğunluk dağılım eğrisi, nümunenin 1,55 ve üstündeki yoğunluklarda "zor yıkanabilir kömürler" sınıfına girdiğini göstermektedir. Düşük yoğunluklarda ise kömürün yıkanabilmesinin "çok zor" olduğu anlaşılmaktadır.

Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin üçüncül kıрма yüzdürme-batırma neticeleri, (-0,5) mm'lik elek fraksiyonu da dahil edilmek suretiyle yeniden hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge-93'te gösterilmiştir.



1. Toplam yüzende küll
2. Toplam batanda küll
3. Elementer küll
4. Yoğunluk



5. Toplam yüzende toplam kükürt
6. Toplam batanda toplam kükürt
7. Toplam yüzende piritik kükürt
8. Toplam batanda piritik kükürt
9. 70,10 Yoğunluk dağılım eğrisi

Şekil - 15 - Erzurum - Aşkale linyit nümunesi , üçüncül kırma , (- 10 + 0.5) mm. elek fraksiyonunun yıkanabilirlik eğrileri

ÇİZELGE-79: Erzurum-Aşkale linyiti, üçüncül kırma, (-10 + 0) mm tane boyutundaki toplam yüzdürme batırma deneyi sonuçları

Yoğunluk Fraksiyonları	% Ağırlık	% Kül	% Sülfat Kükürtü	% Piritik Kükürt	% Organik Kükürt	% Toplam Kükürt	% Piritik Kü- kürt Dağılımı
1,40 da yüzen	52,33	10,51	0,0904	1,0444	54,6534	1,9798	14,05
1,45 de yüzen	3,20	19,42	0,1839	1,8009	5,7629	2,6087	1,48
1,50 de yüzen	3,75	24,65	0,2393	2,1292	7,9845	2,9755	2,05
1,55 de yüzen	2,66	27,75	0,1696	2,3852	6,3446	3,1453	1,63
1,60 da yüzen	3,20	32,41	0,1857	2,3262	7,4438	3,0937	1,91
1,60 da batan	29,66	50,83	0,2303	9,8924	293,4086	10,3722	75,41
-0,5 mm	5,20	27,73	0,3675	2,5926	13,4815	3,6880	3,47
Toplam	100,00	25,34	0,1600	3,8908	389,0793	4,6819	100,00

Çizelge-93'te görüldüğü gibi kömürlerin kül, piritik kükürt ve toplam kükürt yüzdeleri yoğunluğa paralel şekilde yükselmektedir. Safsızlıklar özellikle "batan" kısımda yoğunlaştıklarından, bu kısmın atılmasıyla kömürün kül ve kükürttten uzaklaştırılması mümkün olmaktadır. Çizelge-93'teki 1,60 yoğunlukta batan kısımdan, piritik kükürtün % 75,4'ünün, külün ise % 59,5'inin atılması sağlanmaktadır. Toplam kükürtteki azalma ise % 65,7'dir.

Eğer, -0,5 mm'lik fraksiyon ile batan kısmın beraber atıldığı düşünülürse, Erzurum-Aşkale linyitini 1,60 yoğunlukta yıkamak suretiyle % 65,14 ağırlık randımanlı % 0,11 sülfat, % 1,26 piritik, % 0,80 organik ve % 2,17 toplam kükürtlü bir kömür elde etmek mümkün olmaktadır. Bu durumda, piritik kükürtün % 78,9 u, toplam kükürtün ise % 69,8'i kömürden uzaklaştırılmaktadır. Küldeki atılma oranı ise % 65,19'dur.

Kömürlerin safsızlıklarından arındırılması işlemleri, toplam ısı değerinde bazı kayıplara yol açmaktadır. Atılan fraksiyonlarda kül ve kükürt gibi bazı safsızlıkların yanında genellikle bu maddelerle bitişik halde kömür kaybedilmektedir. Üçüncül kırma ürününün yüzdürme-batırma deneyi sırasında, ısı değeri dağılımı incelenmiş ve bu şekilde atılan kısımlardaki kalori kaybının hesaplanmasına çalışılmıştır. Çizelge 94'te üçüncül kırma, (-10 + 0) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyinin ısı değeri dağılımı gösterilmektedir.

ÇİZELGE-80: Erzurum-Aşkale linyit nümunesi, üçüncül kırma, (-10+0) mm tane boyutundaki yüzdürme-batırma deneyinin ısı değeri dağılımı

Yoğunluk Fraksiyonları	Ağırlık %	Üst ısı değeri kcal/kg	Isı değeri dağılımı %
1,40 da yüzen	52,33	7986	67,52
1,45 de yüzen	3,20	6464	3,35
1,50 de yüzen	3,75	6102	3,70
1,55 de yüzen	2,66	5799	2,49
1,60 da yüzen	3,20	5279	2,73
1,60 da batan	29,66	3292	15,77
-0,5 mm	5,20	5294	4,44
Toplam	100,00	6190	100,00

Çizelge-94'ten görüldüğü gibi, 1,60 yoğunluktaki batan kısımda, kömürdeki toplam ısı değerinin % 15,77'si kaybedilmektedir.

Eğer (-0,5) mm'lik kısmın, batan kısım ile birlikte uzaklaştırıldığı düşünülürse, kömürün 1,60 yoğunlukta yüzdürülmesiyle elde edilecek temiz ürün toplam ısı değerinin % 79,79'unu taşıyacaktır.

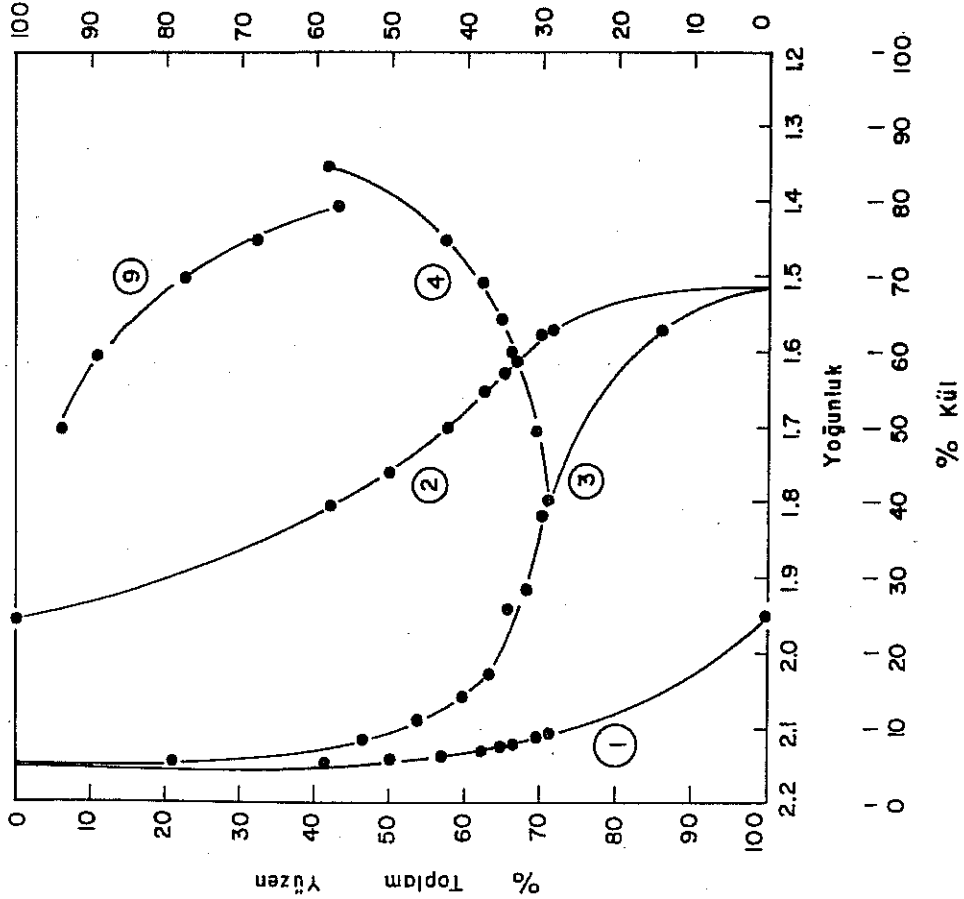
7.3.1.4. 0,5 mm'nin Altına Öğütülmüş Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesinin Yıkanabilirlik Eğrileri

Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin 10 mm'nin altına kırılması ve sonra 1,60 yoğunluktaki ağır bir ortamda yıkanması suretiyle piritik kükürtün % 78,9'unun kömürden uzaklaştırılmasının mümkün olduğu Çizelge-93'te gösterilmişti. Aynı nümunenin

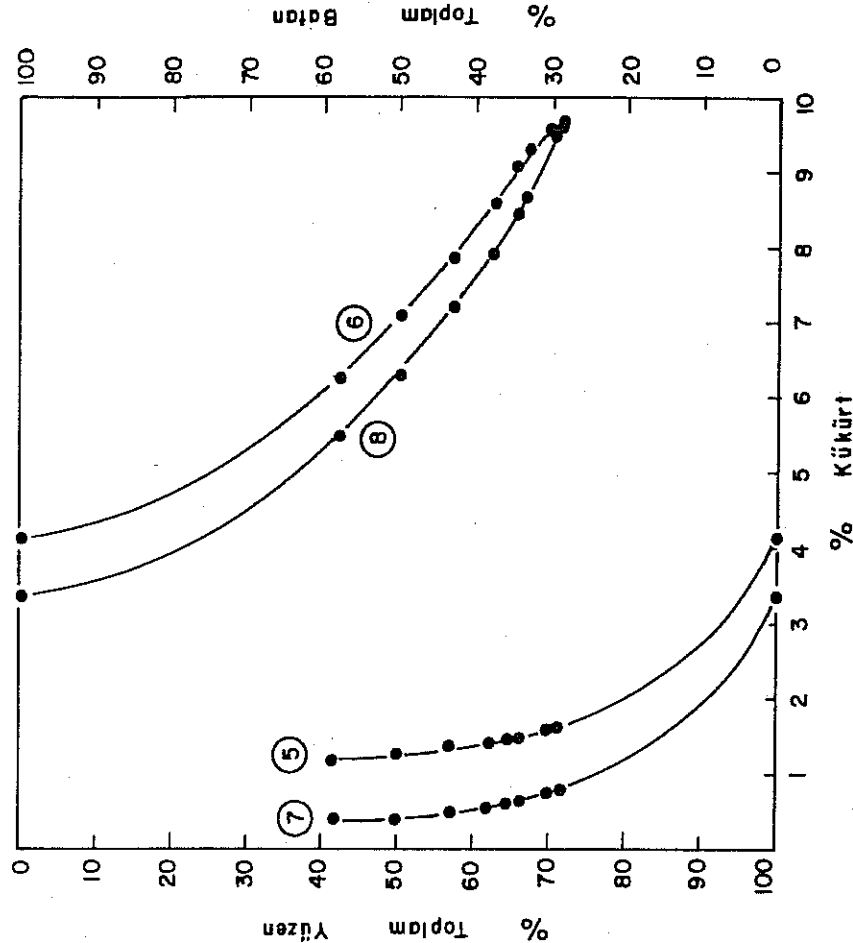
tane boyutunun daha fazla küçültülmesiyle, piritik kükürtten temizlenmesinin ne ölçüye kadar sağlanabileceğinin tesbiti için, bütün nümune 0,5 mm'nin altına öğütülmüş ve yıkanabilirlik özellikleri tayin edilmiştir. Bromoform ve CCl₄ karışımındaki sıvılarda yapılan bu deneyler Çizelge-48'de sunulmuştur. Deneylerin kil, toplam kükürt ve piritik kükürt hesaplamaları Çizelge-49, 50 ve 51'de verilmiş, bu değerlerin kullanılmasıyla çizilen yıkanabilirlik eğrileri ise Şekil-16'da gösterilmiştir.

Çizelge-48 ve Şekil-16'dan görüldüğü gibi, 1,35 yoğunlukta yüzen kömürün piritik kükürt içeriğini % 0,88'e kadar düşürmek mümkün olmuştur. Diğer bir deyişle, 1,35 yoğunlukta yüzen kömürde, nümunenin piritik kükürt varlığının % 9,49'u kalmıştır. Yaklaşık % 10 olarak kabul edebileceğimiz bu oran, (-0,5) mm'de serbestleşemeyen kristal piritlerle, çok ince bakteri kökenli pirit küreciklerinden kaynaklanmaktadır. Literatürde "uzaklaştırılmayan pirit" olarak isimlendirilen bu piritler, organik kükürt ile birlikte temiz kömürün kükürt yüzdesini belirlemektedir.

Şekil-16'daki yıkama eğrilerinin yassılmış şekillerinden, kül ve piritik kükürtün büyük bir kısmının serbest hale geçtiği anlaşılmaktadır. Özellikle elementer kül eğrisi, orta kısmındaki yatay görüntüsüyle kömürden külün uzaklaştırılmasının rahat olacağına işaret etmektedir. Genelde -0,5 mm tane boyutundaki Erzurum-Aşkale kömürünün yıkama zorluğunun tesbiti için $\pm 0,10$ yoğunluk dağılım eğrisi incelendiğinde, "çok kolay yıkanabilir kömür"ü simgeleyen % 7 kömür varlığının 1,70 yoğunluğa çakiştığı



- 1. Toplam yüzende küi
- 2. Toplam batanda küi
- 3. Elemanter küi
- 4. Yoğunluk



- 5. Toplam yüzende toplam kükürt
- 6. Toplam batanda toplam kükürt
- 7. Toplam yüzende piritik kükürt
- 8. Toplam batanda piritik kükürt
- 9. + 0,10 Yoğunluk dağılım eğrisi

Şekil - 16 - 0.5 mm' nin altına öğütülmüş Erzurum - Aşkale linyit nümunesinin yıkanabilirlik eğrileri

görülür. "Kolay yıkanabilir kömür"ü gösteren % 10 kömür varlığı ise 1,60 yoğunluğa rastlamaktadır. Eğer bütün kömürün 1,70 yoğunlukta yıkanacağı varsayımından hareket edilirse % 66,19 ağırlık randımanlı, ve % 1,19 piritik kükürt, % 2,04 toplam kükürt, % 8,08 kül içerikli temiz bir kömür elde edilecektir. Bütün nümunenin 1,60 yoğunluğunda yıkanacağı varsayılırsa, bu takdirde ağırlık randımanı % 64,67 ye düşecek, buna karşın % 1,15 piritik kükürt, % 2.00 toplam kükürt ve % 7,65 kül içerikli daha temiz bir kömür üretmek mümkün olacaktır.

7.3.1.5. Erzurum-Aşkale Linyit Nümunesinin Yıkanabilirlik Özelliklerinin Beraber İrdelenmesi

Kırma işleminin, Erzurum-Aşkale nümunesinden piritik kükürt ve külün serbestleşmesine olan katkısı, Çizelge-95,96 ve Şekil-17,18'de gösterilmiştir. Karşılaştırmalar, yıkamanın 1,60 yoğunluğunda yapılacağı varsayımına dayandırılmıştır.

Çizelge-81: Erzurum-Aşkale linyit nümunesinde, farklı boyutlardan elde edilmiş ürünlerin piritik kükürt içerikleri ve dağılımları(*)

Tane boyutu, mm	TEMİZ KÖMÜR Yoğunluk < 1,60		ARTIK Yoğunluk > 1,60	
	% Piritik Kükürt	% Piritik Kükürt Dağılımı	% Piritik Kükürt	% Piritik Kükürt Dağılımı
-50	2,2858	40,88	6,8312	59,12
-18	1,4453	24,41	8,5819	75,59
-10	1,2617	21,12	8,8035	78,88
-0,5	1,2156	20,20	8,7879	79,80

* Çizelge-48,87,92 ve 93'ten faydalanılarak hazırlanmıştır. (-0,5) mm tane boyutu batana ilâve edilmiştir.

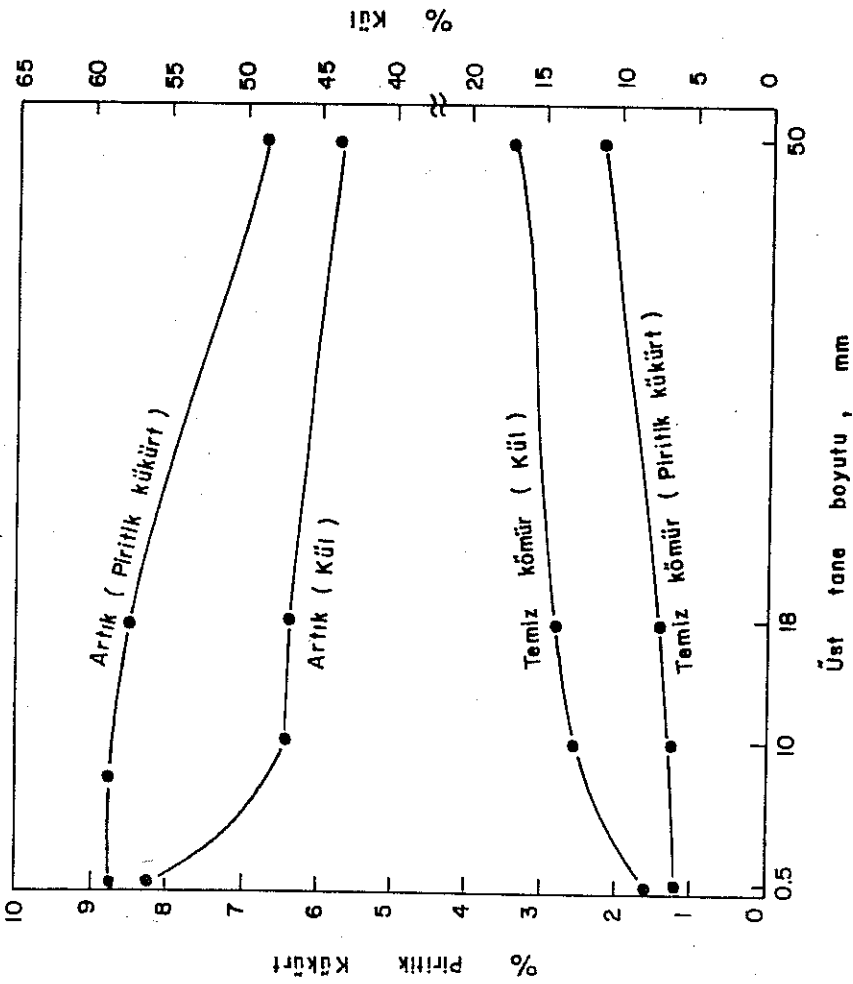
ÇİZELGE-82: Erzurum-Aşkale linyit nümunesinde, farklı boyutlarda yüzdürülmüş nünunelerin kül içerikleri ve dağılımları (*)

Tane Boyutu, mm	TEMİZ KÖMÜR Yoğunluk < 1,60		ARTIK Yoğunluk > 1,60	
	% Kül	% Kül Dağılımı	% Kül	% Kül Dağılımı
-50	17,60	45,20	44,10	54,80
-18	14,02	36,36	47,06	63,64
-10	13,54	34,81	47,38	65,19
-0,5	8,27	21,10	56,59	78,90

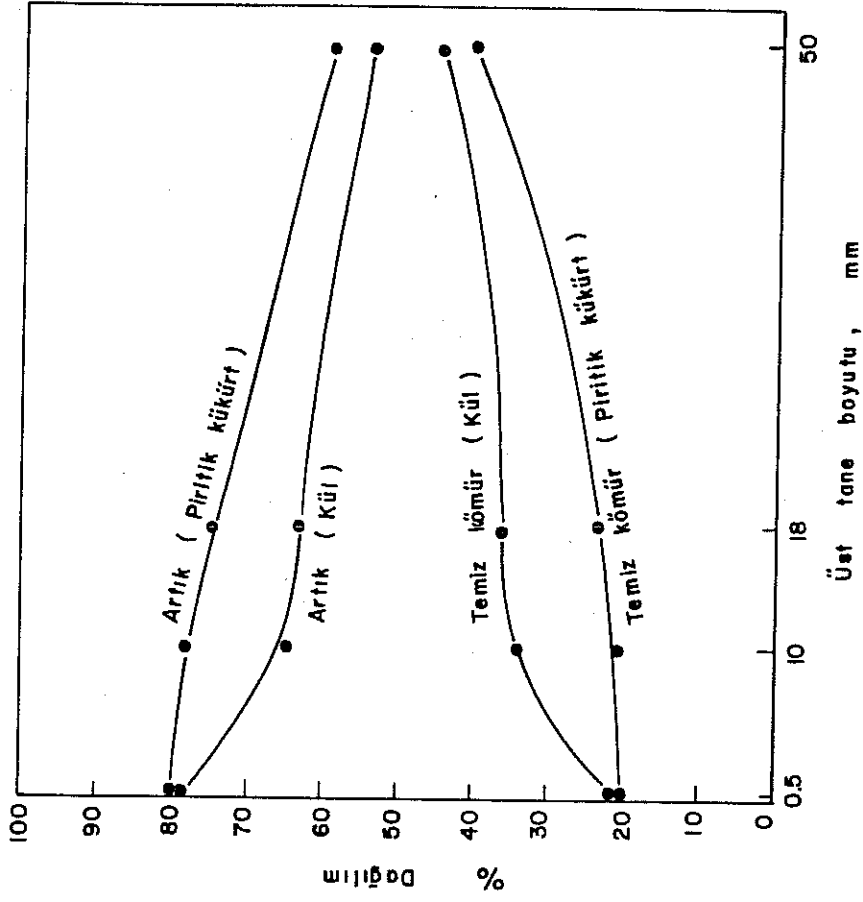
Çizelge-95,96 ile Şekil-17 ve 18'den görüldüğü gibi kül ve piritik kükürtün kömürden serbestleşerek uzaklaştırılması, tane boyutu küçüldükte artmaktadır.

Kül ve piritik kükürtün eğrileri birbirleriyle karşılaştırıldığında, her ikisinin ayrı serbestleşme özellikleri gösterdikleri görülür. Piritik kükürtün kömürden serbestleşmesi, (-50) mm'lik kırmadan, (-18) mm'lik kırmaya doğru büyük oranlarda gerçekleşirken, (-10) mm'lik kırmaya doğru yavaşlamakta, daha küçük boyutlarda ise en az düzeye inmektedir. Küldeki serbestleşme ise ince boyutlara doğru artmaktadır. Bu durum, Erzurum-Aşkale linyitinden, kül ve piritik kükürtün uzaklaştırılmasının aynı oranda gerçekleştirilemeyeceğini göstermektedir. Kömürlerde asıl önemli olan safsızlık kükürt olduğuna göre, kömürün, piritik kükürtün serbestleştiği boyuta kırılması gerekmektedir. Bu boyut Erzurum-Aşkale nümunesi için 10 mm'dir. (10) mm'

* Çizelge-48,87,92 ve 93'ten faydalanılarak hazırlanmıştır. (-0,5) mm tane boyutu batana ilave edilmiştir.



Şekil - 17 - Erzurum - Aşkale linyit nümunesinde , farklı boyutlar-
da yüzdürülmüş nümunesinin piritik kükürt ve
kül içerikleri



Şekil - 18 - Erzurum - Aşkale linyit nümunesinde , farklı
boyutlarda yüzdürülmüş nümunesinin piritik
kükürt ve kül dağılımları

lik kömürün 1,60 yoğunluğunda yıkanmasıyla piritik kükürtün % 78,88'i, külün ise % 65,19'u atılabilmektedir.

Bölüm 7.3.1.3'te, 10 mm'nin altına kırılmış kömürün 1,60 yoğunluğunda yıkanmasının zor olacağı, \mp 0,10 eğrisinden saptarmıştı. Fakat, ilerleyen teknoloji, eskiden yıkanabilirliği "olanaksız" gözüken, \mp 0,10 yoğunluğundaki kömür oranı % 25 ve üstünde olan kömürlerin bile başarıyla yıkanmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle ağır ortam siklonları bunu başarıyla gerçekleştirmektedir. Bu yüzden Erzurum-Aşkale linyit nümunesinin yıkanabilmesi için kömürün daha ince boyutlara kırılması gerekmektedir.

7.4. Zenginleştirme Deney Sonuçlarının Tartışılması

7.4.1. Gravite Ayırım Neticeleri

Bölüm 6.3'te, Çizelge 52,53,54'te gösterilen deneylerde, Erzurum-Aşkale nümunesi geniş bir tane aralığında sallantılı masaya beslenmiştir. Çizelgelerden de izlendiği gibi tane boyu küçüldükçe kömürde kalan pirit miktarı artmaktadır. Diğer bir deyişle, masa deneylerinde en temiz ürün, -10 meş'e öğütülmüş nümunenin yıkanmasıyla elde edilmektedir. Bu deneyde % 79,95 ağırlıklı, % 1,5361 piritik kükürt ve % 2,3390 toplam kükürtlü bir kömür elde edilmiştir. Kömürde kalan pirit ve toplam kükürt miktarı, orijinaldekinin sırasıyla % 31,56 ve % 39,94'üdür. Ara ürün ve piritte toplam kükürtün % 60,06'sı, piritik kükürtün ise % 68,44'ü atılmaktadır.

Çizelge-55'te neticeleri gösterilen Humphreys Spirali deneyi, sallantılı masa kadar başarılı netice vermemiştir. Buna rağmen, kömürde kalan piritik ve toplam kükürt, orijinal kömürdekinin sırasıyla % 42,39 ve % 49,72'sidir.

- 10 meş'e öğütülmüş Erzurum-Aşkale nümunesinin çeşitli elek fraksiyonlarına ayrılarak, herbir fraksiyonun ayrı ayrı sallantılı masada yıkanması neticesinde, Çizelge-62'de görüldüğü gibi, % 74,54 ağırlıklı, % 1,4475 piritik kükürt ve % 2,3485 toplam kükürt içerikli bir kömür elde edilmektedir. Buradan görüldüğü gibi, nümunenin yakın tane boyutlarına sınıflandırılmasıyla yapılan sallantılı masa deneyleri, piritik kükürtün atılması açısından daha etkili olmaktadır. Ara ürün ve pirit konsantresinde piritik kükürtün % 70'ten fazlası atılabilmektedir. Bu da gravite ayırım yöntemlerinin, piritik kükürtün atılmasında etkili olduğunu vurgulamaktadır.

7.4.2. Flotasyon Deneylerinin Neticelerinin Tartışılması

Çizelge-63'te görüldüğü gibi flotasyon yöntemiyle kömürden piritik kükürtün uzaklaştırılması mümkün olabilmektedir. 2-basamaklı flotasyon yönteminin uygulandığı Deney-7 ile kaba konsantresinin ve kaba artığının yıkamaya tabi tutulduğu Deney-8'de benzer neticeler elde edilmiştir. Her iki deneyde, konsantreden toplam piritin % 78-80'inin atılabildiği görülmüştür. Diğer bir deyişle, temiz kömürde, toplam piritin % 20-22'si bulunmaktadır. Bununla beraber konsantrelerin ağırlık randımanları gravite ayırım neticelerinden düşüktür.

Çizelge-64'te gösterilen Deney-8'deki kaba konsantrenin yıkanmasından elde edilen konsantre-1 ile süpürme (scavenger) devresinden elde edilen konsantre-2 birleştirildiğinde şu sonuçlar alınmaktadır :

Ağırlık: % 55,56, sülfat kükürtü % 0,1258, piritik kükürt % 1,8215, organik kükürt % 0,6425 ve toplam kükürt % 2,5899.

Eğer süpürme devresindeki yıkama sayısında bir adet azaltma yapılsaydı, bu durumda yıkama artığı-2, kömür-2'nin içinde olacaktı. Bu durumda elde edilen konsantre-1 ve konsantre-2 (yıkama artığı-2 ile beraber) birleştirilseydi şu durum ortaya çıkacaktı.

Ağırlık: % 60,91, Sülfat kükürtü % 0,1240, Piritik kükürt % 1,8800, Organik kükürt % 0,6190 ve toplam kükürt % 2,6231. Hesapla bulunan bu ürün, toplam pirit yüzdesinin % 26,01'ini içermektedir.

7.4.3. Manyetik ayırım deneylerinin neticelerinin tartışılması

Manyetik ayırım yöntemi ile kömürden piritik kükürtün atılmasının mümkün olduğu Çizelge-65, 66 ve 67'den görülebilmektedir.

Piritik kükürtün uzaklaştırılması manyetik alan şiddetine bağlı olarak artmaktadır. Çizelge-65'te görüldüğü gibi 14000 Gauss'luk bir alan şiddetinde temiz kömürde piritik kükürtün % 38,53'ü bulunurken, 18000 Gauss'luk bir alan şiddetinde bu miktar % 31,48'e düşmüştür.

Tane boyutundaki değişmelerin, manyetik ayırım yöntemiyle kömürden piritik kükürtün atılmasını etkilediği gözlenmiştir. Çizelge-66'da, en temiz kömürün en iri fraksiyondan elde edildiği görülmüştür. Tane boyutu küçüldükçe, kömüre geçen pirit miktarı artmıştır.

Manyetik ayırım yöntemiyle elde edilen kömürün içeriğini, konsantreyi yıkama devrelerinden geçirmek suretiyle düzeltmek mümkün olmaktadır. Çizelge-67'de görüldüğü gibi, kaba konsantreyi 2 kere yıkamak suretiyle, konsantreye geçen pirit miktarı % 55,95'ten % 21,77'ye düşürülebilmiştir. Böylece kömürden % 79 nisbetinde piritik kükürt uzaklaştırılabilmektedir.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

1) Yurdumuzun yüksek kül ve kükürtlü kömürlerinden Bolu-Merkeşler, Bolu Çorak, Ankara-Çayırhan, Erzurum-Aşkale ve Çanakkale-Çan linyitlerinde piritik kükürt/organik kükürt oranının 0,72 ile 5,62 arasında, kül miktarının ise % 12-27 arasında değiştiği görülmüştür. Kükürt türlerinin toplam kükürt içindeki dağılımları, yalnızca havzadan havzaya değişmekle kalmayıp, aynı zamanda havzanın değişik ocaklarında bile farklılıklar gösterebilmektedir. Bu da kükürttten arındırma yöntemlerinde farklılıklar yaratabilecektir.

2) Araştırmaya konu olarak seçilen Erzurum-Aşkale linyitinin, fiziksel yöntemlerin uygulanmasıyla, kül ve piritik kükürttten temizlenmesinin mümkün olduğu bulunmuştur.

3. Erzurum-Aşkale linyitinde piritik kükürt/organik kükürt oranı 5,62 olarak saptanmıştır. Nümunenin toplam kükürt oranının % 2,84'ü sülfat kükürtünden, % 82,49'u piritik kükürttten, % 14,67'si ise organik kükürttten ileri gelmektedir. Nümunenin kül içeriği ise % 27,72'dir.

4. Erzurum-Aşkale linyitindeki başlıca sülfür mineralinin pirit olduğu belirlenmiştir. İnce ve iri çatlak dolgusu şeklindeki piritlerin yanında bakteri kökenli piritlere de rastlanmıştır.

5. Erzurum-Aşkale linyitinin elek analizi, kırma ve eleme suretiyle kömürden safsızlıkların giderilemeyeceğini göstermiştir.

6. Yüzdürme-batırma deneyleri, tane boyutu küçültmenin, kömürden kül ve piritik kükürtün uzaklaştırılmasını olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur.

7) Erzurum-Aşkale linyitinin yıkanabilirlik eğrileri, 10 mm'nin altına kırılmış nümunenin 1,60 yoğunluğundaki ağır ortamda yıkanmasıyla, % 65,14 ağırlık randımanlı, % 1,26 piritik, % 0,80 organik, % 2,17 toplam kükürtlü ve % 13,54 kül içerikli bir kömür elde edilebildiğini göstermiştir. Bu şekilde (-0,5) mm'lik tane boyutu batan kısma dahil edilmek üzere piritik kükürtün % 78,9'u, toplam kükürtün % 69,8'i ve külün % 65,19'u kömürden uzaklaştırılabilmektedir. Temiz kömürde toplam ısı değerinin % 79,79'u kazanılmıştır.

8) (-10) mm tane boyutundaki Erzurum-Aşkale linyitinin $\mp 0,10$ yoğunluk dağılım eğrisi, nümunenin 1,60 yoğunluğunda "zor yıkanabilir kömürler" grubuna girdiğini göstermiştir. Daha düşük yoğunluklarda ise kömürün yıkanabilmesinin "çok zor" olduğu anlaşılmıştır.

9) (-0,5) mm'ye öğütülen Erzurum-Aşkale nümunesinin 1,35 yoğunluğunda yıkanmasıyla, % 41,75 ağırlık randımanlı ve % 5,48 kül, % 0,88 piritik kükürt, % 1,70 toplam kükürt içerikli temiz bir kömür elde edilebilmiştir. Aynı kömürün 1,60 yoğunluğunda

yıkanması halinde, % 64,67 ağırlık randımanlı ve % 7,65 kül, % 1,15 piritik kükürt, % 2,00 toplam kükürt içerikli bir kömür üretilebilmektedir. \mp 0,10 yoğunluk dağılım eğrisinden, 1,60 yoğunlukta kömürün "kolay yıkanabilir" olduğu saptanmıştır.

10) Erzurum-Aşkale nümunesinin 10 mm'nin ve 0,5 mm'nin altına kırıldıktan sonra yıkanması, benzer özellikte temiz kömürlerin üretimine olanak sağlamıştır. 10 mm tane büyüklüğü endüstriyel çaptaki uygulamaya elverişli olduğu için, bu boyut Erzurum-Aşkale linyitinin yıkamasında tavsiye edilmiştir.

11) Gravite ayırma yöntemiyle yapılan deneylerde Erzurum-Aşkale linyitinden kül ve kükürtün uzaklaştırılmasının mümkün olduğu görülmüştür. -10 meşe öğütülmüş ve çeşitli tane boyutlarına sınıflandırılmış nünunelerin sallantılı masalarda ayrı ayrı yıkanmasıyla % 74,54 ağırlıklı, % 1,4475 piritik ve % 2,3485 toplam kükürt içerikli bir kömür elde edilmektedir.

12) Flotasyon yöntemi, Erzurum-Aşkale linyitinden safsızlıkların arındırılmasında etkili bir yöntem olarak gözükmiştir. Bu yöntemin uygulanmasıyla kömürden piritik kükürtün % 78-80'i uzaklaştırılabilmektedir. Yalnız elde edilen kömürlerin ağırlık randımanları düşüktür.

13) Manyetik ayırma yöntemiyle kömürden piritik kükürtün temizlemesinde, manyetik alan şiddeti, tane büyüklüğü ve yıkama sayısının ayırımı etkilemektedir. Manyetik alan şiddeti ve yıkama sayısının artması, piritik kükürtün atılmasını kolaylaştırmakta ve 300 mikron boyutunda, 106 mikrona nazaran daha temiz kömür üretilmektedir.

14) Sonuç olarak, bugün dünyada teknolojik olarak en gelişmiş ve en ucuz kükürttten arındırma yöntemlerinden biri olarak kabul edilen kömür yıkama işlemleriyle linyitlerimizdeki piritik kükürt ve kükürt temizlenmesinin mümkün olduğu bulunmuştur. Kömürün uygun boyuta kırılması ve ağır-ortam, sallantılı masa, flotasyon ve manyetik ayırma işlemlerinden birisinin uygulanmasıyla piritik kükürtün % 75-80'inin kömürden uzaklaştırılması sağlanabilmektedir.

BÖLÜM 9

ÖZET

Yurdumuzun toplam linyit rezervi 7,3 milyar ton olup bu rezervin kül ve kükürt içeriği yüksektir. Kömürlerdeki sızlıklardan özellikle kükürtün SO₂ gazı yayılımı ile çevre kirliliğine ve tesislerde korozyona neden olduğu bilinmektedir. Kükürt, kömürde elementer, sülfat, piritik ve organik olmak üzere 4 türde bulunmaktadır. Bunlardan piritik kükürt fiziksel yöntemlerle kömürden uzaklaştırılabilmektedir.

Kükürttten arındırma amacıyla yurdumuzun çeşitli bölgelerinden alınmış 5 linyit numunesi incelenmiştir. Bunlar, Erzurum-Aşkale, Bolu-Çorak, Bolu-Merkeşler, Ankara-Çayırhan ve Çanakkale-Çan linyitleridir. Oluk numuneleri, şartlar elverdiğince çalışan veya yeni açılan damarlardan, tabakalaşmaya dik ve mümkünse bütün damarı temsil edecek şekilde alınmıştır. Herbir numunenin kimyasal, fiziksel, mineralojik ve petrografik özellikleri incelenmiş, kül ve kükürt türlerinin içerik ve dağılımları saptanmıştır. Buna göre, linyitlerin küllerinin % 12 ile 25 arasında, toplam kükürt içeriklerinin ise % 4 ile 7 arasında değiştiği görülmüştür. Yapılan analizler, kükürt türlerinin toplam kükürt içindeki dağılımlarının bir havzadan diğerine değiştiğini, hatta aynı havzanın kömürlerinde bile farklı olduğunu göstermiştir. Numunelerin mine-

ralojik analizleri, linyitlerde piritik kükürtün hakim olduğunu, ayrıca bakteri kökenli piritin de bulunduğunu göstermiştir. Piritlerin tane boyları kömürden kömüre değişmektedir. Örneğin Bolu-Merkeşler ve Çayırhan linyitlerinde egemen pirit tane boyu 5 ile 30 mikron arasında değişirken, Erzurum-Aşkale linyitinde mm ile ifade edilebilecek boyutlarda piritler bulunmaktadır.

Safsızlıkların çeşitli tane boyutlarındaki dağılımlarının saptanması için 50 mm'nin altına kırılmış numunelerde elek analizleri yapılmıştır. Elek analizlerinde kül yüzdesi, Erzurum-Aşkale numunesi hariç diğerlerinde ince fraksiyonlara doğru artmış, kükürt yönünden ise böyle bir yoğunlaşmaya rastlanmamıştır.

İncelenen kömürler içinde en yüksek piritik/organik kükürt oranına sahip olan Erzurum-Aşkale linyiti ayrıntılı kükürt-şüzleştirme çalışmaları için seçilmiştir.

Yıkanabilirlik deneylerinde -50 mm'ye, -18 mm'ye, -10 mm'ye ve -0,5 mm'ye kırılmış olan Erzurum-Aşkale linyiti çeşitli tane boyutlarına sınıflandırılarak, fraksiyonlar ayrı ayrı ağır sıvılarda ayırma tabi tutulmuşlardır. Elde edilen ürünler kül, toplam, piritik ve sülfat kükürtleri yönünden incelenerek, verilen yıkanabilirlik eğrilerinin çiziminde kullanılmıştır. Çeşitli tane boyutlarının yıkanabilirlik eğrileri karşılaştırıldığında, tane küçültmenin, kömürden kül ve kükürtün uzaklaştırılmasını olumlu yönde etkilediği ortaya çıkmıştır. Kömürden kül ve piritik kükürtün atılması farklı oranlarda gerçekleşmektedir.

Optimum neticelere, Erzurum-Aşkale linyitinin -10 mm' yekkirılması ve 1.60 yoğunluğundaki ortamda yıkamasıyla ulaşılmış ve kömürden külün % 65,2 si, piritik kükürtün % 78,9'u ve toplam kükürtün ise % 69,8'inin uzaklaştırılması mümkün olmuştur. Bu şekilde elde edilen üründe toplam ısı değerinin % 79,79'u kazanılabilmektedir. Benzer sonuçlar, gravite ayırımı, flotasyon ve manyetik ayırımı gibi diğer kömür hazırlama yöntemlerinin uygulanmasıyla da elde edilmiştir.

Sonuç olarak, yurdumuzun yüksek kül ve kükürt içerikli linyitlerinin, endüstriyel çapta uygulanabilecek tane boyutlarında, kül ve kükürten arındırılmalarının mümkün olduğu bulunmuştur.

BÖLÜM 10

SUMMARY

The total lignite reserve of Turkey is estimated as 7.3×10^9 tons which is mostly high in ash and sulfur content. The direct utilization of such coals cause corrosion as well as air pollution due to sulfur oxide emission during combustion. Sulfur in coal occurs in four forms such as native, pyritic, sulfate and organic. The pyrite content of most coals can be reduced significantly by utilizing coal preparation methods.

Five coal samples were investigated with a special emphasis on sulfur reduction. These channel samples, namely Erzurum-Aşkale, Bolu-Çorak, Bolu-Merkeşler, Ankara-Çayırhan and Çanakkale-Çan were taken from the working faces or freshly opened surfaces, and they were cut vertically to the bedding plane, representing the whole thickness of the seams. All the samples were investigated in order to determine the physical, chemical, mineralogical and petrographical properties of the lignites. The sulfur forms and ash in addition to their content and distributions were determined. The five samples evaluated had ash contents between 12 to 25 % and total sulfur content from 4 to 7. The chemical analyses also showed that the distribution of different forms of sulfur in total sulfur changed from one coal basin to another, even, the samples of

different benches of the same seam gave different results. Referring to mineralogical analyses, it was found that pyrite was dominant in all the lignite samples. Pyritized plant tissue was also present. The pyrite was distributed through coal in various sizes, e.g. in Bolu-Merkeşler and Çayırhan lignites, the size of pyrite varied between 5 and 30 microns, however, in Erzurum-Aşkale sample, the pyrite size could be expressed in terms of millimeter.

In order to determine the distribution of sulfur in various size fractions, screen analyses were carried out on minus 50 mm size samples. The ash content of fractions were increased towards the finer sizes, except Erzurum-Aşkale sample. No sulfur concentration was observed in any screen fraction.

The Erzurum-Aşkale lignite with the highest pyritic/organic sulfur ratio was chosen for detailed washability tests.

For the washability tests, the samples were crushed to minus 50, 18, 10 and 0,5 mm and then screen analyses were performed on each crushed sample. The various sized fractions were then tested by float-sink at various specific gravities. The products obtained were analysed for ash, pyritic, total, sulfate sulfur contents and the heating value. The data were evaluated to compile the washability data. The comparison of washability curves showed that the size reduction helped to increase the ash and sulfur removal, but their rejection were achieved at different rates.

Optimum results were obtained by washing of -10 mm size particles at 1.60 specific gravity so that 65,2 % ash, 78,9 % pyritic and 69,8 % total sulfur were removed. The heating value in the float product remained as 79,79 % of the original. Similar results were obtained by applying other coal preparation methods such as gravity separation, flotation and magnetic separation.

It can be concluded that, it is possible to remove impurities such as ash and sulfur from lignites at a particle size applicable to industrial scale.

BÖLÜM 11

KAYNAKLAR

- 1) Abel, W.T., Removing pyrite from coal by dry separation methods, U.S.Bureau of Mines, RI 7732, 1973.
- 2) Aplan, F.F., Coal Flotation, Flotation, A.M.Gaudin Memorial Volume, 2 nd. vol., AIME, New York, 1976.
- 3) A.S.T.M. Committee D-5, A.S.T.M. Standards on Coal and Coke, Amer. Soc. for Testing Materials, Phila. Pa., 1951.
- 4) Baker, A.F., Desulphurization of coal by froth flotation, 6 th. Intern. Coal Preparation Congress, Paris, Paper 27-E, March 1973.
- 5) Baker, A.F., K.J.Miller, Hydrolyzed metal ions as pyrite depressants in coal flotation, U.S.Bureau of Mines, RI 7518, 1971.
- 6) Barringer, A.R., The preparation of polished sections of ores and mill products using diamond abrasives and their quantitative study by point counting method, Trans. Inst. Min. and Metall., vol.63, 21-24, 1953-4.
- 7) Blagov, I.S., Coal preparation in the Soviet Union, World Coal, 27-34, May 1979.

- 8) Blagov, I.S., N.N.Vinogradov, V.A. Volchenko (et al),
Desulphurization of coal on concentration tables,
Coke and Chemistry, U.S.S.R., No: 3, 8-12, 1968.
- 9) Brinkman, F., Efficient use of modern coal cleaning plant
in West Germany, World Coal, vol.3, No: 5, 33-35,
May 1977.
- 10) Bubnov, A.P., A.M.Kothin, E.F.Zhulid, Size distribution of
pyrite inclusions in some sulphur rich Donbas coals,
Coke and Chemistry, U.S.S.R., No: 4, 13-15, 1974.
- 11) Callen, A.C., D.R.Mitchell. Washability tests of Illinois
coals, University of Illinois, Bulletin No: 217,
Nov.1930.
- 12) Carta, M., C.D.Fa, R.Ciccu (et.al), Technical and economical
problems connected with the dry cleaning of raw coal
and in particular with pyrite removal by means of
electric separation, VII.Int.Coal Preparation Congress,
(Eng.Ed.), Paper K-2 Australia, 1976.
- 13) Cavallaro, J.A., Sulfur reduction potential of the coals
of the United States, U.S.Bureau of Mines, RI 8118,
1976.
- 14) Chakrabarti, J.N. Analytical procedures for sulfur in coal
desulfurization products, Analytical Methods for Coal
and Coal Products, vol.1, 284-Academic Press, London
1978.

- 15) Chandra, D., P.Roy, A.K.Mishra (et al), Microbial removal of organic sulfur from coal , Fuel vol.58, 549-50, 1979.
- 16) Chapman, W.R., D.C.Rhys Jones, The removal of sulphur from coal , Journal of the Institute of Fuel, 102-108, March 1955.
- 17) Chowdhury, J.K., P.B.Datta, S.R.Ghosh, J.Sci. Ind. Res. 11 B, s.150, 1952.
- 18) Coal preparation for combustion and conversion, AF-791, Research Project 466-1, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, California, May 1978.
- 19) Davis, H., PP and L update its preparation plant to reduce coal's sulfur content by 40%, Coal Age, 72-76, Nov.1976.
- 20) Detz, C.M., G.Barvinchak, Microbial desulfurization of coal, Mining Congress journal, 75-86, July 1979.
- 21) Deurbrouck, A.W., Washing fine-size coal in a dense-medium cyclone, U.S.Bureau of Mines, RI 7982, 1974.
- 22) Deurbrouck, A.W., United States coal preparation practices , World Coal, vol.3, No: 5, 24-26, May 1977.
- 23) Deurbrouck, A.W., Developments in coal preparation technology in the United States , Coal Preparation and Analysis Laboratory Report,Pittsburgh Mining Operations, U.S.Department of Energy, 1978.

- 24) Deurbrouck, A.W., J.Hudy, Performance characteristics of coal washing equipment: Dense-medium cyclones , U.S. Bureau of Mines, RI 7673, 1973.
- 25) Deurbrouck, A.W., G.R.Smithson, Coal preparation in the Soviet Union, World Coal, vol.3, No: 5, 31-33, May 1977.
- 26) Draeger E.A., J.W.Collins, Efficient use of water only cyclones, Mining Engineering, 1215-1217, August 1980.
- 27) Ergun, S., E.Bean, Magnetic separation of pyrite from coals, U.S.Bureau of Mines, RI 7181, 1968.
- 28) Fine, A.H.M.Lowry, L.F.Power (et al), A proposed process for the desulfurization of finely divided coal by flash roasting and magnetic separation, IEEE Trans. on Magnetics, vol.MAG-12, No: 5, 523-27, Sept. 1976.
- 29) Gandrud, B.W., B.D.Coe, M.F.Thomas, Washability data on certain coal beds of Alabama with special reference to sulfur elimination, U.S.Bureau of Mines, RI 3157, 1932.
- 30) Gathen, R. Possibilities and limits of coal desulphurization , Coal Research Conference, Paper D.3. Vancouver, Oct. 1978.
- 31) Hake, W.D., Application of the Batac jig for processing fine coal, Mining Congress journal, 52-55, Sept.1976.
- 32) Hamilton, P.A.D.H.White, T.K.Matson, The reserve base of U.S.coals by sulfur content, 2. The Western States , U.S.Bureau of Mines, IC 8693, 1975.

- 33) International Handbook of Coal Petrography, 2 nd. Ed.,
(Engl. Ed). Intern. commission for coal petrology,
Centre National de la Recherche Scientifique, Paris,
1963.
- 34) Keskin, T., Türkiye enerji kaynaklarına genel bir bakış
ve yeni enerji kaynaklarının rolü, Yeni ve yenilenebi-
lir enerji kaynakları semineri, Ankara, 23-26 Kasım,
1981.
- 35) Lemke, K., Techniques for reduction of the sulphur content
of coal, Concentrates. No: 1, Sala International,
(Eng ed.), 11-15, 1976.
- 36) Leonard, J.W. Basic methods of removing sulfur from coal,
Report No: 61, Coal Research Bureau, Mineral Industries
Building, West Virginia University, May, 1970.
- 37) Leonard, J.W., D.Mitchell, Coal Preparation, (3 rd. ed.)
AIME, New York, 1968.
- 38) Lin, C.J., Y.A.Liu, D.L.Vives (et al), Pilot scale studies
of sulfur and ash removal from coals by high gradient
magnetic separation, IEEE Trans. on Magnetics,
vol. MAG-12, No: 5, 513-521, Sept. 1976.
- 39) Liu, Y.A., C.J.Lin, Assessment of sulfur and ash removal
from coals by magnetic separation, IEEE Trans. on
magnetics, vol. MAG-12, No: 5, 538-550, Sept. 1976.
- 40) Meyer, A.R., Coal Desulphurization, Marcel Dekker, Inc.,
New York, 1977.

- 41) Miller, K.J., Flotation of pyrite from coal: Pilot-plant study, U.S.Bureau of Mines, RI 7822, 1973.
- 42) Miller, K.J., Desulphurization of various Midwestern coals by flotation, U.S.Bureau of Mines, RI 8262, 1978.
- 43) Montgomery, W.J., Standard laboratory test methods for coal and coke , Analytical Methods for Coal and Coke Products, vol.1, 191-246, Academic Press, London,1978.
- 44) Özbayoğlu, G., Coal preparation practices in Turkey, World Coal, vol.6., No: 2, 22-24, Febr. 1980.
- 45) Ralston, O.C., Electrostatic separation of mixed granular solids, 1st. ed., Elsevier Publ. Co., Netherlands, 1961.
- 46) Roy, P., A.K.Mishra; D.Chandra, J.N.Chakrabarti, Microbial removal of sulfur from coal, Intern. Conference on Advances in Chem. Metallurgy, Bhabha Atomic Research center, Bombay. India, Abst. G9, 12, 1979.
- 47) Sinclair, J., Coal Preparation and Power supply at collieries, Sir Isaac Pitman and Sons Ltd., London, 1962.
- 48) Singewald, A., G.Friche, Process for electrostatic separation of pyrite from crude coal, Coal Age, 217, June 1976.
- 49) Sisti, D.C., Sulphur removal at the Beaver Creek Consolidated Coal Co.'s Stinson Plant, AIME Trans., 95-97, June 1975.

- 50) Taylor, S.R., K.J.Miller, R.E.Hucko, A.W.Deurbrouck New methods for coal desulfurization, VIII.Intern. Coal Preparation Congress, Paper B-2, Donetsk, U.S.S.R. 1979.
- 51) Terchick, A.A., Sulphur reduction through improved coal washing practices, Mining Congress Journal, 48-55, July 1971.
- 52) Thomson, R.D., Harold F.York, The reserve base of U.S.Coals by Sulfur Content, 1.The Eastern States, U.S.Bureau of Mines, IC 8680, 1975.
- 53) Trindade, S.C., J.B.Howard, H.H.Kolm (et al), Magnetic desulphurization of coal, Fuel, vol.53, 178-181, July 1974.
- 54) Türkiye'nin kömür envanteri, kimyasal-teknolojik değerler, MTA Enstitüsü ve TKİ Genel Müdürlüğü ortak çalışması, 1978.
- 55) Türk Standardları, TS 3037, Kömüre uygulanan yüzdürme-çökeltme deneyleri, Şubat 1978.
- 56) Volsicky, Z.J.Puncmanova, V.Hosek, F.Spacek, Bacteriological leaching-out of finely intergrown sulfur in coal: Method and Features VII.Intern. Coal Preparation Congress, Paper K-3, Avustralia, 1976.
- 57) Wandless, A.M., The occurrence of sulfur in British Coals, Journal Inst. Fuel, 32, s.258-266, 1959.

- 58) Warnke, W.E., A.W.Deurbrouck, Sulfur, moisture and ash reduction in coal preparation research , Mining Congress journal, Nisan 1977.
- 59) Yancey, H.F., S.W.Parr, Sulfur forms in coal distribution and control , Industrial and Eng. Chemistry, 16, 501-508, 1924.
- 60) Zarubin, L.S., The problem of the cleanability of coals in respect of sulphur, Coke and Chemistry, U.S.S.R., No: 7,8-12, 1963.
- 61) Zeilinger, J.E., Physical desulphurization of fine-size coals on a spiral concentrator, U.S.Bureau of Mines, RI 8152, 1976.
- 62) Zimmerman, R.E., Economics of coal desulfurization, Chemical Eng. Progress, vol.62, No: 10, 61-66, Oct.1966.