

**KÖMÜRDEN PİRİTİK KÜKÜRDÜN
UZAKLAŞTIRILMASI**

Kemal BİLİR

**Yüksek Lisans Tezi
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Cevher Hazırlama Bilim Dalı
1993
Danışman : Prof.Dr. Rifat BOZKURT**

KÖMÜRDEN PİRİTİK KÜKÜRDÜN UZAKLAŞTIRILMASI

Kemal BİLİR,

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisanüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.**

Danışman : Prof.Dr.Rifat BOZKURT

Şubat - 1993

**Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphanesi**

Kemal BİLİR'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı
" Kömürden Piritik Kükürdün Uzaklaştırılması" başlıklı bu
çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili
maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

..17../..2.../1993

Üye : Prof. Dr. Rifat BOZKURT
Üye : Yrd. Doç. Dr. Muammer Kaya
Üye : Doç. Dr. Hüseyin Özdeş

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
gün ve ..341.-13... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA
Enstitü Müdürü

ÖZET

Çevre kirliliği bugün, uygar toplumların en önemli sorunlarından biridir. Giderek artan endüstrileşme ile doğa çok çeşitli yönlerden kirletilmektedir. Çeşitli amaçlar için kalitesiz kömür kullanımı da kirletme nedenlerinden biridir.

Bu çalışmada, kömürün kullanılmadan önce, fiziksel zenginleştirme yöntemlerinden biri ile, piritik kükürt ve kül yapıcı safsızlıklarının uzaklaştırılması olanakları araştırılmıştır

Piritik kükürt, marn ve kömür arasındaki yoğunluk farklılığı nedeniyle, bu çalışmada Multi Gravity Separator kullanılmıştır. Deneylerde en iyi sonucu bulabilmek için tambur hızı, eğim açısı, yıkama suyu, genlik ve frekans gibi parametreler incelenmiştir.

Yapılan denemeler sonunda yanıcı kükürt miktarı, Konsantre-1 içinde % 1.32'den % 1.21, Konsantre-2 içinde ise % 1.32'den % 1.00'e ; kül miktarı da % 36.75'den % 26.15'e indirilmiş ve buna bağlı olarakta kalori değeri 4170 kcal/kg'dan 5098 kcal/kg'ne çıkarılmıştır.

Bu sonuçlar 0-18 mm boyutlu Tunçbilek Lavvar tüvenan kömürünün M.G.S. ile zenginleştirilebildiğini göstermektedir.

SUMMARY

Today, one of the most important problem of the civilized society is environmental pollution. With increased industrilization, nature is being polluted by various means. The use of low quality coals aggravates this problem.

In this study, desulphurization of pyritic sulfur and removal of ash content before burning the coal by a physical concentration method were investigated.

Due to the specific density difference among pyritic sulfur, marl and coal, Multi-Gravity Separator (M.G.S.) was used. The effects of the drum speed, tilt angle, wash water flowrate, shake frequency and shake amplitude on the metallurgical performance were determined.

In concentrate-1, pyritic sulfur content decreased from 1.32 % to 1.21 % and in concentrate-2 from 1.32 % to 1.00 %. Ash content dropped from 36.75 % to 26.15 % and calorific value increased from 4170 kcal/kg to 5098 kcal/kg.

As a result, this study showed that it was possible to concentrate 0-18 mm Tunçbilek run-of-mine coal with M.G.S.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarımın danışmanlığını kabul ederek, bana bu tezi hazırlama olanağı sağlayan ve çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen, değerli bilgilerinden ve görüşlerinden yararlandığım Sayın Hocam Prof.Dr. Rifat BOZKURT'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca değerli görüşleriyle ve önerileriyle bana yardımcı olan Sayın Hocam Doç.Dr. Hüseyin ÖZDAĞ'a ve Yrd.Doç. Dr. Yaşar UÇBAŞ'a teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca bana her konuda yardımcı olan aileme, hem deneylerin yapılması sırasındaki yardımlarından dolayı hem de tez süresince hiç bir fedakarlıktan kaçınmayan değerli eşim Ayla BİLİR'e en içten duygularım ile teşekkür ederim.

Kemal BİLİR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER	3
2.1. Tanımı	3
2.2. Mineralojisi	3
2.2.1. Mineraller	4
2.2.1.1. Kil mineralleri	4
2.2.1.2. Karbonatlar	4
2.2.1.3. Sülfürler, sülfatlar ve oksitler	5
2.2.1.4. Silikatlar	5
2.2.1.5. İz elementler	5
2.3. Petrografisi	6
2.4. Kömürlerin Oluşumu	7
2.5. Kömürlerin Sınıflandırılması	7
2.6. Kömürlerin Kullanım Yerleri	8
2.7. Linyitlerin Genel Özellikleri	9
2.8. Kömürün Kükürt İçeriği	10
2.8.1. İnorganik kükürt	10
2.8.1.1. Piritik kükürt	10
2.8.1.2. Elementel kükürt	11
2.8.1.3. Sülfatik kükürt	11
2.8.2. Organik kükürt	11

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3. TUNÇBİLEK İŞLETMESİNİN TANITIMI	13
3.1. Havzanın Jeolojik Yapısı Ve Stratigrafisi .	13
3.1.1. Yapısal jeoloji	13
3.1.2. Paleocoğrafya	15
3.2. Damar Yapısı Ve Özellikleri	15
3.3. Rezerv Durumu	18
3.4. İşletme Yöntemi	18
3.4.1. Yeraltı üretim yöntemi	18
3.4.2. Açık işletme yöntemi	18
4. KÖMÜR ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	20
4.1. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri	20
4.1.1. Gravite ayırma	21
4.1.1.1. Ağır ortamla zenginleştirme	22
4.1.1.2. Jig ile zenginleştirme	23
4.1.1.3. Ağır ortam siklonu	23
4.1.1.4. Feldspatlı jigler	24
4.1.1.5. Sallantılı masalar	24
4.1.1.6. Sabit oluklar	24
4.1.1.7. Multi gravity separator ...	25
4.1.2. Yüzey özellik farkına göre ayırma ..	26
4.1.2.1. Flotasyon	26
4.1.2.2. Kolon flotasyonu	28
4.1.2.3. Yağ aglomerasyonu	28
4.1.2.4. Flokülasyon	29
4.1.3. Manyetik ayırma	31
4.1.4. Elektrostatik ayırma	32
4.2. Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri	32
4.2.1. Çeşitli gaz ortamlarında ısıtma	33
4.2.2. Yaş kimyasal yöntemler	33

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5. ZENGİNLEŞTİRME ÖNCESİ İŞLEMLER	35
5.1. Numunenin Alınışı	35
5.2. Kimyasal Analizler	35
5.2.1. Kül tayini	37
5.2.2. Kalori ve yanıcı kükürt tayini	37
5.3. Yoğunluk Tayini	38
5.4. Numunenin Hazırlanışı	38
6. ZENGİNLEŞTİRME DENEYLERİ	43
6.1. M.G.S. ile Yapılan Deneyler	43
6.1.1. Tambur hızının değiştirilmesi	47
6.1.2. Eğimin açısının değiştirilmesi	48
6.1.3. Yıkama suyunun değiştirilmesi	49
6.1.4. Genliğin değiştirilmesi	54
6.1.5. Frekansın değiştirilmesi	61
6.2. İki Kademeli M.G.S. Deneyleri	65
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR DİZİNİ	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Tunçbilek kömür havzası stratigrafi ve litolojisi	14
3.2. Tunçbilek kömür stampı ve özellikleri	17
5.1. İnce kömür lavvarı akım şeması	36
5.2. 0-18 mm Lavvar tüvenan kömürünün boyuta göre miktar ve kül dağılımı	41
5.3. Merdaneli kırıcı ürününe ait elekaltı eğrisi/.	42
6.1. Multi Gravity Separator'un görünüşü	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Tunçbilek havza stratigrafisi	16
3.2. Havzanın rezerv durumu	18
4.1. Yaş gravite ayırma yöntemleri	22
5.1. 0-18 mm Lavvar tüvenan kömürün kimyasal analiz sonuçları	35
5.2. Ürünlerin yoğunluk değerleri	38
5.3. 0-18 mm Lavvar tüvenan kömürüne ait elek analiz sonuçları ile kül ve kalori değerlerinin gösterimi	40
5.4. Merdaneli kırıcı ürününe ait yaş elek analiz sonuçları ile kümülatif elekaltı ve eleküstünün gösterimi	42
6.1. M.G.S.'in çalışma parametreleri	44
6.2. 1.5 litre/dakika'lık yıkama suyuna ait deney sonuçları	51
6.3. 8. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları .	51
6.4. 2 litre/dakika'lık yıkama suyuna ait deney sonuçları	52
6.5. 9. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları .	52
6.6. 3 litre/dakika'lık yıkama suyuna ait deney sonuçları.....	53
6.7. 10. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	53
6.8. 10 mm'lik genliğe ait deney sonuçları	55
6.9. 14. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	55
6.10. 15 mm'lik genliğe ait deney sonuçları	56
6.11. 15. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	56
6.12. 20 mm'lik genliğe ait deney sonuçları	57
6.13. 16. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	57
6.14. 10 mm'lik genliğe ait deney sonuçları	58
6.15. 17. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	58
6.16. 15 mm'lik genliğe ait deney sonuçları	59
6.17. 18. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	59
6.18. 20 mm'lik genliğe ait deney sonuçları	60
6.19. 19. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	60

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.20. 4 cps'lik frekansa ait deney sonuçları	62
6.21. 20. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	62
6.22. 4.8 cps'lik frekansa ait deney sonuçları	63
6.23. 21. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	63
6.24. 5.7 cps'lik frekansa ait deney sonuçları	64
6.25. 22. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	64
6.26. İki kademeli ayırmaya ait deney sonuçları ...	66
6.27. 23. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	66
6.28. 23 nolu deneyin Konsantre-1 ürününe ait deney sonuçları	68
6.29. 24. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	68
6.30. 23 nolu deneyin Konsantre-2 ürününe ait deney sonuçları	69
6.31. 25. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları	69
6.32. İki kademe sonundaki birleştirilmiş ürünlere ait sonuçlar	70

1. GİRİŞ

Ülkemizde kamuoyu son yıllarda artan bir duyarlılıkla çevre kirliliği ve nedenleri üzerinde durmaktadır. Çevre kirliliğinin en önemli kaynaklarından biri sanayide, enerji üretiminde ve ısınmada kalitesiz kömür kullanımımızdır.

Kömürün kirletici elemanları olan kül ve piritik kükürdün, mümkün olduğunca kaynağında ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu kirleticilerin kullanım alanlarına kadar taşınmalarının önlenmesi bile yeterince ekonomik fayda sağlayacaktır.

Kömürdeki kükürtlü bileşikler iki ana grupta toplanmaktadır. Bunlar inorganik ve organik kükürttür (Özbay-oğlu, 1986; Capes, 1973). İnorganik kükürtlü bileşikler; demir sülfürler (FeS_2 , FeS), sülfatlar ($FeSO_4$, $CuSO_4$) ve elementel kükürt(S_n)'lerden meydana gelmektedir. İnorganik kükürtlü bileşiklerin büyük bir kısmını pirit oluşturmaktadır. Kömürdeki inorganik maddelerin üç ana kaynaktan ileri geldiği bilinmektedir (Nakoman, 1985).

1. Kömürleri meydana getiren bitkilerde bulunan ve kömürün bileşimine giren maddeler,

2. Kömürün çatlak ve yarıklarına, sonradan yerleşen mineraller,

3. Kongresyonlar halindeki mineral maddeler.

Organik kükürtlü bileşiklerin kaynağının bitkilerde bulunan ve kükürt ihtiva eden aminoasitler olduğu bilinmektedir (Lawry, 1945; Atak'dan 1988). Organik kükürtlü bileşikler kömür içersinde düzenli bir şekilde dağılmakta, fakat tayin edilmeleri inorganik kükürtte göre daha zor olmaktadır.

Ülkemizde üretilen kömürün büyük bir kısmı enerji sektöründe kullanılmaktadır. Türkiye'nin satılabilir linyit üretimi 48.620.000 ton'dur. Bu üretimin % 62.6'sı

termik santrallerde, % 17.8'i sanayi sektöründe, % 19.6'sı da ev yakıtı olarak kullanılmaktadır (Enerji İstatistikleri, 1990).

Kömürlerin gerek termik santrallerde, gerekse endüstri ve ısınmada enerji kaynağı olarak kullanılmaları sırasında çevreyi mümkün olan en düşük düzeyde kirletmelerini sağlamak amacıyla, kül ve piritik kükürtünün uzaklaştırılarak kalitelerinin iyileştirilmesi zorunludur.

Kömürdeki piritik kükürdün uzaklaştırılması üç ana metotla gerçekleştirilmektedir (Küçükbayrak ve Kadioğlu, 1982).

1. Kömürün yakılmadan önce kükürdünün giderilmesi,
2. Kömürün yakılması sırasında kükürdün tutulması,
3. Kömür yakıldıktan sonra, baca gazındaki kükürtlü bileşiklerin tutulması.

Bu çalışma, kömürdeki pirit'e bağlı kükürdün, kömürün yakılmadan önce giderilmesi metodunun uygulanması üzerinedir.

Çalışma ürünü olarak Tunçbilek 0-18 mm lavvar tüvenan kömürü kullanılmıştır.

Kömürde kalite bozucu inorganik birimler olarak pirit ve kömürün kazanılması sırasında kömüre karışan marn görülmüştür. Bu birimlerin kömür ile arasındaki yoğunluk farklılığı nedeniyle, gravite zenginleştirilmesi uygun görülmüş ve kömürün temizlenmesinde Türkiyede ilk defa uygulanacak olan Multi Gravity Separator (MGS) kullanılmıştır.

2. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1. Tanımı

Havanın oksijeni ile doğrudan doğruya yanabilen, serbest veya bileşim halinde % 55-95 arasında karbon içeren organik kökenli katı kayalara kömür adı verilir. Kömürler yandıklarında geriye değişik miktar ve bileşimde kül bırakırlar. Sert, yumuşak, mat ve parlak olabilirler (Nakoman, 1985).

2.2. Mineralojisi

Kahverengiden siyaha kadar değişik renklerde görülen kömürler, koyu sarıdan siyaha kadar değişen çizgi rengine sahiptirler. Karbon miktarına bağlı olarak toz rengi koyulaşır veya açılır.

Kömürün inorganik bileşenleri, mineraller ve iz elementlerdir. Kömürlerde gözlenen mineraller çokluk sıralarına, kökenlerine ve bulunuş oranlarına göre sınıflanırlar.

Kömürün mineral bileşenleri ve iz ögeleri üç kaynaktan gelebilirler (Özpeker, 1986):

- 1- İlksel ögeler ve mineraller,
- 2- Birincil mineraller,
- 3- İkincil mineraller.

İlksel ögeler ve mineraller, kömürleşen bitkilerin yapısına giren minerallerdir. Bu ögeler kömürleşme evrelerinde biyokimyasal ve kimyasal tepkimelerin etkisiyle bileşiklere çevrilir ve göreceli olarak zenginleşirler.

İlksel ve birincil evre mineral ve ögelerden değişen koşullarda duraylı kalamayanlarla, yüzeysel veya hidrotermal kökenli akışkanlara bağlı ögeler, kömür katmanlarının kırıkları, çatlakları ve gözenekleri içinde yeni mineral

bileşenleri oluşturabilirler. Bunlar ikincil mineralleşmelerdir. İkincil mineral bileşenler, birincil kökenlilerden kolayca ayırt edilebilirler.

2.2.1. Mineraller

Kömür içersinde gözlenen en önemli mineral grupları killeri, karbonatlar, sülfürler, sülfatlar, oksitler, silikatlar ve diğerleridir. Diğerlerinin toplamı % 1'in altındadır (Özpeker, 1991).

2.2.1.1. Kil mineralleri

En sık rastlanan mineral grubudur. Genelde minerallerin % 60-80'ini oluştururlar. Kömürle arakatmanlıdır ve katmanların kalınlığı 1-2 mm.'den birkaç cm.'ye ulaşabilirler. % 20'ye kadar kil içerenlere killi kömürler, % 20-60 kil içerenlere karboarjilit adı verilir. Daha fazla kil içeriklilere kömürlü kil denilir.

Kömür içinde bulunan kil mineralleri illit, serisit, kaolinit, leverrierit ve montmorillonittir. Mikroskopta koyu gri olarak görülen bu kil minerallerinin kökenleri hakkında bazı görüşler vardır. En yaygın olanı, bu minerallerin hava veya su yoluyla taşınıp çökeldikleri şeklindeki görüştür (Nakoman, 1985).

Killerin içinde bulunan zirkon, sanidin ve plajiyoklas kristallerinden kömürlerin oluşum yaşları saptanabilir.

2.2.1.2. Karbonatlar

Birincil ve ikincil kökenli olabilirler. Birincil olanlarda en yaygın olan karbonat, siderittir. Siderit ışınal veya yuvarlak dokuludur. Dolomit ise deniz ilerleme süreçlerinde gelişir. Kalsit ve ankerit daha çok ikincil kömürleşme evresinde kırık ve çatlaklarda gelişir.

2.2.1.3. Sülfürler, sülfatlar ve oksitler

En yaygın olarak bilinen pirittir. Oldukça küçük yuvarlaklar halinde gözlenir. Su altında oluşan kömürlerde oranı artar. Eşoluşumlu olduğu zaman kömür katmanlaşmasına uyumlu yaygılar yapar. Genelde melnikovitten türer, markasit ender bulunur ve ikincil olabilir. Diğer sülfürler olarak galenit, sfalerit ve kalkopirit bulunabilir.

Kömürlerde sülfatlar halinde kükürt az bulunmaktadır. Daha çok kömürün hava ile temas eden kısımlarında sülfat (CaSO_4 , BaSO_4 , FeSO_4) halinde kükürte rastlanılmaktadır.

Limonit en sık gözlenen demir oksit mineralidir. Lepidokrosit ve götit kristallerine rastlanır.

2.2.1.4. Silikatlar ve diğer mineraller

Killerden sonra en önemli silikat kuvarstır. Kuvars taşınmış malzeme ise, kenarları yuvarlanmış olarak bulunur. Bataklık suyunda çözünmüş silisin çökelimi ile oluşmuşsa, kriptokristalin veya kalsedon şeklinde bulunur. Bitkisel kökenli de olabilir. Kuvarsca zengin arakatmanlı kömürlerde kuvars katmanları, kömür katmanlarının karşılıştırılmasında bir kriter olabilir.

Diğer mineraller arasında klorür, sülfat ve nitrat tuzları bulunur. Jips genelde en çok rastlanılanıdır. Çoğunlukla ikincil kökenlidirler. Çatlak ve kırık dolgusu olarak görülürler.

2.2.1.5. İz elementler

Kayaç ve kömürler içersindeki miktarı % 0.1'den daha az olan elementler, iz elementler olarak bilinirler. İz elementler organik veya inorganik yapıcılara bağlıdır.

Sn, Pb, Mn, Y, Sc, Zr, La daha çok inorganik; Ga, In, Sr ve B organik kökenlidirler.

Kömür içindeki iz elementlerin dağılım ve oranlarının bilinmesi iki açıdan önemlidir:

- 1- Ekonomik değerlendirilebilme,
- 2- Kömür teknolojisi

U, Ga, Ge gibi bazı iz elementler kömürlerde veya kül-lerinde ekonomik boyuta ulaşabilirler ve yan ürün olarak değerlendirilebilirler (Bürküt vd., 1991). İz elementlerin varlığı kömür teknolojisinde sorunlar çıkartabilir. Örneğin, fosfor içeriği metalurjik kok üretiminde istenmeyen elementtir.

2.3. Petrografisi

Kömür organik ve inorganik bileşenlerden oluşur. Kömürün makroskobik organik bileşenlerine Litotip, mikroskobik organik bileşenlerine ise Maserale adı verilmektedir. Kimyasal ve fiziksel özellikleri çok değişken olan maseraller, kristalize değildir ve ancak mikroskop altında ayırt edilebilirler (McClung and Geer, 1979; Nakoman, 1985).

Kömürler makroskobik olarak yataklanmaya dik kesitlerde parlak, yarı parlak, mat veya ince bantlar halindedir. Çıplak gözle görülebilen ve litotip adı verilen bu bantlı bileşenler, kömürlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimi gösterir.

Uluslararası Kömür Petrolojisi Komitesi tarafından kabul edilen Stopes-Heerlen sistemine göre taşkömürleri vitren, klaren, düren ve füzen olmak üzere dört ayrı litotip içerir. Linyitler ise hüminit, liptinit ve inertinitten meydana gelir (McClung and Geer, 1979).

2.4. Kömürlerin Oluşumu

Kömürler, bitkilerin doğa olayları ile ya olduğu yerde yada taşınarak bir havzada depolanıp, fiziksel ve kimyasal faktörlerin etkisiyle kömürleşme denilen olay sonucunda oluşurlar. Linyitlerdeki bitki artıklarını gözle görmek mümkündür. Mikroskop altında bitümlü kömürlerde polen, spor ve reçine parçaları ile bitkilerin temel yapı maddesi olan selüloz ($C_6H_{10}O_5$)n izlenmektedir (Kemal,1987).

Kömürleşmede etken olan fiziksel ve kimyasal olaylar arasında bakteri ve mantar hücrelerinin faaliyetleri, oksitlenme, redüklenme, hidroliz ve damıtım ile su ortamında ısı ve basınç etkileri sayılabilir. Fiziksel değişimlerden başlıcaları rengin koyulaşması, parlaklık, sertlik, sıkılık ve kırılmanın artmasıdır. Kimyasal değişimler ise esas olarak rutubet, karbon, hidrojen ile oksijen bileşiklerinden oluşan uçucu maddelerin kısmen kaybolarak azalması, geri kalan maddelerin molekül yapılarının değişmesi, sabit karbon ve kül oranlarının artması şeklindedir.

2.5. Kömürlerin Sınıflanması

Kömürler kimyasal, biyolojik-petrografik ve genetik olarak sınıflandırılır (Nakoman, 1985).

Kimyasal Sınıflama :

- 1- Turba
- 2- Linyit
- 3- Taşkömürü
- 4- Antrasit

Biyolojik ve Petrografik Sınıflama :

- 1- Kütin kömürleri
- 2- Linyo-selülozik kömürler
- 3- Karışık kömürler
- 4- Alg kömürler

Jenetik Sınıflama

- 1- Turbalar
- 2- Linyitler
- 3- Taşkömürleri

2.6. Kömürlerin Kullanım Yerleri

Tane boyutu, kömürlerin kullanımında önemli bir faktördür. Çeşitli boyut grubundaki kömürler farklı amaçlar için kullanılırlar. Örneğin, direkt olarak üretim boyutunda evlerde ve termik santrallerde kullanılan kömürlerin 125 mm üstü boyut grubu elle yakılan ocaklarda, 18-50 mm arası boyut grubu küçük sanayi ocakları ve evlerde yakıt olarak, 18 mm altı boyut grubu ise sanayi sektöründe pulverize yakıt olarak kullanılır (Ateşok, 1986).

Boyutun yanı sıra kül, kükürt, nem, kalori, öğünebilirlik, serbest şişme indeksi gibi parametrelerde kömürün kullanım yerini belirlemede önemli olan değerlerdir.

Kömür, termik santraller ve evler dışında, sanayi sektörünün değişik birimlerinde de önemli ölçüde kullanılmaktadır.

Çimento sanayinde, son yıllarda kömür kullanımını oldukça önem kazanmış ve yaygınlanmıştır. Çünkü, üretilen 1 ton çimento başına düşen enerji maliyeti, fuel-oil yerine kömür kullanılırsa ortalama % 50 azalmaktadır.

Çimento sanayinde kullanılabilecek kömürlerin kalorifik değerinin 4500-4800 kcal/kg, külünün % 20-30 ve neminin ise % 25 civarında olması istenir (Kural, 1991).

Şeker sanayinde kömür, pancardan şeker elde edilirken çeşitli kademelerde gerekli olan buharın elde edilmesinde

kullanılır. Bu sanayide kömürler, yakma sistemine göre toz veya parça halinde tüketilmektedir. Ayrıca kömürün neminin ve külünün az olması istenir.

Seramik sanayinde, kül ergime derecesi yüksek olan kömürler seramik ve tuğla yapımında kullanılırlar. Burada kullanılacak kömürlerin dar tane aralığında sınıflandırılmış olması ve yüksek uçucu madde içermesi istenir.

Bunlara ek olarak, koklaşabilir taşkömürü azlığı nedeniyle kok sektöründe katkı maddesi ve ayrıca sıvı ve gaz ürünler elde edilerek petrolün yerine kullanılma olanakları vardır.

2.7. Linyitlerin Genel Özellikleri

Linyitler, taşkömüründen daha genç ve turbalardan daha yaşlı olan organik çökellerdir. Renkleri kahverengi ile siyah-kahverengi arasında değişmektedir. Sabit karbon içerikleri turbalara göre çok, taşkömürlerine göre ise azdır. Dokuları amorf, ağaçsı veya flamanlı olabilir. Su miktarı % 8 ile % 65 arasında değişir. Çoğunlukla % 5'ten (genellikle ortalama % 15 civarındadır) daha çok reçine ve balmumu içerirler. Külsüz kuru kömürde, serbest karbon miktarı % 75'ten fazladır. Oksijen oranı ise çoğunlukla % 15'i geçer (Nakoman, 1985).

Linyitler potasyum hidroksit, sodyum hidroksit gibi alkalilerde ve amonyakta eriyerek rengi karakteristik kahverengi olan bir sıvı veya hümik asit tuzlarının dispersiyonlarını meydana getirirler. Yüzde onluk azotik asitte ihtiva ettikleri linyitin gösterdiği reaksiyonla kırmızı renkli bir eriyik oluştururlar. Serbest halde selüloza sahip olmadıklarından, Fehling sıvısıyla reaksiyona girmezler.

G.L.f. Tunçbilek Bölgesi Linyitleri, koklaşmaya elverişli değildir (Kemal, 1982; Madley, 1982). Bölgedeki kömürlerde kükürt miktarı genelde düşük olmasına rağmen, bölgenin bazı yörelerinde kükürt miktarının % 5'e kadar yükseldiği görülmektedir.

2.8. Kömürün Kükürt İçeriği

Dünyadaki kömür yatakları, oluşum ortamının etkisine ve çeşitlerine göre değişik oranlarda kükürt içerirler. Dünya linyitlerinde ortalama oran % 0.3-6, taşkömürlerinde % 0.6-3'tür. Türkiye linyitlerinin ortalama kükürt içeriği % 0.5 ile % 10.5 arasındadır. Kömürdeki kükürt, inorganik ve organik kükürt olmak üzere iki grupta incelenir.

2.8.1. İnorganik kükürt

Kömürün içerdiği inorganik kükürtün büyük kısmı, disülfür halinde demire bağlanmış olarak bulunmaktadır. Geri kalan kısmı ise Ca, Fe, Na ve Mg metallerinin sülfat tuzları halindedir.

2.8.1.1. Piritik kükürt

Piritik kükürt, kömürde bulunan pirit ve markasitten meydana gelmektedir. Bu iki mineralin kimyasal bileşimleri aynı olduğu halde kristal yapıları farklıdır. Pirit kübik, markasit ise ortorombik yapıda kristalleşmektedir. Pirit, markasite göre daha çok bulunduğu için genellikle piritik kükürt deyimi kullanılmaktadır (McClung and Geer, 1979). Kömür içerisinde pirit üç şekilde bulunur (Morrison, 1981).

1- 150 mm kalınlığında ve birkaç yüz mm uzunluğundaki dar damarlar halinde,

2- Nodüller halinde. Bunlar oktahedral kristal toplulukları olan framboidlerden meydana gelir. Bu nodüllerin çapları yaklaşık olarak 10-20 mikron arasındadır.

3- Ayrı kristaller halinde. Bunların çapları 1-40 mikron arasında olmasına rağmen, kristallerin büyük bir çoğunluğu 1-2 mikron çapındadır. Piritin bu formu fiziksel zenginleştirme metodlarıyla tamamen temizlenemez. Çünkü kömürü bu boyuta öğütmek ekonomik değildir.

2.8.1.2. Elementel kükürt

Elementel kükürt, kömürde çok seyrek olarak bulunur. Yapılan bazı çalışmalar, kömürde % 0.15'lere varan oranlarda elementel kükürt olduğunu göstermiştir. Diğer kükürt türlerine göre önemsiz miktarlarda olduğundan kükürten arındırmada dikkate alınmamaktadır (McClung and Geer, 1979).

2.8.1.3. Sülfatik kükürt

Kömürlerde sülfatlar halinde kükürde az rastlanmaktadır. Daha çok kömürün hava ile temas eden kısımlarında sülfatik kükürde rastlanılmaktadır. Sülfatik kükürt suda çözündüğünden, kömürün yaş yöntemlerle zenginleştirilmesinde bir sorun yaratmamaktadır.

2.8.2. Organik kükürt

Kömürde hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunan kükürde, organik kükürt adı verilir. Yapılan çalışmalar, organik kükürdün toplam kükürdün % 11.4-97.1'ini oluşturduğunu göstermiştir (McClung and Geer, 1979).

Kömürlerde bulunan başlıca organik kükürt bileşikleri şunlardır (Morrison, 1981; Chuang et al, 1983):

1- Alifatik veya aromatik tiyoller (merkaptanlar, tiyofenoller) : R-SH, Ar-SH

2- Alifatik, aromatik veya karışık sülfidler (tiyo-eterler) : R-S-R, Ar-S-Ar, R-S-Ar

3- Alifatik, aromatik veya karışık disülfidler (ditiyoeterler) : R-S-S-R, Ar-S-S-Ar, R-S-S-Ar

4- Tiyofen tipin halkalı bileşikleri (dibenzotiyofen)

Organik kükürt bünyeye bağlı olduğundan kimyasal bağlar kırılmadan kömürden uzaklaştırılması mümkün değildir. Fiziksel zenginleştirme yöntemleriyle kömürdeki kükürt miktarı bünyedeki organik kükürt seviyesine kadar indirilebilmektedir.

3. TUNÇBİLEK İŞLETMESİNİN TANITIMI

3.1. Havzanın Jeolojik Yapısı Ve Stratigrafisi

Tunçbilek kömür havzasında en yaşlı birim olarak paleozoik yaşlı metamorfik şist ve kristalize kireç taşları ile bu birim üzerinde diskordan olarak yaşlı ultrabazik kayalar bulunmaktadır. Tüm bu birimler Neojen yaşlı birimlerin temelini oluşturmaktadır. Temel üzerinde diskordan olarak bulunan Neojen, Miosen (Tunçbilek Serisi) ve Pliosen (Domaniç Serisi) ile temsil edilmektedir (Şekil 3.1). Miosen; kumtaşı-konglemera (m1), marn (m2), kireçtaşı (m3a), kumtaşı-konglemera (m3b) olmak üzere dört birime ayrılmıştır. Pliosen ise; tüfit (Pl3), kireçtaşı (Pl2), bazalt (V), kumtaşı (Pl4) olmak üzere dört birime ayrılmıştır. Miosen ve Pliosen arasında herhangi bir diskordans görülmemiştir. Havzada Miosen yaşlı linyit oluşumları mevcuttur. Kumtaşı-konglemera birimi içerisinde görülen merceksel linyit oluşumlarının devamlılıkları yoktur. Marn biriminin alt seviyelerinde görülen linyit oluşumu havzanın işletilebilir önemli yatağını meydana getirmektedir. Kumtaşı-konglemera ve marn birimlerinin içerisinde de yer yer ekonomik değeri olmayan merceksel linyit oluşumları mevcuttur.

3.1.1. Yapısal jeoloji

Neojende yapısal olarak görülen ve önemli olabilecek faylanmalara rastlanılmaktadır. Genelde havzanın belirli aralıklarla çökmesine bağlı olarak eğim atımlı normal faylar gelişmiştir.

Sahanın tektoniğine yönelik rezistivite ve kömürlü zonun tavan kotuna göre yapılan yapı-kontur haritalarında fayların genellikle Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda geliştikleri gözlenmiştir. Tabaka eğimleri genelde 5° - 20° eğimle Kuzeydoğu'ya doğrudur.

Başlangıçta Neojen havzasında sakin olan tektonik faaliyetler, marn (m2) biriminin çökmesinden sonra Miosen sonlarına doğru biraz hareketlenmiştir. Miosen sonlarındaki hareketler ise Tunçbilek serisi tabakalarının eğim açılarını yükseltmiş, yeni faylanmalar meydana gelmiştir. Faylanmalar nedeniyle kırık zonlardan çıkan kükürtlü ve silisli sular nedeniyle havza ortasındaki kömürlerin (Beke ve Ömerler sahası) kükürt oranı artmış ve silisli ara kesmeler oluşmuştur. Miosen sonlarında başlayan volkanik faaliyet nedeniyle genişleyen havzada Domaniç serisi birimleri çökmüştür. Pliosen birimleri, Miosen birimlerine göre daha az tektonik hareketlere maruz kalmıştır (Çizelge 3.1).

3.1.2. Paleocoğrafya

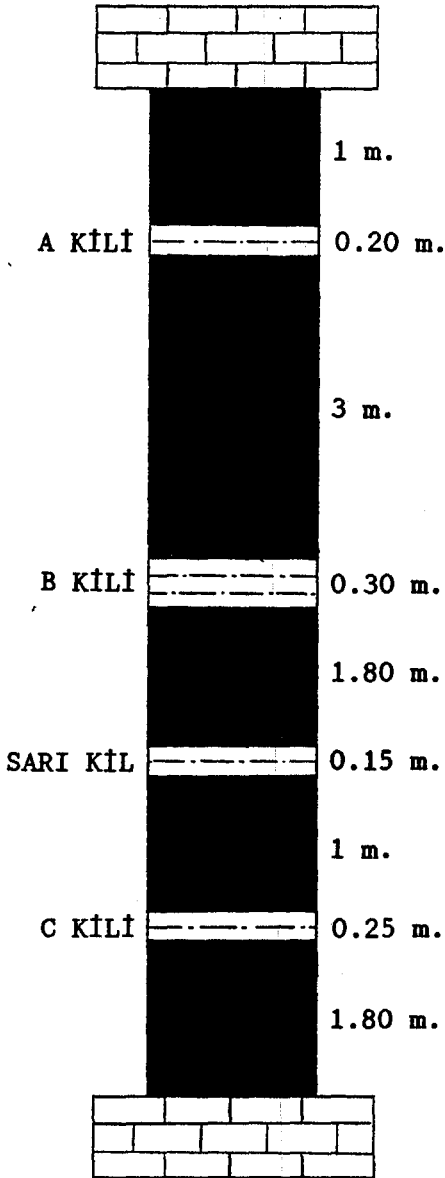
Önceleri kara halinde olan ve şiddetli bir erozyonun altında kalan havza, Alt Miosende bazı yerlerde ılıman ve yağışlı iklim sonucu tatlı su istilasına uğrayarak bataklık ortamı ve buna bağlı olarak da linyit oluşmuştur. Daha sonra gölün derinleşmesi sonucu bataklık ortamı ortadan kalkmış, m2 ve m3a birimleri çökmüştür. Sonraları azalan göl derinliğine ilaveten, sıcak ve kurak iklimin etkisiyle kireçtaşları (Pl4) oluşmuştur. Pliosenden sonra yükselerek kara durumuna geçen havza, aşınma dönemine girmiş ve bugünkü duruma gelmiştir.

3.2. Damar Yapısı Ve Özellikleri

Kömürün tavan ve taban taşı marn'dır. Genel olarak taban taşının basınç dayanımı 300-700 kg/cm², tavan taşının basınç dayanımı 500-600 kg/cm² arasındadır.

Genel eğimi 10° ve ortalama kalınlığı 5-11 m. olan ana linyit damarının içinde değişik kalınlıkta tabaka ve adese halinde ara kesmeler mevcuttur. Bunların en önemlileri yu-

karıdan aşağıya doğru; A kili, B kili, Sarı kil ve C kili olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.2). Tavan ve taban kömürleri temiz-az kirli, orta kömür ise az-orta kirli niteliktedir.



TABAKA ADI	BASINÇ DAYANIMI kg/cm ²
Tavan taşı (marn)	500-600
Tavan kömürü	Ort : 120 Max : 250
Orta Kömür	< 350
Taban Kömürü	Ort : 120 Max : 250
Taban taşı (Marn)	300-700

Şekil 3.2. Tunçbilek kömür stampı ve özellikleri

3.3. Rezerv durumu

Çizelge 3.2' de 1990 yılı Ocak ayı itibariyle havzanın rezerv durumu belirtilmiştir:

Çizelge 3.2. Havzanın rezerv durumu

Hazır Rezerv	14.434.000 ton
Görünür Rezerv	249.454.000 ton
Muhtemel Rezerv	310.770.000 ton (Domanıç serisi dahil)

Yıllık 7.000.000 ton üretim düşünüldüğünde muhtemel rezerv ile birlikte havzanın ömrü 80 yılın üzerinde hesaplanmaktadır.

3.4. İşletme Yöntemi

Tunçbilekte üretim, yeraltı işletme ve açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır.

3.4.1. Yeraltı üretim yöntemi

Yeraltı üretim yöntemi olarak, dönümlü uzun ayak blok göçertme uygulanmaktadır. 8-10 m kalınlığındaki kömür damarının üstte ve altta bulunan ikişer metrelik dilimleri tavan ve taban ayak ile üretilmekte, arada kalan kısım ise taban ayağının göçüğünden alınmakta, ayak içi zincirli konveyöre yüklenmektedir. Ayak uzunlukları 75 ile 150 m. arasında değişmektedir.

3.4.2. Açık işletme yöntemi

Toplam tüvenan üretiminin % 75' lik kısmının sağlandığı açık işletmede üretim iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Bunlar; dekapaj ve üzeri açılmış kömürlerin

kazı-yükleme ve taşınmasıdır. Dekapaj işlemleri shovel ekskavatör-kamyon ve dragline yöntemi olmak üzere iki sistem halinde yapılmaktadır.

4. KÖMÜR ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Kömürün bünyesinde bulunan safsızlıklardan en zararlı olanı kükürttür. Kükürt, kömürde inorganik ve organik olmak üzere iki türde bulunmaktadır. İnorganik kükürt kömürün bünyesinde, piritik, elementel ve sülfatik kükürt şeklinde olabilmektedir.

Kömürden uzaklaştırılması istenen ve toplam kükürdün ortalama yarısını oluşturan piritik kükürt, kömürde bulunan pirit ve markasitten kaynaklanmaktadır. Markasit, kömür içersinde piritten daha az bulunmaktadır. Bu nedenle her ikisi içinde piritik kükürt deyimi kullanılmaktadır. Pirit makroskobik olarak damarlar, merccekler ve nodüller, mikroskobik olarak ince damarlar veya jel pirit (melnikovit) şeklinde kömürün bünyesinde yer almaktadır (Önal, 1978).

Yapılan çeşitli araştırmalar (Birön, 1982; Önal vd., 1990; Atak ve Güney, 1988; Kemal ve Semerkant, 1984), Türk kömürlerinin yüksek oranda kükürt içerdiklerini ortaya koymuştur. Kükürt yanabilen bir madde olduğundan kömürün kalorifik değerini azaltıcı bir etki yapmaz. Ancak çevre açısından en büyük kirleticidir. Ayrıca yanma odası, kazan ve borularda korozyif bir etki yapar. Bu nedenlerden dolayı yakma işleminden önce kömürden uzaklaştırılması gerekmektedir.

Kükürdün ve diğer safsızlıkların kömürden uzaklaştırılması için uygulanan yöntemleri fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki ana grup altında toplamak mümkündür.

4.1. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri

Kömürden kükürdün uzaklaştırılması için uygulanan fiziksel yöntemler ile, sülfatik kükürt yıkama işlemleri sırasında giderilmekte ve herhangi bir sorun yaratmamakta-

dır. Organik kükürt ise kömürün hidrokarbon yapısına bağlı olduğundan, fiziksel zenginleştirme yöntemleriyle kömürden uzaklaştırılamamaktadır.

Fiziksel yöntemlerle kömürden uzaklaştırılmasına çalışılan kükürt, toplam kükürdün büyük bir kısmını oluşturan piritik kükürttür. Kömürle arasındaki büyük yoğunluk farkı ağır ortam ayırıcıları, jigler ve sallantılı masalar gibi gravite zenginleştirme yöntemlerinin uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Son zamanlarda M.G.S. (Multi Gravity Separator)'de, kömürün gravite zenginleştirilmesinde kullanılmaya başlamıştır.

Çok küçük taneli, büyük olasılıkla bakteri kökenli piritler, organik kükürt gibi kömürün asıl yapısı içinde kalmakta ve fiziksel zenginleştirme yöntemleriyle kömürden uzaklaştırılamamaktadır. Kömürdeki bu tip piritik kükürdün uzaklaştırılmasında yüzey özelliklerine göre ayırım yapan flotasyon, kolon flotasyonu, seçmeli aglomerasyon ve flokülasyon kullanılmaktadır.

4.1.1. Gravite ayırma

Kömür zenginleştirme tesislerinde uzun zamandan beri kullanılan bu yöntemler, kuru veya yaş olarak uygulanabilir.

Kuru yöntemler genellikle su probleminin olduğu yerlerde zorunlu hallerde kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde en büyük problemi oluşturan sebepler, toz ve nemdir. Yaş yöntemler ile karşılaştırıldıklarında verimleri de oldukça düşüktür.

En yaygın olarak kullanılan yaş gravite zenginleştirme yöntemleridir. Bunlarda kullanılan başlıca yöntem ve araçlar ile uygulama boyutları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yaş gravite ayırma yöntemleri

Uygulama Boyutu	Kullanılan Yöntem/Araç Adı
İri Kömür (+0.5 mm)	Ağır ortam ayırması Jigler
İnce Kömür (-0.5 mm)	Ağır ortam siklonu Feldspatlı jigler Sallantılı masalar Sabit oluklar Multi gravity separator

4.1.1.1. Ağır ortamla zenginleştirme

Halen lavvarlarda en yaygın yöntem olarak kullanılan ağır ortam ayırması, kömür içersindeki kül yapıcı inorganik maddeleri ve aynı zamanda piritik kükürdü de uzaklaştırma kapasitesi olan bir yöntemdir.

Yoğunluğu, temiz kömürde olması istenilen kül yüzdesine göre ayarlanmış ağır ortamda, kömürün yüzmesi ve şiş ile piritik kükürdün batması sağlanarak zenginleştirme yapılır. Ağır ortamın hazırlanmasında, temizlenme ve yeniden kazanılma kolaylığı ve ucuzluğu nedeniyle genellikle manyetit süspansiyonu tercih edilir (Burt, 1984). Sistem genelde basittir. Fakat ürünlerin ortamdaki alınması, süzülmesi, yıkanması, ağır ortamın depolanması ve temizlenmesi, istenilen yoğunluğa ayarlanılarak pompalarla sevki geniş ölçüde yan işlemler gerektirir. Bu nedenle ağır ortamla zenginleştirme, hassas ayırma gerektiren yerlerde ve temizlenmesi güç olan kömürlerde uygulanır.

Ağır ortam ile zenginleştirme yöntemi 200-10 mm arası kömüre uygulanabilir. Bazı durumlarda alt sınır 0.5 mm'ye kadar indirilebilir (Burt, 1984). Kapasiteleri, saatte 200 ton'a kadar çıkabilir.

4.1.1.2. Jig ile zenginleştirme

Jigler, kömür zenginleştirilmesinde 1900'lü yılların başından beri kullanılmaktadır (Matoney et al, 1988). Suyun pülsasyon hareketi ile kömürün yoğunluğuna göre tabakalaşmasına dayanan bu yöntemde, genellikle Baum ve Batac jigleri kullanılır. Bu jiglerde su hareketi basınçlı hava ile sağlanır. Baum jiginde basınçlı hava, jig eleği yanındaki hava odasından verilirken, Batac jiginde elek altına yerleştirilmiş hava odalarından sağlanır. Tabakalaşma sonunda dip tarafta toplanan yüksek küllü malzeme, otomatik olarak çalışan bir sistem yardımıyla jig teknesinden uzaklaştırılır. Kömür ise, su ile taşarak ortamdan alınır. İyi bir tabakalaşmanın olması hava basıncına, pülsasyon frekansı ve genliğine, pülsasyonlar arası zaman dilimine bağlıdır.

4.1.1.3. Ağır ortam siklonu

Bu yöntemde ince boyutlu kömür, belirli yoğunluğa getirilmiş manyetit süspansiyonu ile birlikte siklona beslenir. Böylece gravite kuvveti yerine, bunun 20 katına kadar çıkabilen merkezkaç kuvvetin etkisi ile şist ve marnın alt ürün, kömürün ise üst ürün olarak ayrılması sağlanır. Diğer ağır ortam cihazlarında olduğu gibi, siklonlarda da işlem basit olmakla beraber, önemli ölçüde yan teçhizatı gerektirmektedir. Bu yan işlemleri azaltmak bakımından istenen yoğunluk sağlanabildiği takdirde, kömürün kendisini veya artık malzemeyi ağır ortam olarak kullanan Otojen Siklonlarla da ayırma yapılabilir. Bu amaçla koni açısı geniş olan siklonlar kullanılır.

Günümüzde, siklon yapısının ve iç astarının değiştirilmesi ile ağır ortam siklonlarına beslenen üst boyut 45 mm'ye kadar çıkarılabilmektedir. Böylece kömürün 45 mm altına kırılması ve tek bir kademedeki zenginleştirilmesi mümkün olmaktadır.

4.1.1.4. Feldspatlı jigler

Feldspatlı jigler, Baum jigi gibi basınçlı hava ile çalışan aletlerdir. Bu jiglerde ince boyutlu kömürle çalışıldığı için, jig eleğinin üzerinde suni bir tabaka kullanılır. Sertlik, şekil, yoğunluk gibi fiziksel özellikler bakımından suni yatak olarak kullanılabilen en uygun malzeme 3-5 cm boyutundaki feldspat parçalarıdır. Şist ve diğer safsızlıklar suni yatak arasından süzülerek teknede toplanmaktadır. Temiz kömür ise, taşma yoluyla jigten uzaklaştırılır.

4.1.1.5. Sallantılı masalar

Wifley, Sala, Deister ve Humbolt-Wedag gibi firmalar tarafından özel olarak üretilen masalar, ince kömürün zenginleştirilmesinde kullanılabilirler. Cevher zenginleştirmede kullanılan masalara oranla bunların yüzeyleri daha büyük olup, eşik düzenleri ve yükseklikleri farklıdır. Masaların zenginleştirme tesislerinde fazla yer kaplamalarını önlemek amacıyla, iki, üç veya dört katlı olarak imal edilmeleri de mümkündür (Matoney et al., 1988).

Lemke (1976), Concenco 77 adı verilen iki katlı masaları kullanarak yapmış olduğu çalışmalarda, toplam kükürdün % 40'ını, piritik kükürdün ise % 57'sini kömürden uzaklaştırabilmiştir (Doğan vd., 1991).

4.1.1.6. Sabit oluklar

Düz (Rheolaveur) veya dairesel (Humprey veya Reichert-Wickers spiralleri) oluklar, ince boyutlu kömürün zenginleştirilmesinde kullanılırlar.

Bazı zenginleştirme tesislerinde kırma işlemini takiben iri ve ince boyutlu kömür zenginleştirilir, fakat süzme elekleri altına geçen ve ince boyut grubu olarak nitelen-

dirilen kısma ilave bir işlem uygulanmaz. Bu boyut grubu proses suyu ile birlikte sistemde bulunmaktadır. Yıkanmış kömürlerin süzme eleklerinden geçirilmesi ile ayrılan proses suyu, koniler ve çöktürme havuzlarına gönderilerek temizlenmelidir. Ayrılan katı malzemeler ise, susuzlandırıldıktan sonra, kül içeriğine bağlı olarak ya temiz kömüre yada artığa katılırlar.

4.1.1.7. Multi gravity separator

Multi Gravity Separator (M.G.S.) laboratuvar veya pilot tesis çapında, sıvı süspansiyon içindeki farklı özgül ağırlıklı minerallerin ayırımında kullanılan gravite ayırıcısıdır. Ayırma tane iriliği 1 ila 500 mikron arasındadır. Diğer gravite ayırıcıları ile karşılaştırıldığında, en büyük avantajı çok ince boyutlu taneler içinde etkin bir ayırım yapabilmesidir.

M.G.S. saat yönünde dönen, çok az konik şekilli, bir eksen üzerinde sinüzoidal titreşim hareketi yapan ve bir tarafı açık tamburdan meydana gelmektedir. Tambur içersinde beslemenin ve yıkama suyunun verildiği delikli halkaların yanısıra pülp'ün içindeki malzemeyi karıştıran sıyırma pabuçları da bulunmaktadır. Yıkama suyu, çalışma süresince daha iyi bir konsantre alabilmek için verilmektedir.

Mozley tarafından külün, piritik kükürtün veya her ikisinin de giderilmesini amaçlayan denemeler yapılmıştır.

Tamamı 1 mm'nin altında olan ve % 40 kül içeren bir kömürle yapılan deney sonunda kül içeriği % 14.7'ye düşürülmüştür. Piritik kükürdü uzaklaştırmak amacıyla yapılan diğer bir çalışmada ise; % 1.33 olan kükürt, deney sonunda % 0.87'lik bir değere indirilmiştir. Hem kükürt hem de kül

içeriğini azaltabilmek amacıyla yapılan üçüncü bir deney de ise, kömürün kükürt içeriği % 1.30'dan % 0.83'e; kül miktarı da % 39.4'dan % 29.1'e düşürülebilmektedir.

4.1.2. Yüzey özellik farkına göre ayırma

Kömür madenciliğinde son yıllarda mekanizasyonun artması sonucu, tüvenan kömürlerde ince boyut miktarında önemli ölçüde artış olmuştur. Ayrıca çeşitli sanayi kuruluşları çok düşük küllü ve kükürtlü toz (ince boyutlu) kömüre gereksinim duymaktadır. Bu özelliklere sahip kömürü elde edebilmek için, özellikle yüksek piritik kükürtlü kömürlerde önemli ölçüde boyut küçültülmesi yapılmaktadır. Bu da kömürün kazanılması için yüzey özelliklerindeki farklılıkların kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Kömür içersindeki safsızlıkların, yüzey özelliklerindeki farklılıklara göre temizlenmesini sağlayan yöntemler arasında flotasyon, kolon flotasyonu, flokülasyon ve yağ aglomerasyonunu sayabiliriz.

4.1.2.1. Flotasyon

Bu proses günümüzde 0.5 mm altındaki kömürlerin temizlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerin arasındadır.

Kömürlerin flotasyon yeteneği kömürleşme derecesine, kül oranına ve yüzey oksidasyonu özelliklerine bağlı olarak değişir. Örneğin; düşük uçucu madde içeren bitümlü kömürlerde maksimum olan flotasyon yeteneği, antrasite ve linyite gidildikçe azalır. Kimyasal yapı bakımından doğal hidrofobik olması gereken kömür, kül oranı arttıkça ıslanabilir özellik kazanabilir. Ayrıca yüzey oksidasyonu ve kömürün su taşıma kapasitesinin fazla olması da flotasyonu olumsuz yönde etkiler.

Bazı cins kömürler sadece bir köpürtücü reaktif ile yüzdürülebilir. Fakat pek çok kömür türünde yüksek verime ulaşabilmek için nötr hidrokarbon yağlarının da kullanılması gerekir. Köpürtücü olarak genellikle çam yağı, kerosilik asit veya isooktanal, metil izobütil karbinol (MIBC) gibi alkol tipi reaktifler kullanılır. Nötr hidrokarbon olarak gazyağı ve mazot gibi maddeler kullanılır. Genellikle kullanılan flotasyon reaktifi, 9 kısım gazyağı içinde 1 kısım alkol tipi köpürtücünün eritilmesi ile hazırlanır. Bunlar dışında Hoechst, Henkel ve Cyanamid gibi bazı firmaların kömür flotasyonu için tavsiye ettikleri çeşitli ticari isimlerde reaktifler vardır. Reaktiflerin kullanım miktarı, kömür cinsine bağlı olarak, tonda birkaç yüz gramdan birkaç kiloya kadar değişebilir.

Kömür flotasyonunda en önemli güçlük, pirit ve suda dağılabilen killerin varlığıdır. Piritin de, kömür kadar olmasa bile hidrofob özelliği vardır. Pirit, yüzeyinin nötr hidrokarbonlarla kaplanması sonucu köpüğe gelir. Kil, viskoziteyi artırarak ve yüzeyleri kaplayarak flotasyonu güçleştirebilir. Bu durumda, piritin kireç veya siyanürle bastırılması, kil minerallerinin ise sodyum silikatla dağıtılması yoluna gidilerek temiz kömürün elde edilmesine çalışılır.

Zor yüzeabilen kömürlerde, dekstrin, potasyum permanganat, azot oksitler gibi bastırıcı ve oksitleyici reaktiflerle kömür bastırılarak önce ksantat flotasyonu ile pirit, bunu takiben aminlerle veya yağ asidi ve sülfonat gibi anyonik toplayıcılarla diğer yabancı mineraller yüzdürülebilir.

Kömür flotasyonu için maksimum tane iriliği 1 mm'dir. Fakat tane iriliğinin 0.5 mm'den küçük olması durumunda daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Pulptaki katı oranının optimum değeri % 12'dir. Fakat bazı durumlarda flotasyon tesisi kapasitesini artırmak ve kullanılan reaktif sarfi-

yatını azaltmak için, bu oran % 18 ila % 20'ye kadar çıkarılabilir. Suyu temizlemek için yapılan flotasyon işlemlerinde ise, pulp'taki katı oranı % 3-4 arasında olabilir.

4.1.2.2. Kolon flotasyonu

Son yıllarda flotasyon yöntemindeki en önemli yenilik, kolon flotasyonunun uygulamaya girmiş olmasıdır. Kawatra and Eisele (1988), özellikle ince boyutlu kömürler ile çalışıldığında kolon flotasyonunun, flotasyondan daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Bu yöntemde, kolonun her noktasında aşağıya doğru bir sıvı akışı vardır. Yıkama suyunun bir etkisi olarak, köpük ile yukarıya doğru taşınan kömürlerin arasında mekanik olarak sıkışmış yada zayıf hidrofobluktan dolayı köpüğe yapışarak köpük zonuna taşınan kil, şist ve pirit gibi inorganik maddeler yıkanarak aşağıya gang minerallerinin yanına dönmektedir. Besleme, kolonun orta kısmından yapılmaktadır. Çalışma süresince bu noktanın altına düşen tanecikler, aşağıdan verilen hava kabarcıkları ile besleme noktasının üzerindeki konsantrasyon zonuna taşınmakta ve buradan da konsantre olarak ortamdan uzaklaştırılmaktadır (Kawatra and Eisele, 1988).

4.1.2.3. Yağ aglomerasyonu

İnce boyutlu kömürlerden, piritik kükürdün ve diğer inorganik safsızlıkların atılmasında uygulanabilecek yöntemlerden birisi de, yüzey özelliği farkından yararlanarak zenginleştirme yapan yağ aglomerasyonudur (Capes, 1979; Hoşten ve Uçbaş, 1989; Patterson et al, 1979).

Bu yöntemde su ve kömür karışımı hidrofobik bir sıvı ile şiddetle karıştırılırsa, kömürün karbonlu bileşenleri sıvıya yapışarak büyük boyutlu aglomereler meydana getirirler. Bu karışım elendiğinde (Olifloc yöntemi) kö-

mürce zengin aglomereler, ortamdaki pirit ve şistten kolayca ayrılabilir (Leonard et al, 1981). Kullanılan optimum yağ miktarı ağırlıkça % 12-14 arasındadır (Hoşten ve Uçbaş, 1989). Yöntemin en cazip tarafı 50 mikronun altındaki kömür tanelerinin temizlenebilmesine, vakum veya termal kurutmaya gerek kalmayacak düzeyde düşük su içeren bir ürünün eldesine imkan vermesidir (Capes, 1979).

İnce boyutlu kömürlerin aglomerasyonunda yağdan başka heptan, pentan, perkloretilen ve sıvı karbondioksit de kullanılabilir.

Yağ aglomerasyonu konusundaki son gelişme, yağı dağıtan (emulsifier) yüzey aktifleyici kullanmak suretiyle yağ sarfiyatının % 3'e kadar indirilebilmesidir. Bu yöntemle flotasyona uygun olmayan oksitlenmiş veya sorunlu kömürler temizlenebilmektedir.

4.1.2.4. Flokülasyon

Kömür içersindeki inorganik safsızlıkların atılmasında uygulanabilecek diğer bir yöntemde, yüzey özellikleri arasındaki farklılıktan yararlanarak zenginleştirme yapan seçimli flokülasyondur.

Bu proses, iyice dağıtılmış halde bulunan bir süspansiyona, flokülant adı verilen uzun zincirli doğal yada sentetik reaktiflerin katılmasıyla istenilen tip mineralin bu flokülantlara adsorpsiyonu sağlanarak çökeltilmesi ile oluşur. Floküle edilmiş taneler, çökelme, flotasyon veya uygun olan başka bir yöntemle süspansiyondan ayrılır.

Seçimli flokülasyonda süspansiyonun katı oranı çok önemlidir. Bu oran genelde % 2-3 civarındadır. Daha fazla olduğunda floklar çökelirken süspansiyonda kalması istenen

artık maddeleri de beraberinde sürüklerler. Bu durumda zenginleştirme istenilen boyutlarda olmamakta ve temizleme devrelerine gerek duyulmaktadır.

Flokülanların istenilen mineral yüzeylerine adsorpsiyonunu sağlamak için çok sıkı bir şekilde pH kontrolü yapılmalıdır. Kömürün seçimli flokülasyonu için, kömür yüzeyinin hidrofobik olduğu nötr yada hafif asidik ortamlar en uygundur.

Kömür içersinde piritik kükürdün bulunması durumunda, kömürün seçimli flokülasyon ile zenginleştirilmesinde iki değişik yöntem uygulanmaktadır. Bunlar:

- 1- Piritin süspansiyonda dağıtılıp kömürün seçimli flokülasyonu,
- 2- Kömürün süspansiyonda dağıtılıp piritin seçimli flokülasyonu'dur.

Birinci yöntemde etkili bir pirit dağıtıcısının kullanılması gerekmektedir. Ancak bilinen reaktifler bu yöntemde etkili olamamaktadır. Bunların yerine yapısına ksantat eklenmiş polakrilik asit (PAA), pirit için etkili bir dağıtıcı olarak kullanılabilir (Attia et al., 1988).

İkinci yöntemde ise, flokülantın yapısına ksantat ilavesi ile ksantatlı bir flokülant elde edilerek piritin seçimli flokülasyonu sağlanırken, kömür süspansiyonda dağıtılmaktadır. Burada da kömür için etkili bir dağıtıcı kullanılması zorunluluğu vardır.

Bazı araştırmacılar, % 95'i 45 mikron altında olan kömürdeki piritik kükürdün yaklaşık % 80'inin bu yöntemle uzaklaştırılabildiğini, fakat verimin % 57.6 gibi düşük bir değerde olduğunu belirtmektedirler (Koca vd., 1988)

4.1.3. Manyetik ayırma

Kömür diyamanyetik, pirit ise saflığına bağlı olarak zayıf paramanyetik veya diyamanyetik özelliğe sahiptir. Bunlar arasındaki farklı manyetik iletkenlik, piritik kükdün ve diğer inorganik maddelerin kömürden bu yöntemle uzaklaştırılmasına olanak vermektedir.

Bozkurt ve Bilir (1989), bu yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmada, Permroll yüksek alan şiddetli permanent kuru manyetik ayırıcısının laboratuvar tipini kullanarak, 0-9.52 mm boyut aralıklı Tunçbilek kribraj kömüründeki kükürt yüzdesini % 2.61'den % 2.25'e indirmişlerdir.

Son yıllarda sülfürlerin manyetik özelliklerini değiştirerek veya gelişmiş manyetik ayırıcılar kullanılarak ince boyutlu kömürdeki safsızlıkların giderilmesi sağlanabilmektedir.

İnce boyutlu kömürler içinde bulunan pirit ve markasit gibi zayıf manyetik sülfürler, mikrodalga veya bazı kimyasal işlemler sonunda pirotin gibi kuvvetli manyetik sülfür minerallerine dönüştürülerek zayıf alan şiddetli manyetik ayırıcılarla uzaklaştırılabilmektedir (Ergun and Bean, 1968; Rowson and Rice, 1990; Morrison, 1981). Halen bu yöndeki çalışmalarımız sürmektedir.

Diğer bir gelişme ise Süper-iletken mıknatısların kullanımınıdır. Bazı elementlerin ve metal alaşımlarının mutlak sıfır (-273°C) noktası civarında elektrik dirençlerinin sıfır olmasından yararlanarak, süper iletken mıknatıslar yapılmıştır. Mutlak sıcaklık, sistemin sıvı helyum içinde çalıştırılmasıyla sağlanır. Sistem dışında, çok geniş bir çalışma alanında çok yüksek bir manyetik alan oluşturulabilmektedir. Yaş ve kuru olarak, iri ve ince boyutlu

malzeme ile çalışabilir. Enerji sarfiyatının 8 ila 10 kw mertebelerine düşürülebilmesine karşılık, bu cihazlarda en önemli masraf helyum kaybından olmaktadır.

4.1.4. Elektrostatik ayırma

Elektrostatik ayırma işleminde iletkenlik farkına dayanarak ince boyutlu kömürden piritik kükürdü kuru yöntemle ayırmak mümkün olmaktadır. Bu yöntemde iki adım vardır.

- 1- Parçacıklarda elektrik yükünün oluşması
- 2- Kolaylıkla kontrol edilebilen dış bir elektrik alanı içersinde yüklü parçacıkların ayrılması

Parçacıklar birbirleriyle temas halinde iken iletkenliklerine bağlı olarak elektrikselsel yük kazanırlar. Kuru kömür genelde yalıtıcıdır ve ayırmada pozitif olarak yüklenir. Buna karşılık pirit ve inorganik maddelerin çoğu negatif yük kazanırlar. Statik elektrikle yüklenmiş kömür, tambur şeklinde bir elektrostatik ayırıcıya beslendiğinde, negatif yüklü olan pirit ve inorganik maddeler elektrik yüklerini zıd işaretli tambura vererek nötr hale gelirler ve düşerler. Pozitif yüklü olan kömür ise, zıd işaretli elektrik yükü taşıdığından, tamburla birlikte döner ve fırçalar yardımıyla süpürülerek tamburdan uzaklaştırılır.

Elektrostatik ayırmada kömürün rutubeti ve içersindeki inorganik maddelerin elektrofizikselsel özellikleri pirit-kömür ayırımını etkilediğinden, bu yöntem henüz endüstriyel çapta uygulanamamaktadır.

4.2. Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri

Kimyasal yöntemlerle, kömürdeki piritik kükürt ve bir kısım organik kükürt uzaklaştırılabilir. Fakat kimyasal yöntemler pahalı işlemlerdir.

Kimyasal yöntemler iki grupta toplanabilir. Bunlar:

1- Çeşitli gaz ortamlarında ısıtma işlemine dayanan yöntemler ve

2- Yaş kimyasal yöntemlerdir.

4.2.1. Çeşitli gaz ortamlarında ısıtma

Kömürdeki inorganik ve organik kükürdün giderilmesi amacıyla yapılan ısıtma işlemlerinde, azot veya karbondioksit inert olarak; hidrojen, su buharı veya amonyak indirgen olarak; hava veya oksijen de oksitleyici gaz olarak kullanılmaktadır. Isıtma sırasında, kömürdeki mevcut kükürt türlerinin davranışları ortamdaki gazın cinsine göre değişmektedir.

Organik kükürt, inert ve indirgeyici gaz ortamlarında gerçekleştirilen ısıtma işlemleri sırasında H_2S oluşturur. Kömürdeki kükürt bileşiklerinin karbonizasyonu sırasında çok az miktarda bir kükürt, kömürden uçucu organik kükürt bileşikleri şeklinde uzaklaşmaktadır.

Kömürdeki kükürdün, hava veya oksijen gibi oksitleyici bir ortamda giderilmesi, karbonizasyondan çok daha karmaşıktır. Sadece piritin, oksijen ile aynı anda olan tepkime sayısı 16'yı geçmektedir. Genelde bu tepkimeler 350-450°C arasındaki bir sıcaklıkta gerçekleşir.

Kömürün çeşitli gaz ortamlarında ısıtılması sırasında bozulan her kükürtlü bileşiğin kükürdünü uzaklaştırmak mümkün değildir. Çünkü bir yandan da yeni kükürt bileşik-leri oluşmaktadır.

4.2.2. Yaş kimyasal yöntemler

Yaş kimyasal yöntemle yapılan işlemin başarılı olabilmesi için:

- 1- Kullanılan reaktifin organik veya piritik kükürdü seçici olarak etkilemesi,
- 2- Kullanılan reaktifin kömürün diğer kısımlarını fazla etkilememesi,
- 3- Kullanılan reaktifin kolayca geri kazanılabilmesi,
- 4- Kullanılan reaktifin kömürden uzaklaştırılabilmesi için, tepkimeye girmeden ve girdikten sonra kolayca çözünbilir veya uçurulabilir olması,
- 5- Kullanılan reaktifin ucuz olması ve
- 6- Çevre kirliliği açısından tehlike oluşturmaması gerekmektedir.

Kimyasal zenginleştirme işlemlerinin pahalı olmasından dolayı endüstriyel çapta temizleme yapan bir tesis mevcut değildir. Ancak kömürün kükürdünü gidermek amacıyla yaş kimyasal yöntemlerle çalışan birkaç pilot tesis vardır. Bunlardan ikisi, Meyer ve Yaş oksidasyon işlemini uygulayan tesislerdir.

TRW Meyer işleminde; ferrik sülfat çözeltisi kullanılarak, piritik kükürt, sülfat ve elementel kükürde dönüştürülür. Sülfat şeklindeki kükürt yıkanarak, elementel kükürt ise buharlaştırılarak veya bazı organik eriticilerle çözündürülerek kömürden uzaklaştırılır. Bu yöntem ile organik kükürdün giderilmesi mümkün değildir (Morrison, 1981).

Yaş oksidasyon işleminde, piritik kükürtle birlikte önemli ölçüde organik kükürtte giderilmektedir. Bu işlemde çeşitli oksitleyici maddeler kullanılarak kükürtlü kısımlar oksitlenir. Fakat çalışma sırasında otoklav gerektiğinden böyle bir sistemin pahalı olacağı tahmin edilmektedir (Chuang et al, 1983).

5. ZENGİNLEŞTİRME ÖNCESİ İŞLEMLER

5.1. Numunenin Alınışı

Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler, GLİ Tunçbilek İşletmesi lavvarından alınmıştır. Numune alınan yer bu tesise ait akım şeması üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.1).

0-18 mm'lik deney numuneleri, ağır ortam siklonlarına besleme yapan elevatörden, ocak kömürünü en iyi şekilde temsil edecek olan bir örnekleme için, kırkbeş günlük bir zaman diliminde, gündüz vardiyasında birer saat ara ile alınarak biriktirilmiş ve torbalanarak Anadolu Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümüne getirilmiştir.

5.2. Kimyasal Analizler

0-18 mm'lik lavvar tüvenan kömürü üzerinde yapılan kimyasal analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1'de görülmektedir. Kimyasal analizler kuru kömürde yapılmış, havada kuru ve orjinal kömür için analiz değerleri hesaplama yoluyla bulunmuştur.

Çizelge 5.1. 0-18 mm Lavvar tüvenan kömürün kimyasal analiz sonuçları

Kömür Analizleri	Orjinal Kömür	Havada Kuru Kömür	Kuru Kömür
Nem (%)	13.58	6.28	-----
Kül (%)	31.97	34.67	36.99
U.M.+S.K. (%)	54.45	59.05	63.01
Y.Kükürt (%)	1.14	1.24	1.32
AID (kcal/kg)	3637	3944	4208

A.I.D. : Alt Isı Değeri

U.M.+S.K. : Uçucu Madde + Sabit Karbon



Şekil 5.1. İnce kömür lavvarı akım şeması

5.2.1. Kül tayini

Tüvenan kömürün ve deneyler için 420 mikron boyutuna indirilen tüm kömürlerin kül analizleri TS 1042'ye uygun olarak, 100 mesh altına öğütülmüş kuru numuneler üzerinde yapılmıştır.

5.2.2. Kalori ve yanıcı kükürt tayini

Deneylerde kullanılan kömürlerin kalori tayinleri TS 2678'e uygun olarak, 100 mesh altına öğütülmüş kuru numuneler üzerinde ve IKA C-4000 modeli Adyabatik Kalorimetre kullanılarak, Anadolu Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında yapılmıştır.

Yanıcı kükürt tayini ise; kalori tayini yapıldıktan sonra aşağıdaki işlemler uygulanarak yapılmıştır.

Adyabatik kalorimetrede kalori tayini yapıldıktan sonra bomba çıkarılır, en az 10 dakika açmadan beklenir. Sonra bombanın sübabı yavaş yavaş açılıp içindeki fazla gaz boşaltılır. Kapak açılarak kapağın içi, kroze ve içindekiler bir behere sıcak su ile yıkanarak alınır. Beher iyice kaynatılarak CO₂'i uçurulur. Beyaz band süzgeç kağıdından süzülür. Sonra sıcakken FENOLFTALEİN indikatör- lüğünde 0.1 N NaOH ile titre edilir. Sarfiyat kayıt edilir. Aynı çözelti METİLKİRMİZİSİ damlatılarak HCL ile asitlendirilir ve kaynatılır. % 10'luk BaCl₂'den 15 ml eklenerek sülfat çöktürülür. En az iki saat beklenir ve mavi band süzgeç kağıdından süzülür, tartımı belli kroze de yakılır ve tartılır. Yanıcı kükürt, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\%S = \frac{B}{m} * 13.73$$

B : Baryum sülfat ağırlığı (gr)

m : Numune ağırlığı (gr)

5.3. Yoğunluk Tayini

Yoğunluk tayinleri piknometre kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 5.2'de yoğunluk tayinleri yapılan ürünlere ait yoğunluklar verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ürünlerin yoğunluk değerleri

Ürün Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)
Temiz Kömür	1.22
Tüvenan Kömür	1.39
Marn	2.07

5.4. Numunenin Hazırlanışı

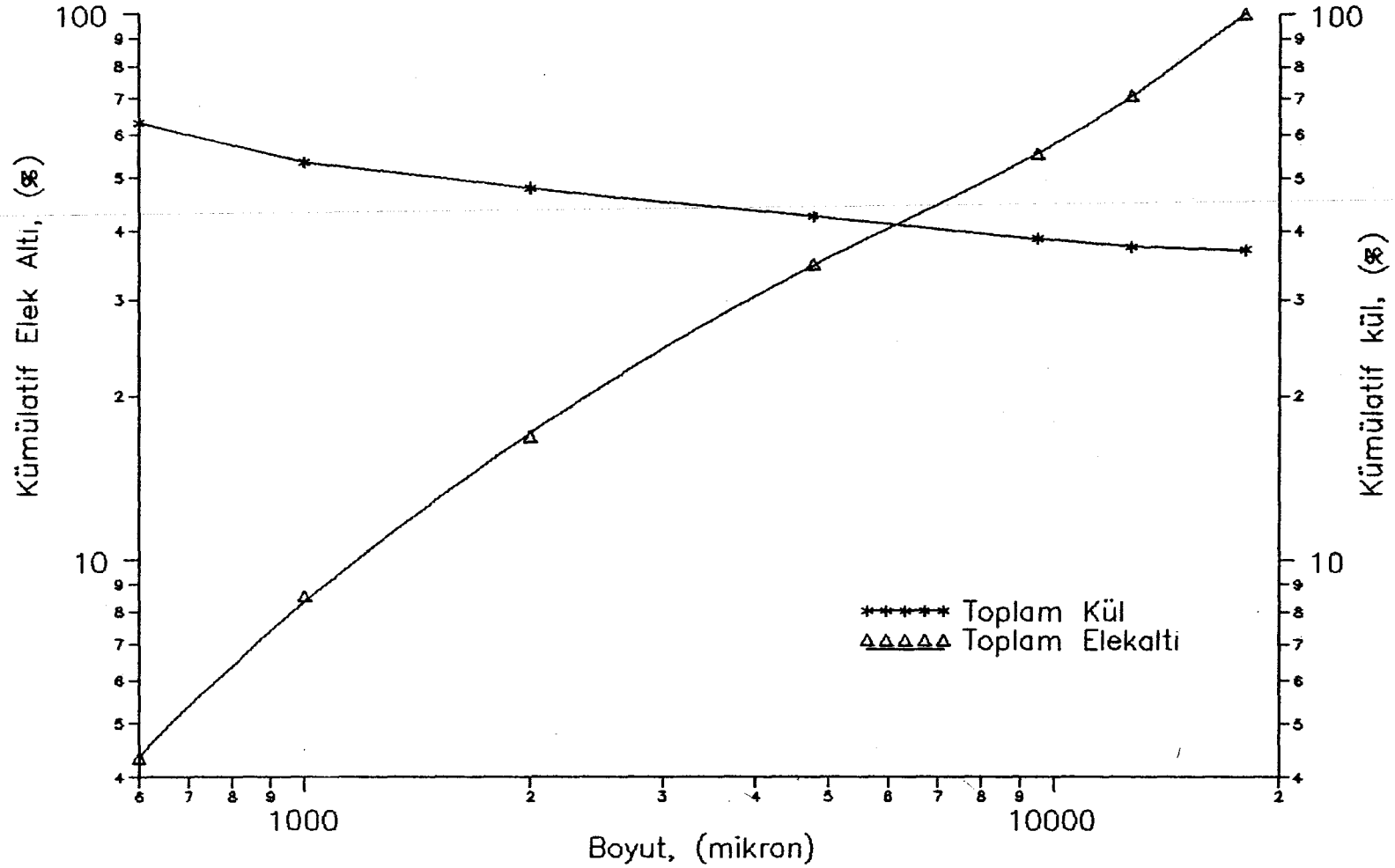
Deneysel çalışmalara geçilmeden önce numune, onbeş gün oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutulan numune koni-leme-dörtleme yöntemiyle ikiye ayrılmıştır. Numunenin yarısı torbalanarak daha sonra kullanılmak üzere stoklanmıştır. Numunenin diğer yarısından 2640 gram temsili numune alınarak önce elek analizi, daha sonra da her fraksiyondaki malzemenin kül ve A.I.D. (Alt Isı Değeri) tayinleri yapılmıştır (Çizelge 5.3). Şekil 5.2'de ise; 0-18 mm tüvenan kömüre ait elekaltı eğrisi verilmektedir.

Geriye kalan numune, 10 mm açıklıklı Blake tipi laboratuvar çeneli kırıcısında kırılmıştır. -10 mm'lik numune ilk önce laboratuvar tipi konik kırıcıda 2 mm altına, daha sonra merdaneli kırıcıda 420 mikron altına kademeli olarak ufalanmıştır. Bu üründen 470 gram örnek alınarak önce elek analizi, sonra da her fraksiyondaki malzemenin kül ve A.I.D. (Alt Isı Değeri) tayinleri yapılmıştır (Çizelge 5.4). Şekil 5.3'de ise; merdaneli

kırıcı ürününe ait elekaltı eğrisi verilmektedir. Numunenin kalanı M.G.S. (Multi Gravity Separator) deneylerinde kullanılmak üzere 510 gr'lık kısımlara ayrılarak torbalanmıştır.

Çizelge 5.3. 0-18 mm Lavvar tüvenan kömürüne ait elek analiz sonuçları ile kül ve kalori değerlerinin gösterimi

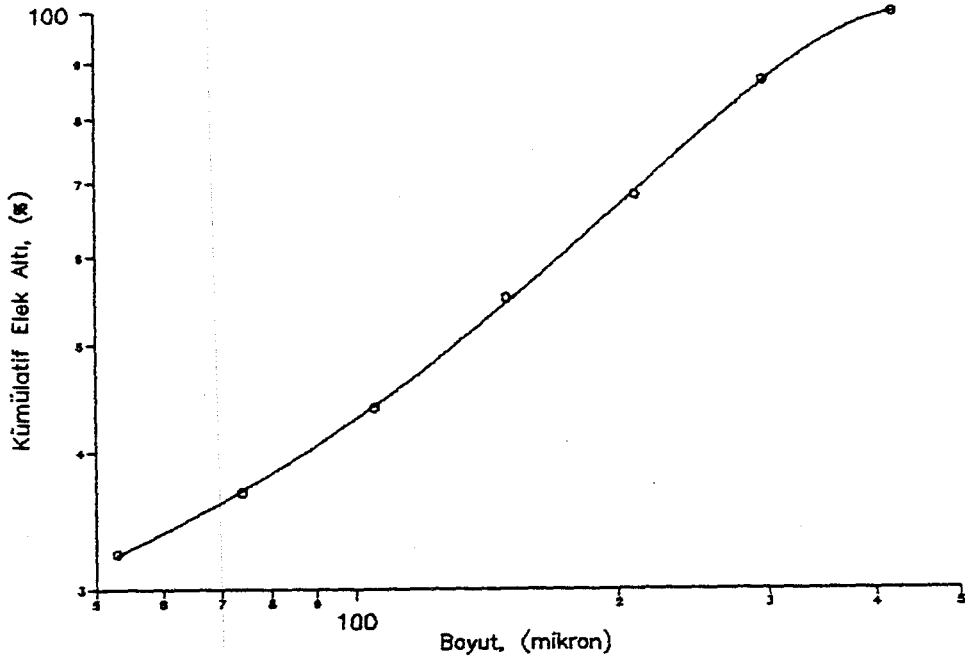
ELEK AÇIKLIĞI (mm)	AĞIRLIK (%)	KÜMÜLATİF ELEKALTI (%)	KÜMÜLATİF ELEKÜSTÜ (%)	KÜL (%)	KÜMÜLATİF KÜL (%)	KALORİ (kcal/kg)	KÜMÜLATİF KALORİ (kcal/kg)
-18.00 +12.70	27.21	100.00	27.21	35.73	36.97	4318	4220
-12.70 + 9.51	17.39	72.79	44.60	33.24	37.43	4552	4184
- 9.51 + 4.76	20.70	55.40	65.30	32.35	38.75	4627	4068
- 4.76 + 2.00	17.90	34.70	83.20	37.60	42.56	4159	3735
- 2.00 + 1.00	8.25	16.80	91.45	42.18	47.85	3770	3282
- 1.00 + 0.60	4.21	8.55	95.66	43.30	53.33	3681	2812
- 0.60	4.34	4.34	-----	63.06	63.06	1969	1969
BESLEME	100.00			36.97		4220	



Şekil 5.2. 0-18 mm Lavvar tüvenan kömürünün boyuta göre miktar ve kül dağılımı

Çizelge 5.4. Merdaneli kırıcı ürününe ait yaş elek analiz sonucu ile kümülatif elekaltı ve eleküstün gösterimi

ELEK AÇIKLIĞI (mikron)	AĞIRLIK (%)	KÜMÜLATİF	
		ELEKALTI (%)	ELEKÜSTÜ (%)
- 420 + 297	13.24	100.00	13.24
- 297 + 210	18.45	86.76	31.69
- 210 + 149	13.22	68.31	44.91
- 149 + 105	11.22	55.09	56.13
- 105 + 74	7.11	43.87	63.24
- 74 + 53	4.45	36.76	67.69
- 53	32.31	32.31	-----
BESLEME	100.00		



Şekil 5.3. Merdaneli kırıcı ürününe ait elekaltı eğrisi

6. ZENGİNLEŞTİRME DENEYLERİ

6.1. M.G.S. ile Yapılan Deneyler

Multi Gravity Separator (M.G.S.) laboratuvar ve pilot tesis çapında, sıvı süspansiyon içindeki farklı özgül ağırlıklı minerallerin sürekli ayırımında kullanılan gravite ayırıcısıdır. Ayırma tane iriliğinin 1 mikrona kadar indiği ve çok ince taneler için etkin ayırmalar yapabildiği belirtilmektedir.

Multi Gravity Separator; saat yönünde dönen, çok az konik şekilli, bir eksen üzerinde sinüzoidal titreşim yapan ve bir tarafı açık olan tamburdan oluşmaktadır. Besleme, tambur içersine orta kısmında bulunan delikli halkalar aracılığı ile yapılmaktadır. Yıkama suyu da benzer şekilde tamburun konsantre kısmına yakın bir yerinden delikli halkalar yardımıyla tambur içersine verilmektedir. Tambur içersinde tambur ile aynı yönde dönen, fakat hızı, tamburun hızından biraz daha fazla olan sıyırıcı pabuçlar bulunmaktadır.

Çalışma sırasında tamburun hareketiyle oluşan merkezkaç kuvvetinin etkisiyle, ağır olan taneler tambur yüzeyine daha fazla yapışmakta ve periyodik olarak yapılan titreşim ile bu taneler sıyırma pabuçları yardımıyla konsantre kısmına doğru itilmektedir. Besleme malzemesini konsantre çıkışına doğru iten bu kuvvetlerin yanı sıra, birde eğim açısı ile aynı yönde etki eden ve daha hafif olan taneleri artık kenarına doğru iten yıkama suyu akışı vardır.

Multi Gravity Separator ile yapılan deneylerde, kullanılan ürüne göre konsantre kısmı değiştirilmektedir. Örneğin; Kromit cevherinin zenginleştirilmesinde, aletin konsantre kısmı, açık olan taraftaki ve yoğun tanelerin

alındığı ön kısımdır. Fakat kömür gibi bir ürün ile çalışıldığında, konsantre kısmı olarak, aletin arka tarafındaki ve hafif olan tanelerin alındığı yer kabul edilir.

M.G.S.'in uygulama alanları;

1- Artık veya şlamlardan, değerli metal yada mineralerin geri kazanılması,

2- Ağır mineral kumlarının veya endüstriyel mineralerin (barit, kromit, kömür vb.) ön konsantrelerinin elde edilmesi,

3- Metal oksitlerin, sülfidlerin ve uranyum gibi nadir elementlerin minerallerinin birincil cevherden ayrılması,

4- Alüvyonel cevherlerin değerlendirilmesi olarak belirtilmektedir.

Şekil 6.1'de görülen Multi Gravity Separator'ün çalışma parametreleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. M.G.S.'in çalışma parametreleri

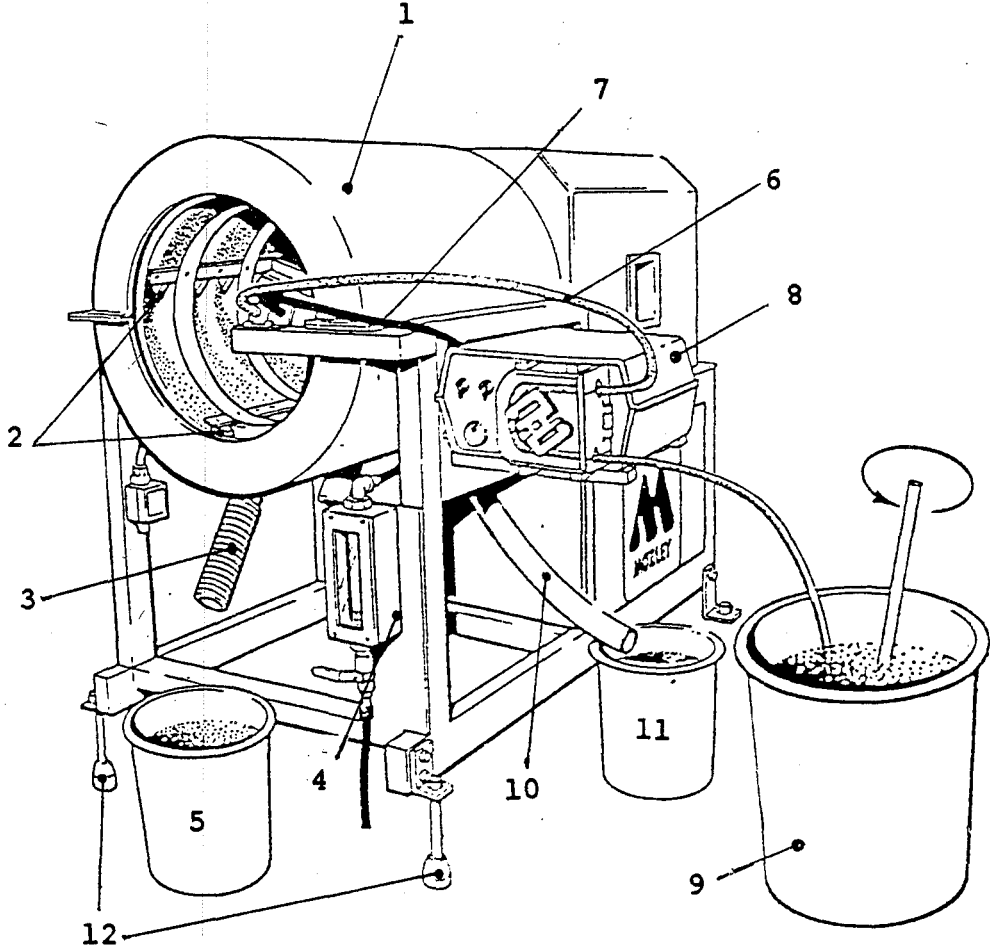
Kapasite (kuru bazda)	0.2 ton/saat
Besleme boyutu	1-500 mikron arası
Pülp yoğunluğu	% 10-50 ağırlıkça
Tambur hızı	100-280 devir/dakika
Salınım	4.0-4.8-5.7 salınım/sn
Genlik	10-15-20 mm
Eğim açısı	0-9 derece arası
Yıkama suyu	0-10 litre/dakika

M.G.S. ile yapılan çalışmalarda, G.L.f. Tunçbilek 0-18 mm Lavvar tüvenan kömürlerinin kül ve kükürt içeriğinin azaltılarak kalite yükseltilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla -420 mikron boyutundaki kömürün optimal zenginleştirilebilme şartlarını belirlemek için tambur hızı, eğim açısı, yıkama suyu, genlik ve frekans gibi parametreler ayrı ayrı denenmiştir.

Her deney sonunda Konsantre-1, Konsantre-2, Yıkama ve Artık olmak üzere dört ürün alınmıştır.

Besleme süresince aletin artık kısmından toplanmış olan düşük yoğunluklu katıları (temiz kömür) içeren ürüne KONSANTRE-1, yine bu kısımdan yıkama süresince alınmış düşük yoğunluklu katıları içeren ürüne KONSANTRE-2, besleme ve yıkama periyodu boyunca aletin konsantre çıkışından toplanmış olan ürüne ARTIK ve deney tamamlandıktan sonra M.G.S.'den yıkanarak alınmış olan ürüne de YIKAMA adı verilmektedir.

Deneylerden elde edilen sonuçların ekonomik boyutlara ulaştığı gözlenen bölümlerinde, Konsantre-1 ve Konsantre-2 olarak isimlendirilen ürünler KONSANTRE, yıkama ve artık olarak değerlendirilen ürünler ise ARTIK şeklinde birleştirilmiş ve çizelgelerde birleştirilmiş ürün sonuçları olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Multi Gravity Separator'un görünüşü

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| 1. Tambur | 7. Yıkama suyu hortumu |
| 2. Sıyırma pabuçları | 8. Peristaltik pompa |
| 3. Konsantre oluğu | 9. Karıştırma kovası |
| 4. Yıkama suyu flowmetresi | 10. Artık oluğu |
| 5. Konsantre kovası | 11. Artık kovası |
| 6. Besleme hortumu | 12. Eğim ayar vidaları |

6.1.1. Tambur hızının değiştirilmesi

Deneysel çalışmalara, üretici firmanın benzer koşullar için önerdiği ve aşağıda belirtilen çalışma şartlarında başlandı.

1 Nolu deney çalışma şartları :

Tambur hızı	: 200 devir/dakika
Eğim açısı	: 4 derece
Salınım	: 4.8 salınım/saniye
Genlik	: 15 mm
Yıkama suyu	: 3 litre/dakika
Numune ağırlığı	: 510 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Yaklaşık 3.5 dakikalık çalışma süresi sonunda aletin konsantre kısmından yani yoğunluğu fazla olan tanelerin alındığı kısımdan hiç bir ürün alınamamıştır. Tambur hızının düşük olmasından dolayı, daha yoğun olan pirit, sist ve marn gibi inorganik maddeler, yeterince merkezkaç kuvveti oluşmadığı için yıkama suyunun da etkisiyle artık kısmına gelmektedir.

1 nolu deney sonuçları doğrultusunda, bir sonraki deneyde tambur hızı maksimum değere çıkartılmış ve deney aynı çalışma şartlarında yeniden yapılmıştır.

2 Nolu deney çalışma şartları :

Tambur hızı	: 250 devir/dakika
Eğim açısı	: 4 derece
Salınım	: 4.8 salınım/saniye
Genlik	: 15 mm

Yıkama suyu	: 3 litre/dakika
Numune ağırlığı	: 510 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Deney sonunda, artık içersinde çok az miktarda iri taneli kömür ile ince boyutta pirit taneleri gözlenmiştir. Ayrıca yıkama amacıyla aletin kapağı açıldığında, aletin konsantre kısmına yakın bölgelerde pirit ve şist tanelerinin varlığı tesbit edilmiştir. Bu gözlemden, maksimum tambur hızının ayırma için daha uygun olabileceği görülmektedir.

6.1.2. Eğim açısının değiştirilmesi

Bundan önceki deneylerden olumlu sonuç alınamamasına neden olarak, eğim açısının yüksek veya yıkama suyunun fazla olması düşünülmüştür. İlk önce eğim açısının ayırmaya etkisini görebilmek için, 0° ve 4°'lik eğimlerde diğer çalışma parametreleri sabit tutularak 3 ve 4 nolu deneyler yapılmıştır.

3-4 Nolu deneylerin çalışma şartları :

Eğim açısı	: 0 - 4 derece
Tambur hızı	: 200 devir/dakika
Salınım	: 4.8 salınım/saniye
Genlik	: 15 mm
Yıkama suyu	: 3 litre/dakika
Numune ağırlığı	: 510 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Yapılan iki deney sonucunda da artık kısmından herhangi bir ürün alınamamıştır. Bu nedenle deney çalışma şartları tek sütunda gösterilmiştir. 3 nolu deneyde 0°'lik eğim, ayırım için uygun olsa bile tambur hızının düşük olmasından dolayı bu deneyde olumsuz bir şekilde sonuçlanmıştır.

6.1.3. Yıkama suyunun değiştirilmesi

Deneylerde gerekli olan yıkama suyu miktarı, denenen minerallerin yoğunluğuna bağlıdır. Yoğunluğu düşük olan mineraller için 3 lt/dakika'lık bir akış hızı yeterli olabilmesine karşın, yoğunluğu daha büyük olan mineraller için 6 lt/dakika'lık veya daha fazla olan bir akış hızı gerekli olabilir.

5-6-7 Nolu deneylerin çalışma şartları :

Yıkama suyu	: 1.5 - 2 - 3 litre/dakika
Tambur hızı	: 200 devir/dakika
Eğim açısı	: 4 derece
Salınım	: 4.8 salınım/saniye
Genlik	: 15 mm
Numune ağırlığı	: 510 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

5-6-7 nolu deneylerde kullanılan yıkama suyu miktarı, sırasıyla 1.5, 2 ve 3 lt/dakika'dır. Yapılan bu deneyler sonucunda tambur hızının düşük olmasından ve eğim açısının yüksekliğinden dolayı başarılı bir ayırım yapılamamıştır. Bu nedenle, bundan sonraki deneylerde 250 devir/dakika'lık tambur hızı ile 0°'lik eğim açısı sabit tutularak, yıkama suyu parametreleri tekrar denenmiştir.

8-9-10 Nolu deneylerin çalışma şartları :

Yıkama suyu	: 1.5 - 2 - 3 litre/dakika
Tambur hızı	: 250 devir/dakika
Eğim açısı	: 0 derece
Salınım	: 4.8 salınım/saniye
Genlik	: 15 mm
Numune ağırlığı	: 510 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Yıkama suyunun değiştirilmesiyle elde edilen ürünlerde tartışılabilir değerler bulunduğu için sonuçlar çizelgeler halinde sunulmuştur. Deneylerin sonuçları Çizelge 6.2, 6.4 ve 6.6'da, birleştirilmiş ürün şeklinde gösterimleri de Çizelge 6.3, 6.5 ve 6.7'de verilmiştir. Yıkama suyunun arttırılması ile konsantre miktarlarında ve kül yüzdelerinde artışlar görülmektedir.

Çizelge 6.2. 1.5 litre/dakika'lık yıkama suyuna ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	40.12	24.66	5268	1.28
KONSANTRE 2	45.77	38.72	4116	0.98
YIKAMALAR	6.38	59.07	2327	1.76
ARTIK	7.73	74.76	855	2.92
BESLEME	100.00	37.16	4212	1.30

Çizelge 6.3. 8.Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	85.89	32.15	4654	1.12
ARTIK	14.11	67.67	1521	2.40
BESLEME (Hesapla)	100.00	37.16	4212	1.30
BESLEME (Analizle)		37.23	4198	1.27

Çizelge 6.4. 2 lt/dk'lık yıkama suyuna ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	49.66	26.24	5148	1.23
KONSANTRE 2	38.03	41.65	3815	1.00
YIKAMALAR	9.27	61.92	2059	2.18
ARTIK	3.04	78.96	590	2.86
BESLEME	100.00	37.01	4216	1.28

Çizelge 6.5. 9.Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	87.69	32.92	4570	1.13
ARTIK	12.31	66.13	1696	2.35
BESLEME (Hesapla)	100.00	37.01	4216	1.28
BESLEME (Analizle)		37.05	4200	1.33

Çizelge 6.6. 3 lt/dk'lık yıkama suyuna ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	46.46	26.76	5096	1.20
KONSANTRE 2	46.17	43.46	3698	1.03
YIKAMALAR	6.18	63.33	1983	2.67
ARTIK	1.19	79.42	----	5.20
BESLEME	100.00	37.36	4198	1.26

Çizelge 6.7. 10. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	92.63	35.09	4399	1.12
ARTIK	7.37	65.94	1672	3.08
BESLEME (Hesapla)	100.00	37.36	4198	1.26
BESLEME (Analizle)		37.37	4189	1.28

Çizelge 6.2, 6.4 ve 6.6 incelendiğinde Konsantre-2 değerlerinde kükürt yüzdelerinin yeterli düzeyde azaldığı, bununla beraber kalori değerlerinin de düştüğü gözlenir. Bu da bize kükürdün yüksek kalorili kömür ile beraberliğini tanımlar. Deney 10'u tanımlayan Çizelge 6.6 ve 6.7 incelendiğinde en yüksek kükürt yüzdesi varlığına karşılık en düşük yüzde ağırlıklı atık varlığı gözlenir.

6.1.4. Genliğin değiştirilmesi

Genliğin, denemelerdeki fonksiyonunun izlenmesi için üç değişik değerde çalışma yapılmıştır. Deneylerde yıkama suyu farklılıklarının etkileri de gözlenmek istenmiştir.

11-12-13 nolu deneylerin çalışma şartları :

Genlik	: 10 / 15 / 20 mm
Tambur hızı	: 200 devir/dakika
Salınım	: 4.8 salınım/saniye
Eğim açısı	: 4 derece
Yıkama suyu	: 3 litre/dakika
Numune ağırlığı	: 510 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

11-12-13 nolu deneylerde kullanılan genlik değerleri, sırasıyla 10, 15 ve 20 mm'dir. Yapılan bu deneyler sonucunda tambur hızının düşüklüğünden ve eğim açısının yüksek olmasından dolayı başarılı bir ayırım yapılamamıştır.

14-15-16 Nolu deneylerin çalışma şartları :

Genlik	: 10 / 15 / 20 mm
Tambur hızı	: 250 devir/dakika
Eğim açısı	: 0 derece
Salınım	: 4.8 salınım/saniye
Yıkama suyu	: 1.5 litre/dakika
Numune ağırlığı	: 510 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Deneylerin sonuçları Çizelge 6.8, 6.10 ve 6.12 ile 6.9, 6.11 ve 6.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8. 10 mm'lik genliğe ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	39.42	22.79	5416	1.48
KONSANTRE 2	39.73	35.14	4404	1.06
YIKAMALAR	6.16	57.86	2445	1.60
ARTIK	14.69	69.83	1040	2.27
BESLEME	100.00	36.77	4188	1.44

Çizelge 6.9. 14. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	79.15	28.99	4908	1.27
ARTIK	20.85	66.29	1455	2.07
BESLEME (Hesapla)	100.00	36.77	4188	1.44
BESLEME (Analizle)		36.99	4200	1.38

Çizelge 6.10. 15 mm'lik genliğe ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	40.12	24.66	5268	1.28
KONSANTRE 2	45.77	38.72	4116	0.98
YIKAMALAR	6.38	59.07	2327	1.76
ARTIK	7.73	74.76	855	2.92
BESLEME	100.00	37.16	4212	1.30

Çizelge 6.11. 15. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	85.89	32.15	4654	1.12
ARTIK	14.11	67.67	1521	2.40
BESLEME (Hesapla)	100.00	37.16	4212	1.30
BESLEME (Analizle)		37.23	4198	1.27

Çizelge 6.12. 20 mm'lik genliğe ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	46.47	27.15	5069	1.18
KONSANTRE 2	45.16	43.09	3694	1.04
YIKAMALAR	6.02	57.16	2475	1.88
ARTIK	2.35	78.37	638	3.78
BESLEME	100.00	37.36	4188	1.22

Çizelge 6.13. 16. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	91.63	35.01	4391	1.11
ARTIK	8.37	63.12	1959	2.41
BESLEME (Hesapla)	100.00	37.36	4188	1.22
BESLEME (Analizle)		37.38	4180	1.25

Çizelge 6.9, 6.11 ve 6.13 karşılaştırıldığında, kalori kazancı açısından ve çevreye az SO₂ verme açısından 15 nolu deneyin daha iyi sonuç verdiği gözlenir.

17-18-19 Nolu deneylerin çalışma şartları :

Genlik	: 10 / 15 / 20 mm
Tambur hızı	: 250 devir/dakika
Eğim açısı	: 0 derece
Salınım	: 4.8 salınım/saniye
Yıkama suyu	: 2 litre/dakika
Numune ağırlığı	: 510 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Sonuçlar takip eden çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 6.14. 10 mm'lik genliğe ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	41.97	22.88	5416	1.15
KONSANTRE 2	38.34	38.38	4055	0.87
YIKAMALAR	9.00	60.20	2204	1.81
ARTIK	10.69	67.71	1460	1.91
BESLEME	100.00	36.97	4182	1.18

Çizelge 6.15. 17. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	80.31	30.28	4766	1.02
ARTIK	19.69	64.28	1800	1.86
BESLEME (Hesapla)	100.00	36.97	4182	1.18
BESLEME (Analizle)		37.05	4194	1.23

Çizelge 6.16. 15 mm'lik genliğe ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	49.66	26.24	5148	1.23
KONSANTRE 2	38.03	41.65	3815	1.00
YIKAMALAR	9.27	61.92	2059	2.18
ARTIK	3.04	78.96	590	2.86
BESLEME	100.00	37.01	4216	1.28

Çizelge 6.17. 18. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	87.69	32.92	4570	1.13
ARTIK	12.31	66.13	1696	2.35
BESLEME (Hesapla)	100.00	37.01	4216	1.28
BESLEME (Analizle)		37.05	4200	1.33

Çizelge 6.18. 20 mm'lik genliğe ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	51.23	27.73	5016	1.16
KONSANTRE 2	38.12	43.17	3688	1.01
YIKAMALAR	8.92	57.21	2470	1.97
ARTIK	1.73	78.86	596	3.18
BESLEME	100.00	37.13	4206	1.21

Çizelge 6.19. 19. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	89.35	34.32	4449	1.10
ARTIK	10.65	60.73	2166	2.17
BESLEME (Hesapla)	100.00	37.13	4206	1.21
BESLEME (Analizle)		37.18	4200	1.18

Yıkama suyu ve genlikleri aynı olan deney 14 ile deney 17 ve deney 15 ile deney 18 karşılaştırıldığında, deney 17 sonuçlarının deney 14'den; deney 15 sonuçlarının deney 18'den az miktarda iyi olduğu gözlenir.

6.1.5. Frekansın (salınımın) değiştirilmesi

Frekansın etkisi, önceki denemelerde iyi sonuç veren 1.5 lt/dk yıkama suyu (Deney 15) ve 10 mm genlik (Deney 17) değerleri alınarak gözlenmek istenmiştir.

20-21-22 Nolu deneylerin çalışma şartları :

Salınım	: 4 - 4.8 - 5.7 salınım/saniye
Tambur hızı	: 250 devir/dakika
Eğim açısı	: 0 derece
Genlik	: 10 mm
Yıkama suyu	: 1.5 litre/dakika
Numune ağırlığı	: 510 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Frekansın değiştirilmesiyle elde sonuçlar izelge 6.20, 6.22 ve 6.24'de; birleştirilmiş ürün sonuçları da izelge 6.21, 6.23 ve 6.25'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.20. 4 cps'lik frekansa ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	30.49	22.17	5531	1.35
KONSANTRE 2	41.91	31.71	4680	1.07
YIKAMALAR	5.87	52.09	2959	1.28
ARTIK	21.73	63.33	1925	1.81
BESLEME	100.00	36.87	4240	1.33

Çizelge 6.21. 20. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	72.40	27.69	5038	1.19
ARTIK	27.60	60.94	2145	1.70
BESLEME (Hesapla)	100.00	36.87	4240	1.33
BESLEME (Analizle)		37.01	4222	1.30

Çizelge 6.22. 4.8 cps'lik frekansa ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	39.42	22.79	5416	1.48
KONSANTRE 2	39.73	35.14	4404	1.06
YIKAMALAR	6.16	57.86	2445	1.60
ARTIK	14.69	69.83	1040	2.27
BESLEME	100.00	36.77	4188	1.44

Çizelge 6.23. 21. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	79.15	28.99	4908	1.27
ARTIK	20.85	66.29	1455	2.07
BESLEME (Hesapla)	100.00	36.77	4188	1.44
BESLEME (Analizle)		36.99	4200	1.38

Çizelge 6.24. 5.7 cps'lik frekansa ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	48.69	24.67	5279	1.43
KONSANTRE 2	36.65	40.82	3895	1.00
YIKAMALAR	6.27	59.26	2296	1.78
ARTIK	8.39	75.12	908	2.21
BESLEME	100.00	36.99	4218	1.36

Çizelge 6.25. 22. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	85.34	31.61	4685	1.25
ARTIK	14.66	68.34	1502	2.03
BESLEME (Hesapla)	100.00	36.99	4218	1.36
BESLEME (Analizle)		37.10	4186	1.31

Deney 20, 21 ve 22 sonuçları karşılaştırıldığında, deney 20'nin kazanılan kalori ve yakılma ile havaya karışacak kükürt açısından en uygun deney olduğu gözlenir.

6.2. İki Kademeli M.G.S. Deneyleri

İki kademeli M.G.S. deneylerinde özellikle pirit'in atılımı amaçlanmıştır. Bunu için en düşük artık yüzde ağırlığı ve en yüksek kükürt içeriği kazanılan deney koşulları uygulanmıştır.

23 Nolu deney çalışma şartları :

Tambur hızı	: 250 devir/dakika
Eğim açısı	: 0 derece
Salınım	: 4.8 salınım/saniye
Genlik	: 15 mm
Yıkama suyu	: 3 litre/dakika
Numune ağırlığı	: 1433 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Yukarıdaki koşullarda yapılan iki kademeli denemenin ikinci kademelerini, birinci kademenin Konsantre 1 ve 2 ürünleri oluşturmuştur.

Çizelge 6.26. İki kademeli ayırmaya ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	55.82	26.69	5074	1.34
KONSANTRE 2	26.54	38.15	4149	0.98
YIKAMALAR	2.92	48.74	3251	1.31
ARTIK	14.72	70.43	1081	2.31
BESLEME	100.00	36.81	4188	1.38

Çizelge 6.27. 23. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	82.36	30.38	4776	1.22
ARTIK	17.64	66.84	1440	2.14
BESLEME (Hesapla)	100.00	36.81	4188	1.38
BESLEME (Analizle)		36.94	4182	1.28

24 Nolu deney çalışma şartları :

Bu deneyde besleme olarak, 23 nolu deneydeki Konsantre-1 ürünü denenmiştir.

Tambur hızı	: 250 devir/dakika
Eğim açısı	: 0 derece
Salınım	: 4.8 salınım/saniye
Genlik	: 15 mm
Yıkama suyu	: 3 litre/dakika
Numune ağırlığı	: 787 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Konsantre-1'in besleme olarak alındığı deney sonuçları Çizelge 6.28'de, bu deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları da 6.29'da gösterilmiştir.

25 Nolu deney çalışma şartları :

Bu deneyde, 23 nolu deneyden elde edilen Konsantre-2 ürünü besleme olarak kullanılmıştır.

Tambur hızı	: 250 devir/dakika
Eğim açısı	: 0 derece
Salınım	: 4.8 salınım/saniye
Genlik	: 15 mm
Yıkama suyu	: 3 litre/dakika
Numune ağırlığı	: 370 gr
Pülp yüzdesi	: % 30 ağırlıkça
Besleme miktarı	: 41 kg/saat
Yıkama süresi	: 3 dakika

Bu deneyle ilgili sonuçlar da Çizelge 6.30 ve 6.31'de verilmiştir.

Çizelge 6.28. 23 nolu deneyin konsantre-1 ürününe ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	77.06	25.60	5155	1.26
KONSANTRE 2	21.08	31.25	4692	1.15
YIKAMALAR	1.86	22.60	5435	2.12
ARTIK	-----	-----	-----	-----
BESLEME	100.00	26.73	5063	1.25

Çizelge 6.29. 24. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	98.14	26.81	5056	1.23
ARTIK	1.86	22.60	5435	2.12
BESLEME (Hesapla)	100.00	26.73	5063	1.25
BESLEME (Analizle)		26.69	5074	1.34

Çizelge 6.30. 23 nolu deneyin konsantre-2 ürününe ait deney sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	40.80	28.35	4872	1.04
KONSANTRE 2	55.08	43.58	3644	0.88
YIKAMALAR	4.12	54.30	2730	1.03
ARTIK	-----	-----	-----	-----
BESLEME	100.00	37.81	4108	0.95

Çizelge 6.31. 25. Deneye ait birleştirilmiş ürün sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE	95.88	37.10	4167	0.95
ARTIK	4.12	54.30	2730	1.03
BESLEME (Hesapla)	100.00	37.81	4108	0.95
BESLEME (Analizle)		38.15	4149	0.98

Konsantre-1 değerleri yüksek kalorili ve kükürt içerikli olurken, Konsantre-2 değerleri düşük kalorili ve kükürt içerikli olmaktadır. İki kalitede ürün eldesi düşünülecek olursa, iki kademe sonundaki ürün kalitesi Çizelge 6.32 ile verilebilir.

Çizelge 6.32. İki kademe sonundaki birleştirilmiş ürünlere ait sonuçlar

ÜRÜNLER	AĞIRLIK (%)	KÜL (%)	A.I.D (kcal/kg)	Y.KÜKÜRT (%)
KONSANTRE 1	53.84	26.15	5098	1.21
KONSANTRE 2	26.39	38.08	4111	1.00
YIKAMALAR	2.13	38.82	4051	1.56
ARTIK	17.64	66.84	1440	2.14
BESLEME	100.00	36.75	4170	1.32

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Multi Gravity Separator ile yapılan zenginleştirme deneylerinin sonuçları incelendiğinde, aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

Çizelge 6.2, 6.4 ve 6.6 incelendiğinde Konsantre-2 değerlerinde kükürt yüzdelerinin yeterli düzeyde azaldığı, bununla beraber kalori değerlerinin de düştüğü gözlenir. Bu da bize kükürdün yüksek kalorili kömür ile beraberliğini tanımlar. Deney 10'u tanımlayan Çizelge 6.6 ve 6.7 incelendiğinde en yüksek kükürt yüzdesi varlığına karşılık en düşük yüzde ağırlıklı atık varlığı gözlenir.

Çizelge 6.9, 6.11 ve 6.13 karşılaştırıldığında, kalori kazancı açısından ve çevreye az SO₂ verme açısından 15 nolu deneyin daha iyi sonuç verdiği gözlenir.

Yıkama suyu ve genlikleri aynı olan deney 14 ile deney 17 ve deney 15 ile deney 18 karşılaştırıldığında, deney 17 sonuçlarının deney 14'den; deney 15 sonuçlarının deney 18'den az miktarda iyi olduğu gözlenir.

Deney 20, 21 ve 22 sonuçları karşılaştırıldığında, deney 20'nin kazanılan kalori ve yakılma ile havaya karışacak kükürt açısından en uygun deney olduğu gözlenir.

En az kömür kullanımı ile en yüksek enerji eldesi yanısıra en az kükürt atımı gözönünde bulundurulduğunda yapılan tüm denemeler içinde Deney 17 koşullarının, deney parametreler çerçevesinde en iyi sonucu verdiği gözlenmiştir.

Bu sonuçlar 0-18 mm boyutlu Tunçbilek Lavvar kömürünün Multi Gravity Separator ile zenginleştirilebildiğini göstermektedir.

İlerki çalışmalarda tane boyutunun zenginleştirmedeki etkilerinin incelenmesi gereğini öneririm.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Atak, S. ve Güney, A., 1988, Bazı linyitlerin yapısal özellikler ve kükürt bakımından incelenmesi, Türkiye 6. Kömür Kongresi, 205-217.
- Ateşok, G., 1986, Kömür Hazırlama, Kurtiş Matbaası, 192 s.
- Attia, Y.A., Bavarian, F. and Driscoll, K.H., 1988, Use of polyxanthate dispersant for ultrafine pyrite removal from high sulfur coal by selection flocculation, Coal Preparation, Vol 6, 35-51.
- Birön, C., 1982, Türkiye kömürlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri ve rezervler, Uluslararası Kömür Teknolojisi Semineri, 23-52.
- Bozkurt, V. ve Bilir, K., 1989, G.L.I. Tunçbilek İşletmesi 0-30 mm kriblaj ürününün kalite arttırımı, Lisans tezi, Anadolu Üniversitesi M.M.F. Maden Mühendisliği Bölümü, 40 s.
- Burt, R.O., 1984, Gravity Concentration Technology, Chapter 9, Elsevier Science Publishers B.V., 605 p.
- Bürküt, Y., Kırıkoğlu, S. ve Suner F., 1991, Kömürlerin jeo-kimyasal özellikleri, Kömür, O. Kural (Ed.), 103-114.
- Capes, C.E., McIlhiney, A.E., Sirianni, A.F. and Puddington, I.E., 1973, Bacterial oxidation in upgrading pyritic coals, The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, Canada, 4 p.
- Capes, C.E., 1979, Agglomeration, Coal Preparation 4th Edition, J.W. Leonard (Ed.), 10-4, 105-116.
- Chuang, K.C., Markuszewski, R. and Wheelock, T.D., 1983, Desulfurization of coal by oxidation in alkaline solutions, Fuel Processing Technology, 7, 43-57.
- Doğan, Z., Özbayoğlu, G. ve Küçükbayrak, S., 1991, Kömürün kükürdünün giderilmesi, Kömür, O. Kural (Ed.), 333-356.
- Enerji İstatistikleri, 1990, Türkiye 5. Enerji Kongresi, 155-164.
- Ergun, S. and Bean, E., 1968, Magnetic separation of pyrite from coals, U.S. Bureau of Mines Report, RI 7181, 25 p.
- Hoşten, Ç. ve Uçbaş, Y., 1989, Zonguldak toz kömürleri üzerinde yağ aglomerasyonu çalışmaları, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, 355-365.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Kawatra, S.K. and Eisele, T.C., 1988, Studies relating to removal of pyritic sulfur from coal by column flotation, Column Flotation-88, K.V.S. Sastry (Ed.), Chapter 22, 213-220.
- Kemal, M., 1982, Sert linyit kömürlerinin kok üretiminde kullanılma olanakları, Uluslararası Kömür Teknoloji Semineri, 193-210.
- Kemal, M. ve Semerkant, O., 1984, Türkiye linyit potansiyeli ve kullanım olanağı, Türkiye 4. Kömür Kongresi, 17-31.
- Kemal, M., 1987, Kömür Teknolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Mim. Fak., 309 s.
- Koca, H., Poole, C. ve Koca S., 1988, İnce taneli kömürlerden seçimli pirit flokülasyonu, Türkiye 6. Kömür Kongresi, 171-190.
- Kural, O., 1991, Linyit ve kullanım alanları, Kömür, O.Kural (Ed.), 294-332.
- Küçükbayrak, S. ve Kadioğlu, E., 1982, Kömürün kükürdünün alkali ekstraksiyonu ile giderilmesi, Uluslararası Kömür Teknoloji Semineri, 251-263.
- Leonard W.G., Greer, R.T., Markuszewski, R. and Wheelock, T.D., 1981, Coal desulfurization and deashing by oil agglomeration, Separation Science and Technology, 16 (10), 1589-1609 p.
- Madley, D.G., 1982, Metalurjik kok ve dumansız ev yakıtı üretim prosesleri ve Türk kömürlerine uygulanabilirliği, (Çev. E.Ekinçi), Uluslararası Kömür Teknoloji Semineri, 123-140.
- Matoney, J.P., Harrison, K.E. and Kern K., 1988, Coal preparation - past, present and future, Industrial Practice of Fine Coal Processing, R.R. Klimpel and P.T. Luckie (Eds.), 381 p.
- McClung, J.D. and Geer, M.R., 1979, Properties of coal and coal impurities, Coal Preparation, J.W. Leonard (ed), Chapter 1.
- Morrison, G.F., 1981, Chemical desulphurization of coal, IEA Coal Research, ICTIS/TR15, 72 p.
- Nakoman, E., 1985, Kömür, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Mim. Fak., 323 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Operating Manuel, Multi Gravity Separator, Cornwall, U.K.
- Önal, G., 1978, Linyit kömürlerinin kükürttten arındırılması, Türkiye 1. Kömür Kongresi, 651-657.
- Önal, G., Doğan, Z. ve Dinçer, H., 1990, Çevre kirliliğinin azaltılması yönünde Türk kömürlerinin iyileştirilmesi olanakları, İTÜ 2. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu'90, 171-179.
- Özbayoğlu, G., 1986, Desulphurization of lignites by high gradient magnetic separation, I. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Cilt II, 636-645.
- Özpeker, I., 1986, Kömürün yapısı, T.K.i. Teknoloji ve uygulama geliştirme projesi, 98 s.
- Özpeker, I., 1991, Kömür oluşumu petrografisi ve sınıflandırılması, Kömür, O. Kural (Ed.), 8-68.
- Patterson, E.C., Le, H.V., Ho, T.K. and Whelock, T.D., 1979, Better separation by froth flotation and oil agglomeration, Coal Process. Technol., 5, 171-177.
- Rowson, N.A. and Rice, N.M., 1990, Desulphurization of coal using low power microwave energy, Mineral Engineering, Vol.3, 363-368.