

466 38

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMAN TASHİH MERKEZİ

**İSTANBUL - YENİKÖY BÖLGESİ KÖMÜRLERİNDEN  
SEMİKOK ELDE ETME OLANAKLARININ  
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Müh. Ramazan ASMATÜLÜ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Haziran 1995

Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Haziran 1995

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Neşet ACARKAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Güven ÖNAL

Prof. Dr. Gündüz ATEŞOK

HAZİRAN 1995

## ÖNSÖZ

Bu çalışmam sırasında bana yardımcı olan Anabilim Dalı Başkanı sayın hocam Prof. Dr. Suna ATAĞ'a, danışmanım Prof. Dr. Neşet ACARKAN'a, her türlü yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Güven ÖNAL'a ve tüm Anabilim Dalına teşekkür ederim.

Tezin yürütülmesinde her türlü bilgi ve laboratuvar desteği sağlayan hocalarım Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ'ye, Prof. Dr. Gündüz ATEŞOK'a, Prof. Dr. Orhan KURAL'a, Prof. Dr. Sadriye KÜÇÜKBAYRAK'a, Prof. Dr. İsmet GÜRGEY'e, deneysel çalışmalarında gerekli izni veren bölüm başkanı Prof. Dr. Bedri İPEKOĞLU'na, tezin yazımında yardımcı olan Yard. Doç. Dr. Ayhan KESİMAL'a ve Araş. Gör. Mesut GRİT'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, öğrenim hayatı boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme de teşekkür ederim.

Maden Müh. Ramazan ASMATÜLÜ

## İÇİNDEKİLER

|                                           | <u>SAHİFE NO</u> |
|-------------------------------------------|------------------|
| ÖNSÖZ                                     | II               |
| ŞEKİL LİSTESİ                             | V                |
| TABLO LİSTESİ                             | IX               |
| ÖZET                                      | XII              |
| SUMMARY                                   | XIII             |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ VE AMAÇ                     | 1                |
| BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER                    | 3                |
| 2.1 Kömürün Oluşumu                       | 3                |
| 2.2 Kömür Rezervleri ve Üretimi           | 4                |
| 2.2.1 Dünya Kömür Rezervleri ve Üretimi   | 4                |
| 2.2.2 Türkiye Kömür Rezervleri ve Üretimi | 5                |
| 2.3 Kömür Petrografisi                    | 8                |
| 2.3.1 Litotipler                          | 8                |
| 2.3.2 Maseraller                          | 9                |
| 2.4 Kömürün Özellikleri                   | 9                |
| 2.5 Kömürün Sınıflandırılması             | 17               |
| 2.6 Kömür Teknolojisi                     | 19               |
| 2.6.1 Kömür Hazırlama                     | 19               |
| 2.6.2 Kömürden Kükürdün Uzaklaştırılması  | 31               |
| 2.6.2.1 Fiziksel Yöntemler                | 31               |
| 2.6.2.2 Biyolojik Yöntemler               | 32               |
| 2.6.2.3 Kimyasal Yöntemler                | 33               |
| 2.6.3 Kömürün Koklaştırılması             | 36               |
| 2.6.3.1 Yüksek Sıcaklık Koklaştırması     | 40               |
| 2.6.3.2 Düşük Sıcaklık Koklaştırması      | 43               |
| 2.6.4 Kömürün Gazlaştırılması             | 54               |
| 2.6.5 Kömürün Sıvılaştırılması            | 56               |
| 2.6.6 Kömürün Briketlenmesi               | 57               |
| 2.7 Kömürün Kullanım Alanları             | 60               |
| BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR               | 63               |
| 3.1 Deneylere Esas Olan Numuneler         | 63               |
| 3.2 Numunenin Özellikleri                 | 63               |

|                                                                                                            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2.1 Petrografik Özellikler                                                                               | 63         |
| 3.2.2 Fiziksel ve Kimyasal Özellikler                                                                      | 63         |
| 3.2.3 Yıkanabilme Özellikleri                                                                              | 66         |
| 3.3 Zenginleştirme Deneyleri                                                                               | 70         |
| 3.4 Düşük Sıcaklık Koklaştırması Deneyleri                                                                 | 71         |
| 3.4.1 Düşük Sıcaklık Koklaştırma Deneylerinde Kullanılan Techizat                                          | 71         |
| 3.4.2 Düşük Sıcaklık Koklaştırma Deneylerinde Kullanılan Numuneler                                         | 72         |
| 3.4.3 Düşük Sıcaklık Koklaştırma Deneylerinin Yapılış Şekli ve Yöntemi                                     | 75         |
| 3.4.4 Düşük Sıcaklık Koklaştırma Deneylerinin Sonuçları                                                    | 75         |
| 3.4.5 Düşük Sıcaklık Koklaştırması Deneyleri Sonucunda Belirlenen En İyi Koşullar ve Semikokun Özellikleri | 89         |
| 3.4.6 Düşük Sıcaklık Koklaştırması Sırasında Elde Edilen Yan Ürünler                                       | 90         |
| 3.5 Biriktleme Deneyleri                                                                                   | 93         |
| 3.5.1 Briketleme Deneylerine Esas Olan Numune                                                              | 93         |
| 3.5.2 Briketleme Deneylerinde Kullanılan Numunenin Özellikleri                                             | 93         |
| 3.5.3 Briketleme Deneylerinde Kullanılan Techizat                                                          | 94         |
| 3.5.4 Briketleme Deneylerinin Yapılış Şekli ve Yöntemi                                                     | 94         |
| 3.5.5 Briketleme Deneylerinin Sonuçları                                                                    | 96         |
| <b>BÖLÜM 4 DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ</b>                                                              | <b>102</b> |
| <b>BÖLÜM 5 GENEL SONUÇLAR</b>                                                                              | <b>106</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                                                           | <b>109</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                                            | <b>112</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### SAHİFE NO

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2. 1 Kömürün zenginleştirilmesinin genel akım şeması                                    | 21 |
| Şekil 2.2 Baum jigi                                                                           | 22 |
| Şekil 2.3 Batac jigi                                                                          | 23 |
| Şekil 2.4 Wemco ağır ortama tamburu                                                           | 24 |
| Şekil 2.5 Drewboy tambur tipi yıkayıcı.                                                       | 24 |
| Şekil 2.6 Tromp ayırıcısı                                                                     | 25 |
| Şekil 2.7 Üç ürün alınan Larcodems ayırıcısı                                                  | 26 |
| Şekil 2.8 Feldispathlı jig                                                                    | 27 |
| Şekil 2.9 Ağır ortam siklonu (AOS)                                                            | 28 |
| Şekil 2.10 Daynawhirpool ayırıcısı                                                            | 28 |
| Şekil 2.11 Döner tamburlu kurutucu                                                            | 30 |
| Şekil 2.12 Koklaşma sırasında kömürde meydana gelen gelişmeler                                | 36 |
| Şekil 2.13 Farklı kömürlerin dilatasyon eğri türleri                                          | 38 |
| Şekil 2.14 Kömürün pişme özelliklerinin uçucu madde ve karbon miktarına bağlı olarak değişimi | 39 |
| Şekil 2.15 Klasik bir koklaştırma prosesinin akım şeması                                      | 41 |
| Şekil 2.16 Lurgi direkt ısıtmalı fırın ve yan tesileri                                        | 46 |
| Şekil 2.17 Akışkan yataklı düşük sıcaklık koklaştırması fırını                                | 47 |
| Şekil 2.18 Salem fırını                                                                       | 48 |
| Şekil 2.19 TKKU fırını                                                                        | 50 |
| Şekil 2.20 Seyitömer dumansız yakıt tesisi akım şeması                                        | 52 |

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.21 Battelle - Aglomera Gallaştırma Süreci Akım Şeması                                                                                                            | 55 |
| Şekil 2.22 Garret sıvılaştırma akım şeması                                                                                                                               | 57 |
| Şekil 2.23 Pistonlu birikitleme presinin kesit görünüşü                                                                                                                  | 59 |
| Şekil 3.1 -100 + 50 mm boyut aralığındaki numine ile yapılan<br>yüzdürme - batırma deneylerinin sonuçları                                                                | 67 |
| Şekil 3.2 -50 + 19 mm boyut aralığındaki numine ile yapılan<br>yüzdürme - batırma deneylerinin sonuçları                                                                 | 68 |
| Şekil 3.3 -19 + 1 mm boyut aralığındaki numine ile yapılan<br>yüzdürme - batırma deneylerinin sonuçları                                                                  | 69 |
| Şekil 3.4 Düşük sıcaklık yoklaştırmasında yullarılan fırının şematik görünümü                                                                                            | 72 |
| Şekil 3.5 Düşük sıcaklık koklaştırması deneyleri için hazırlanan numunenin<br>akım şeması                                                                                | 73 |
| Şekil 3.6 Harman numunesinin dilatasyon eğrisi                                                                                                                           | 75 |
| Şekil 3.7 -50 + 19 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık<br>koklaştırması deneylerinde uçucu madde içeriğinin koklaştırmaya<br>süresine bağılı olarak değışimi | 79 |
| Şekil 3.8 -19 + 10 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık<br>koklaştırması deneylerinde uçucu madde içeriğinin koklaştırmaya<br>süresine bağılı olarak değışimi | 80 |
| Şekil 3.9 -10 + 1 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık<br>koklaştırması deneylerinde uçucu madde içeriğinin koklaştırmaya<br>süresine bağılı olarak değışimi  | 80 |
| Şekil 3.10 -50 + 19 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık<br>koklaştırmaya deneylerinde sabit karbon değışiminin süreye<br>bağılı olarak değışimi              | 82 |
| Şekil 3.11 -19 + 10 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık<br>koklaştırmaya deneylerinde sabit karbon değışiminin süreye<br>bağılı olarak değışimi              | 83 |
| Şekil 3.12 -10 + 1 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık<br>koklaştırmaya deneylerinde sabit karbon değışiminin süreye<br>bağılı olarak değışimi               | 83 |

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.13 - 50 + 19 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde uzaklaştırılan toplam % kükürt miktarının sıcaklık ve süreye bağlı olarak değişimi | 84 |
| Şekil 3.14 -19 + 10 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde uzaklaştırılan toplam %kükürt miktarının sıcaklık ve süreye bağlı olarak değişimi   | 85 |
| Şekil 3.15 -10 + 1 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde uzaklaştırılan toplam % kükürt miktarının sıcaklık ve süreye bağlı olarak değişimi   | 85 |
| Şekil 3.16 -50 + 19 mm boyut grubu kömüre düşük sıcaklık koklaştırması uygulanması sonucu elde edilen semikok ürüne ait boyut dağılımının süreye bağlı olarak değişimi             | 87 |
| Şekil 3.17 -19 + 10 mm boyut grubu kömüre düşük sıcaklık koklaştırması uygulanması sonucu elde edilen semikok ürüne ait boyut dağılımının süreye bağlı olarak değişimi             | 88 |
| Şekil 3.18 -10 + 1 mm boyut grubu kömüre düşük sıcaklık koklaştırması uygulanması sonucu elde edilen semikok ürüne ait boyut dağılımının süreye bağlı olarak değişimi              | 88 |
| Şekil 3.19 Düşük sıcaklık koklaştırması sırasında açığa çıkan yan ürünleri elde etmek için kullanılan deney düzeneği                                                               | 91 |
| Şekil 3.20 -3.36 mm boyutundaki semikokun 20 ton basınç altında melas ve melas + kireç karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları                                      | 97 |
| Şekil 3.21 -3.36 mm boyutundaki semikokun 30 ton basınç altında melas ve melas + kireç karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları                                      | 97 |
| Şekil 3.22 -3.36 mm boyutundaki semikokun 40 ton basınç altında melas ve melas + kireç karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları                                      | 98 |
| Şekil 3.23 -1 mm boyutundaki semikokun 20 ton basınç altında melas ve melas + kireç karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları                                         | 98 |
| Şekil 3.24 -1 mm boyutundaki semikokun 30 ton basınç altında melas ve melas + kireç karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları                                         | 99 |

**Şekil 3.25 -1 mm boyutundaki semikokun 40 ton basınç altında melas ve melas + kireç karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları** 991

**Şekil 4.1 İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda oluşturulan prosesin akım şeması ve malzeme balansı** 105





## TABLO LİSTESİ

### SAHİFE NO

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1 Dünya görünür kömür rezervleri ve kıtalara göre dağılımı                              | 4  |
| Tablo 2.2 Dünya toplam taşkömürü üretimi ( $10^6$ ton)                                          | 5  |
| Tablo 2.3 Dünya toplam linyit üretimi ( $10^6$ ton)                                             | 5  |
| Tablo 2. 4 Türkiye linyit rezervleri ( $10^3$ ton)                                              | 6  |
| Tablo 2.5 Yıllara göre türkiye linyit üretimi ( $10^3$ ton)                                     | 6  |
| Tablo 2.6 Türkiye'nin 2010 yılına kadar toplam linyit üretim programı ( $10^3$ ton)             | 6  |
| Tablo 2.7 Türkiye taşkömürü rezervleri ( $10^6$ ton)                                            | 7  |
| Tablo 2.8 Yıllara göre Türkiye taşkömürü üretimi ( $10^3$ ton)                                  | 7  |
| Tablo 2.9 Bazı yakıtların uçucu madde içerikleri (kuru ve külsüz baza göre)                     | 12 |
| Tablo 2 10 Kül yapıcı mineraller ve yanma sonucu oluşan reaksiyonlar                            | 13 |
| Tablo 2.11 Çeşitli yakıtların tutuşma sıcaklıkları                                              | 16 |
| Tablo 2.12 Kömürlerin ASTM sınıflandırması                                                      | 17 |
| Tablo 2.13 Isıtmada kullanılan linyitlerin TSE sınıflandırmasına göre özellikleri               | 19 |
| Tablo 2.14 Kömürden fiziksel yöntemlerle giderilebilen toplam % kükürt miktarları               | 32 |
| Tablo 2.15 Türkiye kömürlerini kullanarak gerçekleştirilmiş olan kükürt giderme çalışmaları     | 35 |
| Tablo 2.16 Metalurjik kok üretimine tabi tutulan kömürün bazı özellikleri                       | 42 |
| Tablo 2.17 Metalurjik kokta aranan bazı özellikler                                              | 42 |
| Tablo 2.18 Düşük sıcaklık koklaştırması sırasında kömürde meydana gelen değişimler              | 43 |
| Tablo 2.19 ABD'de düşük sıcaklık koklaştırmasına tabi tutulan ve elde edilen ürünün özellikleri | 44 |

|            |                                                                                                                                    |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.20 | Almanya’da düşük sıcaklık koklaştırmasına tabi tutulan kömür ile elde edilen ürünün özellikleri                                    | 44 |
| Tablo 2.21 | Türkiye’de düşük sıcaklık koklaşmasına tabi tutulan Seyitömer ile bu kömürden elde edilen ürünün özellikleri                       | 45 |
| Tablo 2.22 | Koklaştırma sırasında oluşan ürünlerin dağılımı                                                                                    | 50 |
| Tablo 2.23 | Türkiye linyitleri üzerine yapılan piroliz çalışmaları                                                                             | 54 |
| Tablo 2.24 | Gazlaştırmadaki temel tepkimeler                                                                                                   | 54 |
| Tablo 2.25 | TTK’nın üretmiş olduğu kömürün yıllara göre dağılımı ( $10^3$ ton)                                                                 | 60 |
| Tablo 2.26 | TKİ’nin üretmiş olduğu linyit miktarı ve kullanıldığı yerler ( $10^3$ ton)                                                         | 60 |
| Tablo 2.27 | Türkiye’nin 2010 yılına kadar linyit tüketim programı ( $10^3$ ton)                                                                | 61 |
| Tablo 3.1  | Üç kömür damarı numunesinin standard kömür analiz sonuçları (kuru baza göre)                                                       | 64 |
| Tablo 3.2  | Üç kömür damarı numunesinin boyut ve boyuta göre kül ile kükürt dağılım sonuçları (kuru baza göre)                                 | 64 |
| Tablo3.3   | Harman numunesinin boyuta göre standart kömür analizi sonuçları                                                                    | 65 |
| Tablo 3.4  | Harman numunesinin boyuta göre kül dağılım sonuçları (kuru baza göre)                                                              | 65 |
| Tablo 3.5  | Boyutu - 19 + 1 mm arasında olan numune ile yapılan gravite ile zenginleştirme deneylerinin toplu sonuçları                        | 71 |
| Tablo 3.6  | Düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde kullanılan umunenin boyuta göre standart kömür analiz sonuçları (havada kuru baza göre ) | 74 |
| Tablo 3.7  | -50 + 19 mm boyut gurubundaki kömür üzerinde yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinin sonuçları (havada kuru baza göre)   | 76 |
| Tablo 3.8  | -19 + 10 mm boyut gurubundaki kömür üzerinde yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinin sonuçları (havada kuru baza göre)   | 77 |

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 3.9 -10 + 1 mm boyut gurubundaki kömür üzerinde yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinin sonuçları (havada kuru baza göre) | 78  |
| Tablo 3.10 İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürü için en iyi koklaştırma koşulları                                                            | 89  |
| Tablo 3.11 En iyi koklaştırma koşullarında elde edilen ürünlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri (kuru baza göre)                        | 90  |
| Tablo3.12 Düşük sıcaklık koklaştırmasında elde edilen ürünlerin dağılımı                                                                  | 91  |
| Tablo 3.13 Koklaştırma sırasında açığa çıkan gazın analiz sonuçları                                                                       | 92  |
| Tablo 3.14 Briketlemeye giren semikokun standart kömür analiz sonuçları (kuru baza göre)                                                  | 93  |
| Tablo 3.15 Briketleme deneylerde kullanılan -3.36 mm boyutundaki numune üzerinde yapılan elek analiz sonuçları                            | 95  |
| Tablo 3.16 Briketleme deneylerde kullanılan -1 mm boyutundaki numune üzerinde yapılan elek analiz sonuçları                               | 96  |
| Tablo 3.17 En iyi briketleme koşullarında elde edilen briketin fiziksel ve kimyasal özellikleri (kuru baza göre)                          | 101 |

## ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürlerine düşük sıcaklık koklaştırması uygulanarak; hava kirliliği açısından sorun yaratmayacak semikok elde etme olanakları araştırılmıştır.

Çalışmalar, İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürleri üzerinde yürütülmüştür. Bir özel firmaya ait ocaktaki alt, orta ve üst damarlardan temsili bir şekilde numune alınmış ve özellikleri birbirine yakın olduğu için üç damar numunesi harmanlanmıştır. Deneyisel çalışmalarda harman numunesinin, öncelikle, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Kömür numunesinin kuru baza göre; %32.5 rutubet, %12.30 kül, %46.57 uçucu madde, %40.82 sabit karbon, %1.88 toplam kükürt, %1.05 yanabilir kükürt içerdiği ve üst ısı değeri ise 5426 Kcal/kg olduğu belirlenmiştir.

-100 mm boyutundaki kömüre yüzdürme ve batırma uygulanmış ve ancak ince boyutlarda zenginleştirilebileceği anlaşılmıştır.

Düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde, -100 + 19 mm tuvenan ile -19 + 1 mm boyut grubunda jig ve sarsıntılı masadan elde edilen temiz kömürün birbirine karıştırılması ile elde edilen ürün kullanılmıştır.

Yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde sıcaklık, tane boyutu ve sürenin koklaştırma üzerine etkileri incelenmiştir. Deneylerde, -50 + 19 mm, -19 + 10 mm ve -10 + 1 mm boyut gruplarına ayrılan kömürler, 1500 cm<sup>3</sup> hacimli ve sabit yataklı koklaştırma fırınında 400, 500, 600, 700 °C sıcaklıklarda; 20, 40, 60, 80, 100, 120 dak. sürelerle koklaştırmaya tabi tutulmuş ve İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürleri için en iyi koklaştırma koşulları saptanmıştır. Ayrıca, ısı işlemler sonucu ince boyutlara (-10 mm) inen semikokun briketlenerek boyutunun büyütülmesi olanakları araştırılmış ve bu amaç doğrultusunda tane boyutu, presleme yükü ve bağlayıcı madde oranlarının briketlemeye etkisi belirlenmiştir.

Düşük sıcaklık koklaştırmaların deneylerinden en önemli parametrenin sıcaklık olduğu sonucuna varılmış ve koklaştırma sıcaklığı olarak 650 °C seçilmiştir. Koklaşma süresinin saptanmasında kömürdeki katranın uzaklaştırılması dikkate alınmıştır ve %15 dolayında uçucu madde içeren semikok ürünleri elde etmek için 50 - 76 dakikalık koklaştırma süresinin yeterli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, en iyi koşullarda elde edilen semikokun yanabilir kükürt içeriği %0.40'a inmiş; sabit karbon içeriği %68.09'a ve sabit karbona bağlı olarak da ısı değeri 6404 Kcal/kg'a yükselmiştir. Briketleme deneylerinde semikokun boyutu 1mm'nin altına indirildikten sonra bu ürüne %12 melas, %3 kireç ilavesiyle 30 ton presleme yük altında oluşturulan briketin en yüksek shatter indeksine (1505) sahip olduğu saptanmıştır.

En iyi koklaştırma koşullarında yapılan deneyde, kömürün %60.2'sini semikok, %20.3'ünü gaz ve %19.5'ini de sıvı ürünlerin oluşturduğu belirlenmiştir.

## **SUMMARY**

### **THE RESEARCH OF POSSIBILITY OF OBTAINING SEMICOKE FROM ISTANBUL-YENIKÖY REGION COALS**

In this study, the possibility of obtaining semicoke that would not create any problems in terms of air pollution has been researched by applying the low temperature coking on İstanbul-Yeniköy region coals.

Experiments have been carried out for samples taken from İstanbul-Yeniköy region coals. Some 500 kg. samples were taken from bottom, middle and top seams which belong to a private mining company. After these samples have been reduced to 10 mm below, they have been subjected to experiments.

The result of ash and sulphur distribution has been specified in according with their sizes. From the results, particles have completely constituted big size and had low ash content. As their sizes reduces, so the ash content increases, too.

The sulphur content of top seams has been diminished when their sizes are reduced whereas this case has not been met for other seams. The sulphur content of various size coals for bottom seams has increased 3-5 times compared to other seams.

As a results of tests made on coal seams, it was observed that these seams had similar features each other and samples from each seams should have blended in accordance with their reserves. And therefore experiments have been carried out for these blended samples. The blended samples have been consisted of 33.3% top seam, 53.3% middle seam and 13.4% bottom seam.

The macroscopic observations made on the coal samples have shown that these region coals have completely constituted mat and dark brown. In addition to this, some fibber structure zones with light brown have been met as well as the smallest size (40-10  $\mu$ m) pyrite phases, majority located at the bottom seams.

First of all, physical and chemical features were determined for blended material (the sample) during the experiment. It was observed that this sample consists of 32.50% moisture, 12.30% ash, 46.57% volatile material, 40.82% fixed carbon, 1.88% total sulphur and 1.05% combustible sulphur, and has 5426 Kcal/kg of upper calorific value.

For the purpose of determination of washable features of the sample, coals with - 100 mm in size were classified as -100 +50 mm, -50 +19 mm, and -19 +1 mm, and individual sink and float experiments were made for each

classification. Particle -ash -curves obtained by classifications has showed that concentration of this coal would be achieved with small particles rather than big particles in size. Inherit ash in coal was defined as 7.3% by sink and float experiments.

Because of the high ash (16.05%) in coals with -19 +1 mm in size, firstly they were classified as - 19 + 10 mm, -10 +6 mm, -6 +3.36 mm and -3.36 +1 mm; secondly concentration with jig was used for coal between 3.36 mm and above; lastly shaking table was employed for coal with -3.36 +1 mm in size. From this experiment, Yeniköy blended-coal sample (-19 +1 mm) resulted in a clean coal with 11.49% ash and 79.7% combustible output in a ratio of 75.78% in quantity.

Run-of-mine output with -100 + 19 mm in size and clean coal with -19 + 1 mm in size obtained by jig and shaking table were mixed, and this blend was used in low temperature coke experiments. This coal (+ 50 mm) size was reduced to -50 mm below by taking into consideration of inside volume of retort used for coking.

Dilatation tests have been carried out to determine the dilatation features of coal so that this would indicate the low temperature coking tests. Experiments were verified by heating between 300 - 650 °C with 3 °C/min heating speed. When results were examined, it was observed that coal had shrinkage event rather than dilatation.

Low temperature coking tests were made with the 500 gr samples which has no surface moisture. An average inherit moisture of coal was found to be 14.18%.

Additionally, the effect of particle size and time on coking was examined at low temperature coke - tests. Coals classified as - 50 +19 mm, - 19 +10 mm, - 10 + 1 mm in size were subject to coke with a period of 20, 40, 60, 80, 100 and 120 minutes at coking furnaces which have fixed bed and inside volume.

As a result of experiments made with different temperatures, regarding the other parameters, the biggest effect in coking was observed to be the temperature. Coal was converted to semicoke in a short period, especially in high temperatures. Meanwhile, the sulphur and tar content of coal has reached the desired level namely, 1.40% and 0% respectively.

The content of volatile material which previously was made at 400 °C with 120 minutes was resulted in 700 °C temperature at about 15 minutes, too. For example, while the volatile content of semicoke between -50 +19 mm in size was becoming 27.82% at 400 °C with 120 minutes, the content was decreased to 9.62% at 700 °C with 120 minutes.



There are some liquid with tarry in volatile material of coal as well as gas. By the effect of the temperature, these materials has started to move apart from coal. While the liquid with tarry was completely left the coal at about 600 °C, gas emission has continued until 900 - 1000 °C temperature. According to the experiments, the removing of the liquid products from the coal has continued until the coal would has 15% volatile material.

While the decrease of volatile part (volatile material + inherit moisture) of coal, during the coking, has tended to close to the linear curve at 400 °C (low temperature), it would present three different behaviour at 700 °C (high temperature). The volatile part has rapidly (a straight curve) left the coal in 20 - 25 minutes whereas removing speed of volatile material has reduced on a large scale at 25 - 60 minutes, and coking has almost been completed in the end. The removing of volatile material has slowed down (close to a plain curve) 60 minutes later. In case of being 500 - 600 °C, the removing of volatile material was found to have two different tendency.

It was understood that the removing tendency of volatile material was the same for three different particle size.

As long as the volatile material of coal is removed, fixed carbon content of coal is increased. While this increase becomes less at low temperatures, it has a lot at high temperatures. Low temperature coking which has been achieved at 700 °C in 20 minutes has not have fixed carbon content at 400 °C in 120 minutes. For instance, for - 50 + 19 mm, the fixed carbon content of dry coal in the air was 36.02% whereas this value reached 70.77% at 700 °C with 120 minutes.

When fixed carbon curves are concerned, these curves behave close to the linear curves at low temperatures, and this case changes as the temperature increases. At the beginning of the semicoking, the fixed carbon content of coal has rapidly increased at high temperatures (700 °C). Later, this increase has slowed down, and had a low value at the end of semicoking.

Because the fixed carbon content of coal is increased with semicoking, the upper calorific value is increased, too. While an average upper calorific value of dry coal is 4748 Kcal/kg in the air, this value has increased to 6585 Kcal/kg at 700 °C with 120 minutes as a result of the coking process.

From the result of semicoking experiments made for each particle size, considerable part of combustible sulphur has been determined to remove the coal.

The amount of total sulphur removed from the coal has increased depending upon the coking temperature and time. From the sulphur removing curves, the biggest effect for total sulphur removed from coal has been considered to be the temperature. An example is that the total sulphur removal made at 700 °C with 20 minutes was not obtained even to 400 °C with 120 minutes. It was

realised that the process of sulphur removal occurred at high temperatures (600 - 700 °C) with very fast speed.

If curves of the total sulphur removed are generally examined, the majority (60%) of total sulphur which is found in coal at 600 - 700 °C with a period of 60 - 80 minutes will remove the coal.

The total sulphur content of coal for the three size group was determined to increase a little both at 400 °C coking temperature and beginning of the coking. This matter was due to the loss of water at the beginning and being low temperature like 400 °C, and that removal kinetics of volatile parts from coal become higher than disintegration kinetics of sulphur.

According to the dry base, the total sulphur with 1.88% in run-of-mine output coal has reduced about 1% (1.06 - 1.20%) at 700 °C with 2 hours coking period. The combustible sulphur of this coal has changed from 1.05% to 0.10% levels.

Disintegration of coal has happened at low temperature coking. The quantity left on lower size for each size group has been decreased with regard to coking temperature and its time. Since particles are dispersed by coking, they show the same tendency for different temperatures for each size group. However, as long as the original size of particle becomes small, their dispersions will be reduced during the coking. For example, coal with - 50 + 19 mm in size at 700 °C, coking by a period of 120 minutes, 56.8% of semicoke has passed under 19 mm in size. However, if coal with - 10 + 1 mm in size are semicoked under the same semicoking temperature and time, 8% of semicoke has passed under 1 mm in size. From these results, thermic shock in big size coal becomes more effective.

In order to remove the termic shock effect relatively on the particle, coal which belongs to three separate size has placed furnaces which have different room temperatures. The temperature has increased to be 100 °C/minute and been subjected to semicoking. When the results were examined for sizes between -50 + 19 mm according to direct semicooking, the quantity left on the sieve (+19 mm) risen about 8.69%, this case was 1.66% for -19 + 10 mm size group, and the others did not have any increases.

From these tests, the best semicoking conditions have been specified for İstanbul-Yeniköy region coals. We have agreed that an important parameter would be the temperature and chosen 650 °C for coking temperatures at semicoking tests. Removing of tar in coal was considered to be determine the coking time. The coking period between 50 and 76 minutes would be enough to get semicoke which has 15% volatile material. Moreover, semicoke which was obtained under the best conditions has had 16.67% ash, 15.24% volatile material, 68.09% fixed carbon, 1.45% total sulphur, 0.40% combustible sulphur, and 6404 Kcal/kg upper calorific value. Additionally, the ignition heat value of this semicoke is determined as 321 °C.



In order to specify the secondary products which have happened during the coking, the coal which has no moisture for -50 +1 mm in size has been used for coking. From this test made with the best conditions, the coal has had 60,2% semicoke, 20.3% gas and 19.5% liquid products.

The liquid products were analysed to determine the gas compounds. As a result, these gases were constituted majority by  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  and  $\text{CO}_2$ . In addition to these, there were some sulphur gases ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ) about 4.7%, too.

Test made for the determination of the liquid of coal have resulted 54.5% tar and 45.5% disintegration water. The tar was constituted by aromatics which were consisted of benzene, phenol, ethanol, naphthalene, azulene and kcykene.

Briquetting studies has been carried out for small size semicokes (-10 mm) which has been resulted in low temperature coking of İstanbul-Yeniköy region blended samples. The amount of -10 mm semicokes has been 30.2% of total semicokes. The reason of this study was to use the small size semicokes as a house fuel after their size would be made bigger.

In briquetting tests, particle size, briquetting load and the effect of cohesion on briquetting have been researched. It has been used -3.36 and -1 mm as particle size; 20, 30 and 40 tons as briquetting load; 4-14% molasses and 0-6% lime as adhesive material.

At initial tests made, although briquettes that have had high shatter index have been made by molasses, this briquette has shown plastic feature and to change its shape under the low press, too. Addition of lime in a determined ratio would be useful to solve the plastic feature of briquetting. As the lime makes the shape of briquette strong, so the combustible sulphur in coal will be kept  $\text{CaSO}_4$ .

It has been understood that the best conditions in briquetting of -10 mm size semicoke would be achieved by adding 12% molasses and 3% lime, and briquetting under 30 tons load after making it -1 mm lowersize.

Consequently, briquetting has consisted of 8.46% moisture, 19.98% ash, 20.49% volatile material, 59.53% fixed carbon and 0.11% burning sulphur, and had 6101 Kcal/kg top thermal value. Additionally, this briquette has a result of 93.22 ASTM drum test, 330 °C initial burning temperature and an average resistance of 92 minutes against to the water and shatter index of 1505.

In case of that İstanbul - Yeniköy region coals are subject to semicoking, solid, liquid and gas products are obtained. When these products are used, this process will be more economic.

## BÖLÜM 1 GİRİŞ VE AMAÇ

Kömür, enerji hammaddelerinin en önemlilerinden birini oluşturan tortul bir kayadır. Fosil kokenli olan bu yakıt, toplam dünya enerji potansiyelinin dörtte birini ( $8.2 \times 10^{11}$  TE\*) oluşturmaktadır. Günümüzde enerji tüketiminin yılda 10 milyar ton TE\* dolayında olduğu düşünülürse, kömürün daha uzun yıllar dünya enerji sektöründe ön sıralarda yer alacağı ortaya çıkmaktadır [1, 2, 3, 4].

Kömür olduğu gibi kullanılabilen ve yakıt olarak tam verim elde edebilmek amacıyla, özelliklerine göre çeşitli proseslerden geçirilmek suretiyle de farklı özelliklerdeki ürünler haline dönüştürülebilen bir yakıttır. Günümüzde, bir kömürün özelliklerine göre en uygun ürün haline dönüştürülüp, kullanılması çağdaş bir yaklaşım olmaktadır. Kömüre uygulanan başlıca prosesler arasında düşük ve yüksek sıcaklık koklaştırması, gazlaştırma, sıvılaştırma ve briketleme sayılabilir.

İstanbul Bölgesi kömürleri %40 dolaylarında uçucu madde, %2 dolaylarında kükürt içermesine karşın, günümüze kadar üzerinde yeterli düzeyde iyileştirme çalışmaları yapılmamış ve çoğunlukla ev yakıtı olarak kullanılmıştır. Bu kömürlerin gelişi güzel yakılması; kömürdeki uçucu maddelerin tamamı yanmadan, ufak parçalar ile birlikte havaya karışmasına ve bunun sonucu olarak, hava kirliliğine neden olmaktadır. Halbuki, bu kömürlerin semikok halinde yakılması durumunda kömürden kaynaklanan çevre kirliliği önlenebilecek; aynı zamanda semikok üretimi sırasında çıkacak sıvı ve gaz ürünlerin diğer alanlarda kullanılabilme olanağı doğacaktır.

Bu tez çalışmasında, İstanbul-Yeniköy bölgesi kömürlerinin zenginleştirilebilme, düşük sıcaklık koklaştırması ile düşük kül, kükürt ve uçucu madde içerikli semikok üretimi ve bu semikokun briketlenebilme olanakları araştırılmıştır.

---

TE\* = Ton Taşkömüre Eşdeğer.

Tezin 2. bölümü genel bilgiler, 3. bölümü deneysel çalışmalar, 4. bölümü sonuçların irdelenmesi ve 5. bölüm genel sonuçları kapsamaktadır.



## BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER

Bu bölüm; kömürün oluşumu, rezervi ve üretimi, petrografisi, diğer başlıca özellikleri, sınıflandırılması, teknolojisi ve kullanım alanlarını kapsamaktadır.

### 2.1 Kömürün Oluşumu

Kömürler, bitkilerin belirli şartlar altında fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu meydana gelen katı bir maddedir. Bitkilerin kömürlere dönüşümü sırasında meydana gelen olayları iki grupta incelemek mümkündür.

**Turbalaşma:** Turbalaşmada pek çok olaylar birlikte gelişmektedir. Öncelikle, bataklık alanlarda yetişen bitkiler ile çevreden gelen bitkilerin aynı yerde birikmesi turbalaşmanın kaynağını oluşturur. Bu bitki kalıntıları bakteri ve mantar gibi mikro-organizmaların etkisi altında bozuşmaya uğrar. Daha sonra bu bölgelerde meydana gelen çeşitli jeolojik hareketler sonucu bozuşma daha da hızlanarak turba oluşur.

**Kömürleşme:** Turbalar, fiziksel, kimyasal ve jeolojik olayların etkisi ile çeşitli derecelerdeki kömürlere (liniyit, yarı bitümlü ve bitümlü kömürler, antrasit ve meta antrasit) dönüşebilmektedir. Yerkabuğunda meydana gelen çeşitli jeolojik olaylar sonucu turba yatakları daha alt seviyelere konuşlanarak, üzerinde biriken kil, kum, marn gibi malzemelerden oluşan katmanların basıncı altında sıkışır. Jeolojik hareketler (basılma ve yükselme) ve kimyasal reaksiyonlar sonucu tabakalar arasındaki sıcaklık 600-°C, basınç ise 1500 atmosfere kadar çıkabilmektedir. Bu şartlar altında, belirli süre içinde turba kömüre dönüşebilmektedir [1, 2, 3].

## 2.2 Kömür Rezervleri ve Üretimleri

Bu bölümde, Dünya'daki ve Türkiye'deki kömür rezervleri ve üretim miktarları hakkında genel bilgiler verilmiştir.

### 2.2.1 Dünya Kömür Rezervleri ve Üretimi

Dünya kömür rezervinin  $11 \times 10^{12}$  ton dolaylarında olduğu tahmin edilmektedir. Dünya görünür kömür rezervi ve bunların kıtalara göre dağılımı Tablo 2.1'de verilmiştir [1, 3].

Tablo 2.1 Dünya görünür kömür rezervleri ve kıtalara göre dağılımı.

| KITALAR               | REZERV ( $10^9$ TE*) |
|-----------------------|----------------------|
| Kuzey Amerika         | 214.75               |
| Orta ve Güney Amerika | 8.41                 |
| Batı Avrupa           | 75.02                |
| Doğu Avrupa ve BDT    | 253.57               |
| Ortadoğu              | 0.15                 |
| Afrika                | 51.97                |
| Uzakdoğu              | 208.05               |
| TOPLAM                | 811.91               |

Tablo 2.1'deki dünya kömür rezervine antrasit, bitümlü ve yarı bitümlü kömürler ile linyitler dahil edilmiştir. Bu tablodan da görüleceği üzere, dünya kömür rezervinin büyük bir bölümü Kuzey Amerika, Doğu Avrupa, BDT, Uzakdoğu ve Avustralya'da toplanmıştır.

1973'ten günümüze kadar ABD, BDT, Kanada, Avustralya, Güney Afrika ve Çin gibi ekonomik ve büyük kömür rezervlerine sahip ülkelerin kömür üretiminde kayda değer

artışlar olmuştur. Dünya taşkömürü üretimi Tablo 2.2’de linyit üretimi ise Tablo 2.2’de verilmiştir [5].

Tablo 2.2 Dünya toplam taşkömürü üretimi ( $10^6$  ton)

| YILLAR                         | 1973   | 1978   | 1982   | 1984   | 1986   | 1987   | 1988   |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Toplam<br>Taşkömürü<br>Üretimi | 2181.5 | 2546.0 | 2829.2 | 2963.1 | 3187.5 | 3236.3 | 3322.7 |

Tablo 2.3 Dünya toplam linyit üretimi ( $10^6$  ton)

| YILLAR           | 1982    | 1984   | 1986   | 1988   | 1990   | 1991   |
|------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Toplam<br>Üretim | 10 77.7 | 1144.6 | 1232.9 | 1212.0 | 1444.0 | 1365.0 |

### 2.2.2 Türkiye Kömür Rezervleri ve Üretimi

Ülkemiz enerji ihtiyacının önemli bir kısmını kömürden sağlamaktadır. Yapılan son çalışmalarla kömür rezervimizin  $30 \times 10^9$  ton dolaytarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu rezervin büyük bir kısmını linyitler oluşturmaktadır [3, 4].

Türkiye linyit üretiminin %90’ı açık işletme, %10’u ise yeraltı işletme yöntemleriyle yapılmaktadır. Ülkemizde üretilen bu linyitlerin önemli bir bölümünü düşük kaliteli (2000 Kcal/kg altı) linyitler teşkil etmektedir. Toplam linyit rezervinin %3.47’si 3000 Kcal/kg ve üzerinde, %19.61’i 2500-3000 Kcal/kg arasında ve % 76.92’si 2500 Kcal/kg’ın altındadır. Türkiye’nin bilinen linyit rezervi Tablo 2.4’de, yıllara göre linyit üretimi Tablo 2.5’de ve 2010 yılına kadar linyit üretim programı ise Tablo 2.6’da verilmiştir [6, 7, 8, 9, 10 ].

Tablo 2. 4 Türkiye linyit rezervi ( $10^3$  ton)

| SEKTÖR      | Görünür   | Mümkün  | Muhtemel | Toplam    |
|-------------|-----------|---------|----------|-----------|
| TKİ         | 5,333,031 | 166,571 | 300,124  | 5,750,726 |
| Özel Sektör | 1,561,446 | 298,550 | 441,371  | 2,301,367 |
| TOPLAM      | 6,895,477 | 415,121 | 741,495  | 8,052,093 |

Tablo 2.5 Yıllara göre Türkiye linyit üretimi ( $10^3$  ton)

| YILLAR | 1980  | 1984  | 1988  | 1989  | 1990  | 1991  | 1992  | TOPLAM |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Toplam |       |       |       |       |       |       |       |        |
| Üretim | 13713 | 21048 | 27630 | 40857 | 38402 | 39178 | 42862 | 223690 |

Tablo2.6 Türkiye'nin 2010 yılına kadar toplam linyit üretim programı ( $10^3$  ton)

| YILLAR | KAMU  | ÖZEL  | TOPLAM |
|--------|-------|-------|--------|
| 1995   | 60801 | 12648 | 73446  |
| 1996   | 59448 | 12957 | 72445  |
| 1997   | 58440 | 13953 | 72393  |
| 1998   | 61348 | 14762 | 76110  |
| 1999   | 64114 | 15564 | 79678  |
| 2000   | 72250 | 16364 | 88614  |
| 2005   | 76260 | 20066 | 96326  |
| 2010   | 86300 | 23300 | 109600 |

Tablo 2.6'dan da görüleceği üzere, 2010 yılına kadar Türkiye linyit üretiminin 100 milyon tonnun üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir. Bu da göstermektedir ki,

2000'li yılların başında ülkemiz enerji ihtiyacının büyük bir kısmını linyitten sağlayacaktır.

Ülkemizde en önemli taşkömürü yatakları Zonguldak ili ve çevresi ile Antalya - Pamucak yöresinde bulunmaktadır. Bu taşkömürleri, toplam Türkiye'deki kömür rezervlerinin %10'unu teşkil etmektedir. Türkiye taşkömürü rezervleri Tablo 2.7'de ve yıllara göre üretimi ise Tablo 2.8'de verilmiştir [10, 11] .

Tablo 2.7 Türkiye taşkömürü rezervleri ( $10^6$  ton)

| MÜESSESELER | GÖRÜNÜR | MUHTEMEL | MÜMKÜN | TOPLAM |
|-------------|---------|----------|--------|--------|
| Armutçuk    | 17.5    | 11.0     | 39.8   | 69.3   |
| Kozlu       | 13.9    | 23.6     | 225.0  | 262.5  |
| Üzülmaz     | 49.7    | 101.8    | 79.3   | 230.8  |
| Karadon     | 29.3    | 93.2     | 344.6  | 467.1  |
| Amasra      | 27.1    | 193.9    | 60.7   | 281.7  |
| TOPLAM      | 138.5   | 423.5    | 749.4  | 1311.4 |

Tablo 2.8 Yıllara göre Türkiye taşkömürü üretimi ( $10^3$  ton)

| YILLAR | SATILABİLİR<br>ÜRETİM | TUVENAN<br>ÜRETİM |
|--------|-----------------------|-------------------|
| 1952   | 3010                  | 4846              |
| 1962   | 3893                  | 6485              |
| 1972   | 4641                  | 7962              |
| 1988   | 3256                  | 6687              |
| 1992   | 2829                  | 4790              |
| TOPLAM | 17629                 | 30770             |



Zonguldak havzasında üretilen bu kömürlerden Karadon, Üzülmez ve Kozlu kömürleri koklaşabilme özelliğine sahipken, Armutcuk ve Amasra kömürlerinin koklaşabilme özelliği pek yoktur [2, 12].

### 2.3 Kömür Petrografisi

Bütün kömürler organik ve inorganik bileşenlerden oluşan heterojen bir maddedir. Kömürün gözle görülebilen organik bileşenlerine litotip; litotipleri meydana getiren mikroskobik bileşenlerine ise maserel denilmektedir. Ayrıca, değişik maseral kümelerinin bir araya gelmesinden de mikrolitotipler oluşmaktadır. Maseraller, maseral kümeleri ve mikrolitotipler kömürün mikroskopik yapıcılarıdır [1,2].

#### 2.3.1 Litotipler

Kömürler mikroskobik olarak parlak, yarı parlak, mat veya ince bantlar halinde bulunabilmektedir. Çıplak gözle bantlar halinde görülebilen bu litotipler; karakteristik özelliklerine göre vitrain, klarain, durain ve füsain'den oluşan dört gruba ayrılırlar.

**Vitrain:** Kömürün en kompakt, homojen ve parlak bantıdır. Camsı görünüşte, konkoidal küpler şeklinde kırılan bu kömür eli boyamaz. Vitrainin bant kalınlığı 5 mm'ye kadar çıkabilmektedir.

**Klarain:** En yaygın kömür bantı olan klarain, vitrain'e göre daha az parlaklıktadır. Bu litotipin yapısı durain ile vitrain arasında değişmektedir.

**Durain:** Donuk bantlı olan bu kömürün rengi griden kahverengimsi siyaha kadar değişmektedir. Çok serttir; kırıldığında düzgün yüzeyler vermezler; klarain ve vitrain'den daha az bulunmaktadır.

**Füsain:** Odun kömürünü andıran ipliksi yapısı, siyah ve grimsi-siyah rengi ile ayırt edilmektedir. Çok kırılabilir olan bu bant kırıldığında eli boyar. Mineral içeriğine bağlı olarak sertliği artabilmektedir [1, 2, 3].

### 2.3.2 Maseraller

Mikroskobik boyutlu olan masereller biçim ve yapıları ile kömürleşme sırasında korunmuş olan kömürleşmiş bitki kalıntılarıdır. Bu masereller, kömürü oluşturan bitki kalıntılarının fiziksel ve kimyasal yapılarına göre vitrinit, eksinit ve inertinit olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

**Vitrinit:** Kömürleşme derecesine bağlı olarak, yansıyan ışıktaki rengi siyahımsı griden beyaza kadar değişen bir kömürdür. Parlak kömürlerin en yaygın birimi olan maseralın orijini ağaç ve ağaç kabuğu dokusuna dayanır. Vitrinit koklaşma yeteneği yüksek olan bir masereldir. 335 - 500 °C arasında plastikleşebilir.

**Eksinit:** Bu maseral mikro ve makro sporlardan, hücre dışı yapılardan, reçine ve yosun artıklarından oluşur. Yansıyan ışıktaki kömürleşme derecesi artışına göre sarı, kahverengi ve siyah renkler gösterir. Bunlar ısıtıldıklarında vitrinite göre daha az plastik özellik gösterir.

**Inertinit:** Büyük bir kısmı belirgin hücre yapısı gösteren bu maseralın orijini ağaç dokusuna dayanır. Yansıyan ışıktaki sarımsı - beyaz renkte görülür. Bu kömürlerin plastikleşme özellikleri yoktur.

### 2.4 Kömürün Özellikleri

Kömürlerin kullanımında çeşitli fiziksel, kimyasal ve fiziko - kimyasal özellikler önemli rol oynamaktadır. Kömür teknolojisinde ve kullanımında en çok yararlanılan başlıca özellikler aşağıda verilmiştir.

**Rutubet:** Kömürlerde bünye, yüzey ve molekül suyu olmak üzere üç türlü rutubet bulunmaktadır. Bünye rutubeti (hidroskopik rutubet) kömürlere adsorbsiyon ve kapiler kuvvetlerle bağlıdır. Bu rutubet, kömürün 105 °C'de, belirli bir süreyle (2-4 saat) ısıtılmasından sonra kömürden uzaklaştırılır. Yüzey rutubeti, kömürün yüzeyindeki

boşluklarda serbest halde bulunur. Kömür, havada belirli bir süre (2-4 gün) bekletildiğinde bu rutubet kömürden uzaklaştırılır. Molekül suyu (hidrat suyu) ise kömüre kimyasal olarak bağlanmıştır ve kömürün toplam rutubeti içindeki payı oldukça düşüktür [1, 14]

Kömürler, kömürleşme derecelerine göre, ocak çıkışında belirli oranlarda rutubet içerirler. Ocaktan çıkartılan tuvenan taşkömürü %1 - 3 , sert linyitler %20 - 30 , yumuşak linyitler %40 - 60 ve turbalar ise %60'ın üzerinde rutubet içerebilmektedir. Görüldüğü gibi, kömürün rutubet içeriği kömürleşme derecesi arttıkça azalmaktadır [1, 2].

**Özgül Ağırlık:** Kömürler oluşum şartlarına bağlı olarak, farklı özgül ağırlıklara sahip olabilmektedir. Kömürün özgül ağırlığı, onu oluşturan maddelerin (kül, kükürt, rutubet, sabit karbon ve uçucu madde) içeriğine bağlıdır. Örneğin; kömürdeki kül yapıcı ve kükürt taşıyıcı (pirit, markasit) unsurların artması kömürün özgül ağırlığını artırmakta ve gravite ile zenginleştirilmelerini zorlaştırmaktadır. Bazı saf kömürlerin özgül ağırlıkları aşağıda verilmiştir [2].

**Özgül Ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)**

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| Linyit.....        | 1.05 - 1.30 |
| Bitümlü Kömür..... | 1.15 - 1.50 |
| Antrasit.....      | 1.40 - 1.70 |

**Açık Havada Dağılabilirlik:** Ocaktan çıkartılan kömürler, normal atmosfer şartlarına bırakıldıklarında atmosfer koşullarından etkilenecek şekilde dağılırlar. Kömürlerin dağılımı, kömürleşme derecesiyle yakından ilgilidir. Linyit açık havada kolaylıkla dağılabilirken, bitümlü kömürler aynı koşullardan çok daha az dağılırlar. Bu olaylar, kömürlerin ıslanması veya kurumması sırasında, kömür yüzeyleri ile iç kısımlar arasında meydana gelen gerilmelerden kaynaklanmaktadır. Kuru bir kömür parçası ıslak bir ortama bırakıldığı zaman yüzey su almaya başlar, parçanın yüzeyi ıslandıkça dış

kısımdaki rutubet içe doğru hareket eder. Kömür yüzeyine su girişi, iç kısımlara nazaran daha hızlı olduğundan parça yüzeyi daha fazla genleşiir ve gerilmeler oluşur. Bu gerilmelerde parçaların çatlayıp, ufalmalarına neden olur. Aynı şekilde, ıslak bir kömür parçası havada kurumaya başladığında, yüzeyinden rutubet kaybetmeye başlar. Parçanın yüzeyi kurudukça, i kısımlardaki rutubet y zeeye doğru hareket ederek, kaybolan rutubetin yerini almaya çalışır. Eğer yüzeydeki rutubet kaybı, i kısımlardaki rutubetin y zeeye gelişinden daha hızlı olursa parçanın yüzeyi i kısımlardan daha fazla büzülür ve kömür dağılır [ 2].

Kömür satışlarında kömürün boyutu önemli olmaktadır. İri kömürün fiyatı, ince kömürün fiyatından daha yüksek olması nedeniyle, kömürün dağılarak ufalanması pek istenmeyen bir durumdur. Ayrıca, kömür dağıldıkça oksitlenme hızı artmakta ve kömürde ani yanmalar olabilmektedir [2, 3].

**Renk ve Cizgi Rengi:** K m rl r kömürleşme derecelerine bağlı olarak farklı renklere sahip olabilmektedir. Linyitlerin rengi açık kahverengi ile koyu kahverengi arasında olmaktadır. Bitümlü k m rl r ise siyahın çeşitli tonlarına sahiptir. Linyitlerin izgi rengi sarı ve kahverengi arası, bitümlü k m rl rin ise kahverengi ve siyah arasında değişmektedir [1, 2].

**Parlaklık:** Kömür ait olduğu sınıfa göre ışığı farklı oranlarda yansıtır. Antrasit genellikle parlak görünüme sahiptir. Linyitler daha ziyade mat ve toprağımsı görünüşlüdür. Bitümlü k m rl rin parlaklığı ise mat ile parlak arasında değişmektedir.

**Ucucu Madde:** Kömür oksijensiz ortamda ısıtıldığı zaman belirli oranlarda kimyasal değişikliklere uğrar ve bu sırada, kömürden çoğunlukla hidrojen, metan, karbon dioksit, karbon monoksit, etan ve azottan oluşan gazlar ile katran buharları açığa çıkar. K m rl rin ısıtılması sonucu gaz halinde açığa çıkan bu maddelerin toplamı “uçucu madde “ olarak tanımlanır.

Yüzey rutubeti ve bünye rutubeti uçucu maddeye dahil edilmemekte; fakat, kömürdeki molekül suyu uçucu madde içinde yer almaktadır [1].

Karbonat içeriği ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  ...) yüksek olan kömürlerin uçucu madde içerikleri, gerçek değerinden daha fazla olarak saptanmaktadır. Bu nedenle, ısıtma sırasında karbonatlı minerallerden çıkan  $\text{CO}_2$  gazı tesbit edilerek meydana gelen hatalar düzeltilir.

Bir kömürün koklaşabilmesi için %25 - 30 oranında uçucu madde içermesi gerekir. Koklaşma işlemi sırasında uçucu maddelerin kömürü terk etmesi koklaşmaya, özellikle poroz yapının oluşmasına yardım eder. %20'den daha az ve %35'den daha fazla uçucu madde içeren kömürler koklaşma özelliği pek göstermezler [1].

Aşağıda ısınma amacıyla kullanılan bazı yakıtların uçucu madde içerikleri Tablo 2.9'da verilmiştir [2].

Tablo2.9 Bazı yakıtların uçucu madde içerikleri (kuru ve külsüz baza göre)

| YAKIT TÜRÜ         | UÇUCU<br>MADDE (%) |
|--------------------|--------------------|
| Odun               | 75                 |
| Turba              | 65                 |
| Kahverengi Kömür   | > 50               |
| Linyit             | 40 - 50            |
| Alt Bitümlü Kömür  | $\cong$ 45         |
| Bitümlü Kömür      | 18 - 40            |
| Yarı Bitümlü Kömür | 5 - 20             |
| Antrasit           | 1 - 5              |

**Kül:** Kömürün bünyesinde bulunan anorganik maddeler yanma sırasında oksitlenerek ve parçalanarak; geride genellikle oksitlerden oluşan bir artık bırakır. Bu artık, kömürün mineral kökenli bileşiklerinden kaynaklanır. Tablo 2.10'da kömürde sık raslanılan minerallerin yanması sonucunda geride bıraktıkları oksitler ile bu mineraller arasındaki bağıntılar görülmektedir [3].

Tablo 2 10 Kül yapıcı mineraller ve yanma sonucu oluşan reaksiyonlar

| MİNERAL<br>MADDELER (1)                                                             | YANMA SONUCU<br>OLUŞAN OKSİTLER (2)                               | ORAN<br>(1/2) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------|
| $\text{CaCO}_3$                                                                     | $\text{CaO} + \text{CO}_2$                                        | 1.79          |
| $\text{MgCO}_3$                                                                     | $\text{MgO} + \text{CO}_2$                                        | 2.09          |
| $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$                                            | $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$                             | 1.27          |
| $\text{FeS}_2$                                                                      | $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2$                             | 1.50          |
| $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$<br>(Kaolinit) | $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ | 1.16          |
| $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$                                                        | $\text{CaO} + \text{MgO} + 2\text{CO}_2$                          | 1.42          |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3/2\text{H}_2\text{O}$                                 | $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3/2\text{H}_2\text{O}$                   | 1.17          |

Kömürde bulunan kül, aşağıda belirtilen ekonomik ve teknolojik sebeplerden dolayı pek arzu edilmez [1]:

- Kömürün kül içeriği arttıkça, kömürün yanıcı madde içeriği azalmakta ve buna bağlı olarak kömürün ısı değeri düşmektedir.
- Fazla kül, kömür kullanan reaktörlerin kapasitelerini düşürmektedir.
- Kül içeriği yükseldikçe kömürün yakılması zorlaşmakta ve belirli bir kül içeriğinden sonra yanma tamamen durmaktadır.
- Fazla kül, kömürün uzun mesafelere taşınması halinde nakliye masraflarını artırmaktadır.

- Kömürün kül içeriği arttıkça, bu kömürlerden elde edilen biriketin sağlamlığı azalmaktadır. Briketlemede kullanılan kömürün kül içeriğinin %4 - 15 arasında olması istenir.
- Koklaşma amacıyla kullanılan kömürün külünün %8'in , düşük sıcaklık koklaşması için kullanılan kömürün külünün ise %13'ün altında olması istenir.

**Kükürt:** Kükürt içeriği, kömürün çeşitli kullanım alanlarında çeşitli sorunlar yarattığından nem ve kül gibi bir empüredir. Kükürt, metalurjide kullanılan kokun kalitesini düşürmekte, kazanlarda korozyonu hızlandırmakta ve %2'den fazla bulunduğu zaman fırınlarda klinker oluşumunu artırmaktadır. Ayrıca, kömür yandığı zaman  $SO_2$  ve  $H_2S$  gazları atmosfere karışarak çevrenin kirlenmesine neden olmaktadır.

Kömürde üç türlü kükürt bulunur. Bunlar; organik kükürt, sülfat kükürdü ve piritik kükürten oluşur. Yanabilir bir kükürt olan organik kükürt, kömürün hidrokarbon zincirinde yer alır. Bu tür kükürdün kaynağı, kömürü oluşturan bitkilerin yaşaması için topraktan almış olduğu besin maddelerinden kaynaklanır [1].

Kömürde sülfat kükürdü kalsiyum, magnezyum, demir ve bakır sülfat tuzları halinde bulunur. Kömürün içerdiği sülfat kükürdünün miktarı oldukça azdır; fakat kömür hava ile reaksiyona girdikçe kömür yüzeysel bozunmaya uğrayarak bu değer artar[1].

Piritik kükürt kömürde genellikle pirit ve markasit olarak iki mineral halinde bulunur. Bu minerallerden her ikisinde aynı kimyasal yapıya ( $FeS_2$ ) sahipken, birbirlerinden yalnızca kristal şekilleri bakımından ayrılırlar. Piritin kristal yapısı kübik, markasitinki ise ortorombiktir. Kömürde piritik kükürdün boyutları gözle görülebilen boyutlardan, birkaç mikrona kadar değişebilir. İri boyutlu piritler damarlar, mercekler ve yumrular halinde; ince boyutlu piritler ise kürecikler ve damarcıklar halinde görülür. Piritik kükürtlerin tamamı yanma özelliğine sahiptir [1, 15, 16].

Dünyadaki kömürlerin büyük bir kısmında toplam kükürt içeriği ortalama % 0.5 - 3 arasında değişmektedir. Ev yakıtı ve teknolojik amaçlarla kullanılan kömürün kükürt içeriğinin % 1'in altında olması istenmektedir [1, 2, 3].

**Isıl Değer:** Kömür yandığı zaman, içerdiği karbon ve hidrojen bileşiklerinin oksitlenmesi sonucu bir ısı açığa çıkar. 1 kg kömürün yakılması ile meydana gelen ısı miktarı, o kömürün ısıl değerini verir. Kalorimetre ile kömürlerin ısıl değerleri saptanmaktadır.

Kömürde bulunan rutubet, kül ve uçucu madde miktarları, kömürün ısıl değerini etkileyen en önemli parametrelerdir. Bu maddelerin artması halinde kömürün ısıl değeri azalır. Kömürleşme derecesiylede yakından ilgili olan ısıl değer, turbadan antrasite doğru gidildikçe artar. Yapılan literatür çalışmalarında ısıl değer 850 - 8500 Kcal/kg arasında değiştiği gözlenmiştir [9, 10, 17].

**Kömürün Oksitlenmesi:** Bazı kömürler oksijen içeren bir ortama girdiklerinde, kömür yüzeyinde oksitlenme başlar. Daha sonra, oksijen kömürle kimyasal bağ kurarak, kömürden  $CO_2$ , CO ve  $H_2O$  gazları açığa çıkar.

Oksitlenme hızı, kömürde bulunan uçucu madde miktarı ile değişebilir. Yapılan çalışmalar sonucu, yüksek uçucu madde içeren kömürlerin, düşük uçucu madde içeren kömürlerden daha fazla oksitlendiği görülmüştür. Bunun en önemli nedeni; yüksek uçucu madde içeren kömürlerin oksijene karşı daha aktif olması ve daha fazla özgül yüzey alanına sahip olmasındandır. Ayrıca, oksitlenme hızı ortamın sıcaklığına ve tane boyutuna da bağlıdır [1, 3].

Oksitlenme sonucu kömürün özellikleri önemli ölçülerde değişebilir:

- Kömür altere olur ve tozlanır,
- Kömürün ısıl değeri düşer,



- Kömürün tutuşma sıcaklığı yükselir,
- Koklaşma özelliği azalır,
- Katran ve ekstraksiyon verimi düşer,
- Flatasyon özelliği azalır,
- Kömür oksitlenirken belirli bir ısı açığa çıkar ve bulunduğu bölgeyi ısıtarak, kömürün tutuşmasına sebep olabilir.

Bazı yakıtların tutuşma sıcaklıkları Tablo 2.11’de verilmiştir [3, 18, 19, 20].

Tablo 2.11 Çeşitli yakıtların tutuşma sıcaklıkları

| YAKIT CİNSİ       | TUTUŞMA SICAKLIĞI (°C) |
|-------------------|------------------------|
| Yumuşak Odun      | 220                    |
| Sert Odun         | 300                    |
| Havada Kuru Kömür | 225 - 280              |
| Linyit            | 200 - 300              |
| Odun Kömürü       | 185 - 208              |
| Semikok           | 300 - 320              |
| Petrokok          | 411                    |
| Yüksek Fırın Koku | 505 - 560              |

**Kömürün Plastikleşmesi:** Kömüre ısı işlemler uygulandığında, kömürde yumuşama, ergime, hacim azalması, artması ve katılaşma olayları görülür. Bu olayların tümüne kömürün plastikleşme özelliği denir. Koklaşma sırasında kömürün plastik özellikleri büyük önem taşır. Özellikle metalurjik kok üretiminde, koklaşmanın

en önemli aşaması kömürün plastik özelliğini kazanmasıdır. Bu özellik bazı taş kömürlerinde (bitümlü kömür) görülür [1, 21].

## 2.5 Kömürün Sınıflandırılması

Kömürün sınıflandırılmasında temel alınabilecek çok sayıda değişken bulunmaktadır. Bu konuyla uğraşan ülkeler ve kuruluşlar, kendi koşullarını dikkate alarak kömürün sınıflandırılmasını yapmışlardır. Genel olarak, kömür sınıflandırılmasında; sabit karbon, uçucu madde, ısı değeri, hidrojen, rutubet, koklaşabilme gibi parametreler temel alınmıştır. Kömür uzmanlarınca daha çok tercih edilen başlıca kömür sınıflandırılmaları aşağıda verilmiştir [1].

**ASTM Sınıflandırması:** Bu sınıflandırma külsüz kuru baza göre, kömürdeki sabit karbon, uçucu madde içeriği ve ısı değerleri göz önüne alınarak yapılmıştır. Günümüzde en çok kullanılan bu sınıflandırma Tablo 2.12’de verilmiştir [1, 22, 23].

Tablo 2.12 Kömürlerin ASTM sınıflandırması

| SINIF             | Alt Sınıf        | Külsüz Baza Göre Sabit Karbon (%) | Külsüz Baza Göre Uçucu Madde (%) | Isıl Değer (Kcal/lg) (havada kuru) | Özellikler |
|-------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------|
| Antrasit          | Meta Antrasit    | 98                                | 2                                |                                    | Koklaşmaz  |
|                   | Antrasit         | 92                                | 8                                |                                    |            |
|                   | Semi Antrasit    | 89                                | 14                               |                                    |            |
| Bitümlü Kömür     | Düşük Uçuculu    | 78                                | 22                               |                                    | Koklaşır   |
|                   | Orta Uçuculu     | 69                                | 31                               |                                    |            |
|                   | Yüksek Uçuculu A |                                   |                                  | 7800                               |            |
|                   | Yüksek Uçuculu B | 69                                | 31                               | 7200-7800                          |            |
|                   | Yüksek Uçuculu C |                                   |                                  | 6000-7000                          |            |
| Alt Bitümlü Kömür | Alt Bitümlü A    |                                   |                                  | 6000-700                           | Koklaşmaz  |
|                   | Alt Bitümlü B    |                                   |                                  | 5200-6000                          |            |
|                   | Alt Bitümlü c    |                                   |                                  | 4600-5200                          |            |
| Linyit            | Linyit A         |                                   |                                  | 4600                               | Koklaşmaz  |
|                   | Linyit B         |                                   |                                  | 4600                               |            |

**İngiliz National Coal Board Sınıflandırması:** İngiltere’de uygulanan bu sınıflandırmada kömürün uçucu madde içeriği ile bir koklaşma testi olan Gray - King deneyinin sonuçları dikkate alınarak sınıflandırma yapılmıştır. Gray - King kok türü, standart koşullarda koklaştırılan kömürün görünüşüne göre saptanır. Bu sınıflandırmada 11 adet (A, B, C, D, E, F, G, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> ve G<sub>9</sub> ) değişik türde kok tipleri bulunmaktadır.

**ISO Sınıflandırması:** Bu sınıflandırmaya göre; kömür, önce uçucu madde içeriği gözönünde bulundurularak, ana sınıflara ayrılmakta; daha sonra pışme ve koklaşma özelliklerine göre de yan sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma, özellikle II. Dünya Savaş’ından sonra uluslararası çapta kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde en çok kullanılan standartlardan biridir.

**Isıtmada Kullanılan Linyitlerin TSE Sınıflandırması:** Türkiye’de ısıtma sektöründe kullanılan bu sınıflandırmada linyitin külü, karbon içeriği, 1000 Kcal/kg başına toplam kükürt içeriği, alt kalorifik değeri, toplam rutubet, artık oranı ve ortalama tane boyutu dikkate alınarak, linyitler sınıflara ayrılmıştır.

Bu sınıflandırmanın tanımı ise; kömür bünyesinde %60 - 77 C, %15 - 30 O<sub>2</sub> , %5 - 5.5 H<sub>2</sub>, % 0.8 - 2 N<sub>2</sub>, ihtiva eden, ısı değeri en fazla 7000 Kcal/kg, nem oranı %8 - 10’dan fazla, vitrinit refleksiyon değeri 0.6 Romil’den küçük, çizgi rengi kahverengi, izotrop ve linyitin hümin reaksiyonunda ( Kömür + N/10 KOH) koyu kahverenkli flitre oluşturan, uluslararası sınıflandırmada 8 - 14 grupları arasında kalan katı yakıt şeklindedir. Isıtmada kullanılan linyit kömürleri, TSE’nin 5788 nolu nisan 1988 tarihli standardı Tablo 2.13’de verilmiştir [24, 25].

Ayrıca, bu sınıflandırmaların dışında DIN, Seyler, Frazer, Collier, Cambell, Grout, Pars, Toronto, Görüner, ve Doğal ve Jenetik sınıflandırma da kömürün sınıflandırılmasında kullanılmaktadır [1, 3, 26].

Tablo 2.13 Isıtmada kullanılan linyitlerin TSE sınıflandırmasına göre özellikleri

| SIRA NO | ÖZELLİKLER                                                                      | I. SINIF     | II. SINIF   | III. SINIF   |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|--------------|
| 1       | Kül (%) (1)                                                                     | En Fazla 23  | 23 - 30     | En Fazla 40  |
| 2       | Karbon (%) (2)                                                                  | En Az 65     | En Az 60    | En Az 55     |
| 3       | Toplam Kükürt (1000 Kcal/kg Başına) (3)                                         | En Fazla 0.5 | En Fazla 1  | En Fazla 2.2 |
| 4       | Alt Isıl Değer (Kcal/kg) (3)                                                    | En Az 4000   | En Az 3000  | En Az 2000   |
| 5       | Toplam Rutubet (%) (3, 4)                                                       | En Fazla 20  | En Fazla 38 | En Fazla 45  |
| 6       | Artık Oranı (%) (3, 5)                                                          | En Fazla 5   | En Fazla 5  | En Fazla 5   |
| 7       | Ortalama Tane Boyutu (mm) (3)                                                   | 18 - 50      | 18 - 100    | +18          |
|         | Tana Boyutu < 18 mm (%) (3)                                                     | 10           | 10          | 15           |
|         | Tane Boyutu > 50 mm (%) (3)                                                     | 20           | Serbest     | Serbest      |
|         | Tane Boyutu >100 (%) (3)                                                        | 0.0          | En Fazla 15 | Serbest      |
| 1       | Kuru Kömür Bazında                                                              |              |             |              |
| 2       | Kuru - Külsüz Bazında Olup $\text{CaCO}_3$ ve Diğer Anorganik Karbonatlar Hariç |              |             |              |
| 3       | Satışa Sunulmuş Kömürden Alınan Numune                                          |              |             |              |
| 4       | Serbest ve Bünye Rutubeti Toplamı                                               |              |             |              |
| 5       | Özellikler Artık Madde İçerisinde Mütalaa Edilecek                              |              |             |              |

## 2.6 Kömür Teknolojisi

Doğadan çıkartılan kömürlerden en iyi ve en verimli bir şekilde yararlanabilmek için, farklı özellikteki kömürlere çeşitli teknolojik işlemler uygulanmaktadır. Başlıca teknolojik işlemler olarak kömür hazırlama, kömür koklaştırması, gazlaştırma, sıvılaştırma, ve birikitleme sayılabilir. Bu konular ana hatları ile aşağıda verilmiştir.

### 2.6.1 Kömür Hazırlama

Kömür hazırlama; ocaktan çıkartılan kömürlerin boyuta göre sınıflandırılması, yıkanması (kül ve kükürttten arındırılması), kurutulması, ve belirli kullanımlar için hazır hale getirilmesi işlemlerini kapsar. Çeşitli endüstri kolları gereksinimlerine göre farklı

özellikteki kömürleri kullanırlar. Tüketim aşamasında dikkate alınan başlıca kömür özellikleri; tane boyutu, kül, kükürt ve rutubet içeriği, ısı değeri, uçucu madde ve koklaşabilme yeteneği gibi önemli parametreler sayılabilir.

Kömür hazırlamanın pek çok amaçları bulunmaktadır. Bunların en önemlisini kömürün safsızlıklarını (kül, kükürt, rutubet) uzaklaştırarak, ısı değerinin artırılması ve yakma sırasında oluşacak zararlı unsurları ortadan kaldırılmasını oluşturmaktadır.

Kömür hazırlamada yararlanılan başlıca yöntemler; yıkama, boyut küçültme ve boyuta göre sınıflandırma, elle ayıklama, özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme ( jig, ağır ortam ile ayırma, sarsıntılı masa, spiral), flotasyon, susuzlandırma ( eleme ve siklon ile susuzlandırma, koyulaştırma, filtreleme, mekanik ve termik kurutma ).

Kömür boyutuna göre uygulanan hazırlama yöntemleri farklı olduğundan; teknolojiye uygulanan yöntemler, iri kömür ve ince kömür hazırlama şeklinde ikiye ayrılabilir. İri kömür hazırlama boyutu 300 mm'den 18 mm'ye kadar olan kömürlere; ince kömür hazırlama ise 18 mm'den daha ufak kömürlere uygulanır.

İri kömür hazırlamada; boyut küçültme ve boyuta göre sınıflandırılarak zenginleştirme, elle ayıklama, jig ve ağır ortam ile zenginleştirme yöntemleri; ince kömür hazırlamada ise feldispatlı jig, ağır ortam ayırması, sarsıntılı masa, spiral, flotasyon, siklon ile boyuta göre sınıflandırma, mekanik ve termik kurutma yöntemleri kullanılmaktadır.

Endüstride kullanılan iri ve ince kömür hazırlama proseslerinin genel akım şeması Şekil 2.1'de görülmektedir [1, 27, 28] .

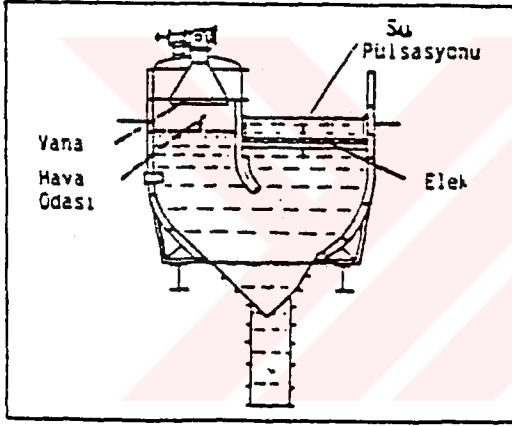
### **İri Kömür Hazırlama:**

İri olarak tabir edilen - 300 + 18 mm boyut grubu kömürler, aşağıda belirtilen zenginleştirme yöntemleriyle safsızlıklardan arındırılmaktadır.



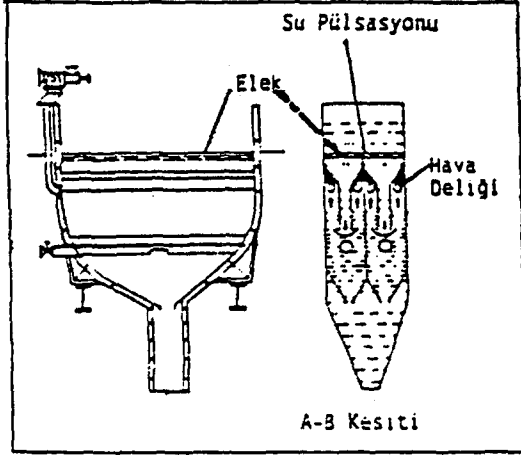
**Elle Ayıklama:** Tuvenan kömür, sabit ve hareketli bir yüzey üzerinde renk, parlaklık, kınılma şekli ve özgül ağırlık farklılıklarından yararlanılarak yapılan zenginleştirme işlemine elle ayıklama denir. İyi bir ayıklama işlemi yapabilmek için, kömür belirli bir boyut aralığında ( $-400 + 60$  mm) ve yüzeyi temiz olmalıdır.

**Jig ile Zenginleştirme:** Günümüzde, iri kömür zenginleştirmek için en çok kullanılan jigler, baum ve batac jigleridir. Baum jiginde döner bir vana ile kısa aralıklarla verilen basınçlı hava, akışkan ortamın hareketini sağlamaktadır. Emme etkisi olmayan bu jiglerin pulsasyon hızı dakikada 350 kadardır. Baum jiglerinde üç ürün (lave, mikst, şist) alınabilmektedir. Şekil 2.2’de Baum jigi görülmektedir [2].



Şekil 2.2 Baum jigi

Kömür yıkamada kullanılan diğer bir jig ise Batac jigidir. Bu jigler genellikle bir kaç kompartımandan meydana gelir ve her kompartımanda en az 2 hücre bulunur. Genelde ağır olan şistler ilk kompartımanın sonundan jigi terk eder. İkinci kompartımanın sonundan araürün (mikst) ve son kompartımanın sonundan ise temiz ürün (lave) alınır. Şekil 2.3’de Batac jigi görülmektedir [2, 16].



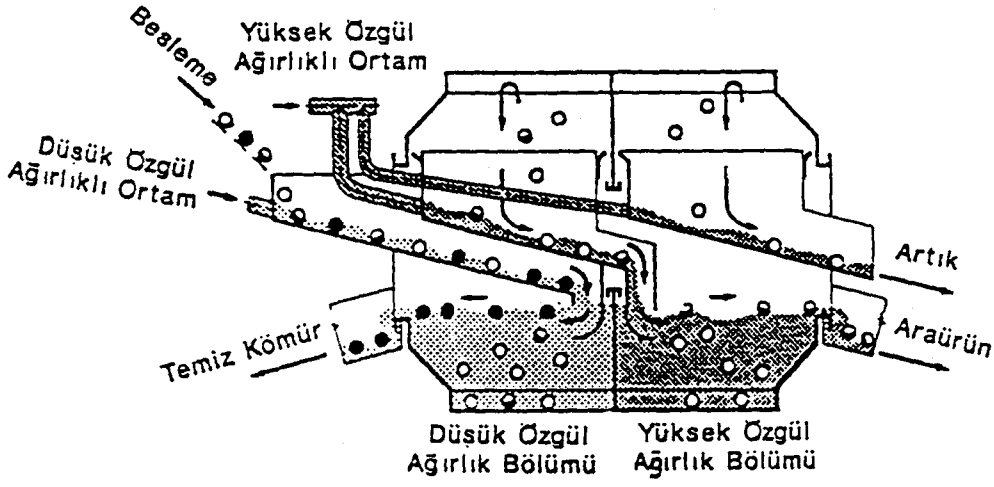
Şekil 2.3 Batac jigi

**Ağır Ortam ile Zenginleştirme:** Günümüzde ağır ortam ayırması iri ve ince kömürlerin yıkanmasında oldukça fazla kullanılmaktadır. Son yıllarda dünyada yıkanan kömürlerin yaklaşık %35'i ağır ortam ayırması ile zenginleştirilmektedir [10].

Ağır ortam ile zenginleştirme; mineral tanelerinin aralarındaki özgül ağırlık farkından yararlanılarak, ağır bir ortam içinde hafif minerallerin yüzmesi, ağır minerallerin ise batması esasına dayanır. Ağır ortam olarak genellikle katıları sudaki süspansiyonları kullanılmaktadır. Kömür hazırlamada, bu amaç için, manyetit tercih edilmektedir. Günümüzde kullanılan bazı ağır ortam ayırıcılar aşağıda verilmiştir [5, 8, 10, 16, 26].

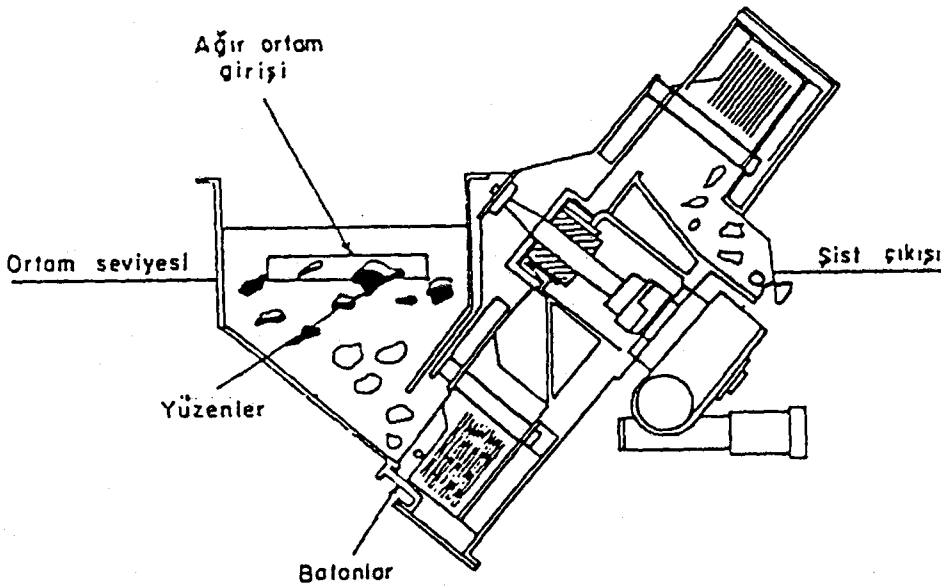
Wemco tipi tamburlu ağır ortam ayırıcısında, yüzen ve batan olmak üzere iki ürün alınabilmektedir. 900 ton/h kapasiteye kadar çıkabilen bu aygıt Şekil 2.4'de görülmektedir [8, 10].





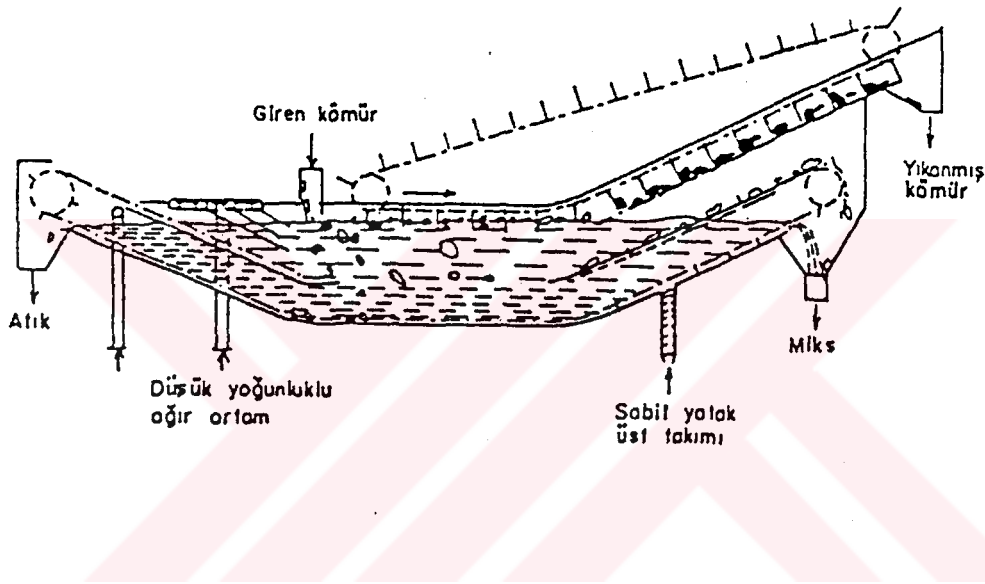
Şekil 2.4 Wemco ağır ortam tamburu.

Tambur tipi ağır ortam ayırıcılardan bir diğeri ise Drewboy ağır ortam ayırıcısıdır. İri boyutlarda çalışan (-150 +18 mm) bu aygıtın kesit görünüşü Şekil 2.5'da verilmiştir [16].



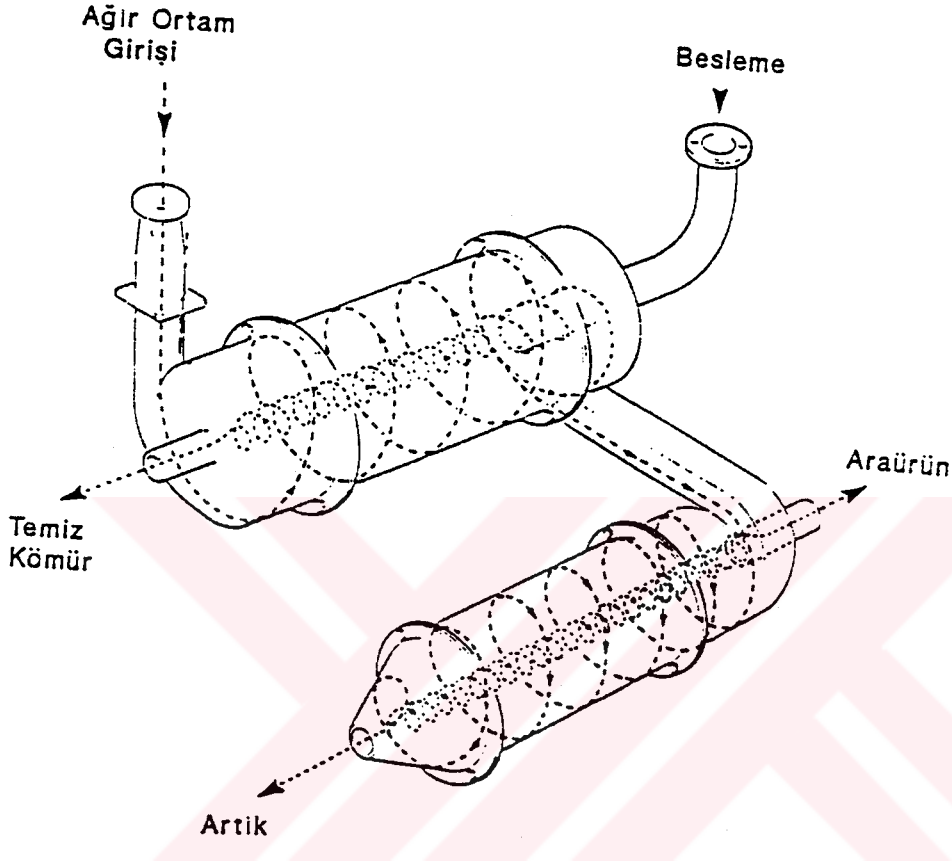
Şekil 2.5 Ddrewboy tambur tipi yıkayıcı.

Tromp ayırıcısı; tekne tipi bir yıkayıcı olup günümüzde pek çok kömürlerin yıkanmasında kullanılmaktadır. Bu ayırıcıda, ortam yoğunluğu üsten alta doğru kademeli olarak artmaktadır. Üç ürünün alınabildiği bu aygıt Şekil 2.6'da görülmektedir [16].



Şekil 2.6 Tromp ayırıcısı.

Merkezkaç kuvveti ile çalışan diğer bir ağır ortam ayırıcısı Larcodems ayırıcısıdır. Tuvenan kömürlerin tek bir cihazda yıkanmasına olanak sağlayan bu aygıt ile  $-100 + 0.5$  mm boyut grubundaki kömür 250 ton/saat kapasiteyle yıkanabilmektedir. Yatayla  $30^\circ$  açı yapacak şekilde yerleştirilen bu cihaz Şekil 2.7'de görülmektedir [10, 16]

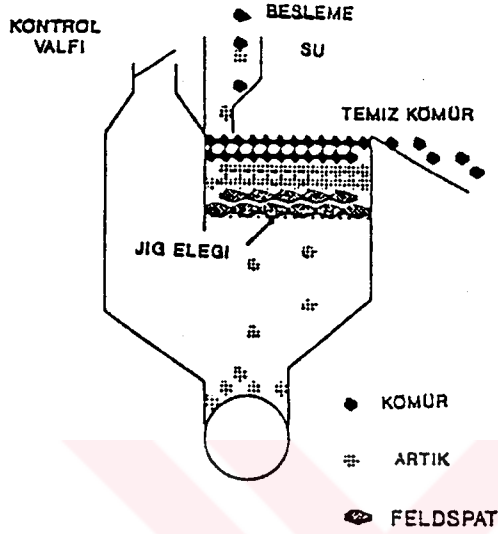


Şekil 2.7 Üç ürün alınan Larco-demers ayırıcı

**İnce Kömür Hazırlama:** -18 +0.5 mm boyut aralığındaki kömürler ince kömür; -0.5 mm kömürler ise toz kömür olarak tanımlanmaktadır. Aşağıda ince ve toz kömürlerin zenginleştirilmesi için kullanılan yöntemler verilmiştir.

**Feldispatlı Jigler:** Bu jiglerde, feldispat minelalleri kullanılarak jig eleği üzerinde yapay bir yatak oluşturur. Bu şekilde, ayırma tabakası kalınlaşmakta ve ayırmanın daha kolay yapılması sağlanır. Elek üzerine feldispatın kullanılma amacını, bu

mineralin kömüre göre daha yüksek özgül ağırlığa sahip olması ve aşınmaya karşı daha dirençli olmasından dolayıdır. Feldispatlı jigın genel görünüşü Şekil 2.8’de görülmektedir [16].

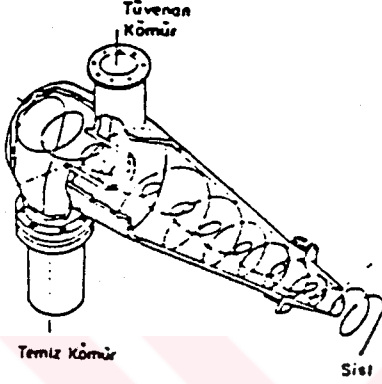


Şekil 2.8 Feldispatlı jig

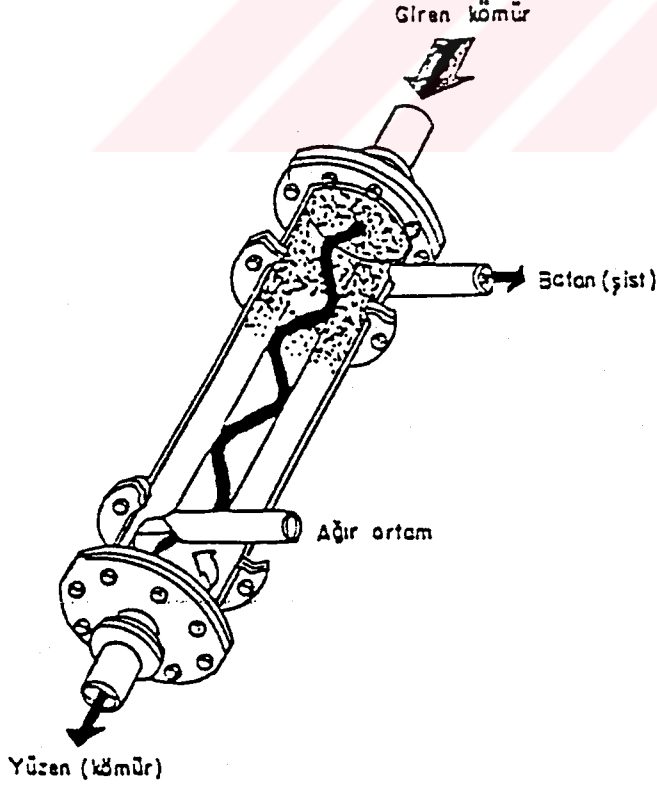
**Ağır Ortam Ayırıcıları:** İnce boyutlu kömürlerin yıkanmasında kullanılan en etkili yöntemlerden biri de ağır ortam ayırıcılarıdır. Bu tür ayırıcılarda gravite ve hidrodinamik kuvvetlerin yanında, merkezkaç kuvveti de ayırmada büyük bir etken olmaktadır. Son yıllarda, özellikle ince boyutlu kömürlerin yıkanmasında kullanılan bazı aygıtlar aşağıda verilmiştir.

**Ağır Ortam Siklonu (AOS):** Üst boyutu 40 mm’ye kadar çıkabilen kömürler bu siklonlarda verimli bir şekilde zenginleştirilebilmektedir. Sınıflandırma siklonuna benzeyen bir yapısı olan bu siklonlar, eğik durumda konuşlandırılır. Ağır ortam siklonunun kapasitesi çapı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Şekil 2.9’da ağır ortam siklonu görülmektedir [10].

Daynawhirpool Ayırıcısı: Sonyillarda geliştirilen bu aygıt 30 - 0.5 mm arasındaki kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır. Ayırma işlemi, 20 - 25 ° açı yapacak şekilde yerleştirilen silindirik bir tüp içerisinde gerçekleştirilir. Bu ayırıcı içindeki ortamın yağunluğu homojen olmayıp, artık çıkışına ve hücre duvarına doğru artış göstermektedir. Daynawhirpool ayırıcısı Şekil 2.10'da görülmektedir [10].



Şekil 2.9 Ağır otam siklonu (AOS)



Şekil 2.10 Daynawhirpool ayırıcısı

**Sarsıntılı Masa:** Sarsıntılı masa ile zenginleştirme, özellikle ince boyutlu kömürlerin yikanmasında oldukça sık kullanılmaktadır. Akışkan ortam olarak suyun kullanıldığı masalarda, boyutu 10 mm'den daha küçük kömürler zenginleştirilmektedir.

**Spiral (Oluklu Ayırıcı):** İnce boyutlu (0.1 - 3 mm) kömürlerin zenginleştirilmesinde kullanılan spiraller, özel olarak poliüretandan imal edilmiştir. Linyitlerin zenginleştirilmesinde çoğunlukla bu malzemeden yapılan Reichert spirali kullanılır. Bu spiralde, taneler akışkan sulu bir ortamda santrifüj kuvvet etkisiyle birbirinden ayrılır. Bu spiraller 6 -16 adetlik bataryalar halinde çalıştırılır.

**Flotasyon:** Kömürün flotasyon yeteneği kömürleşme derecesine bağlı olarak değişir. Örneğin; düşük uçucu madde içeren bitümlü kömürlerde maksimum olan flotasyon yeteneği, antrasit veya linyite doğru gidildikçe azalır. Yine, kömürün kül yüzdesi arttıkça ıslanabilme özelliği artar ve flotasyon yeteneği düşer. Ayrıca, kömürdeki yüzey oksidasyonu flotasyonu olumsuz yönde etkiler [26].

Kömür flotasyonunda -1 mm boyutundaki kömürler, genellikle nötr hidrokarbonlar ve fuel oil kullanılarak, doğal pH'da kolaylıkla yüzdürülebilir. Köpürtücü olarak metil izobitül karbinol (MIBC) veya izooktonal gibi kısa zincirli alkoller kullanılır [26,28].

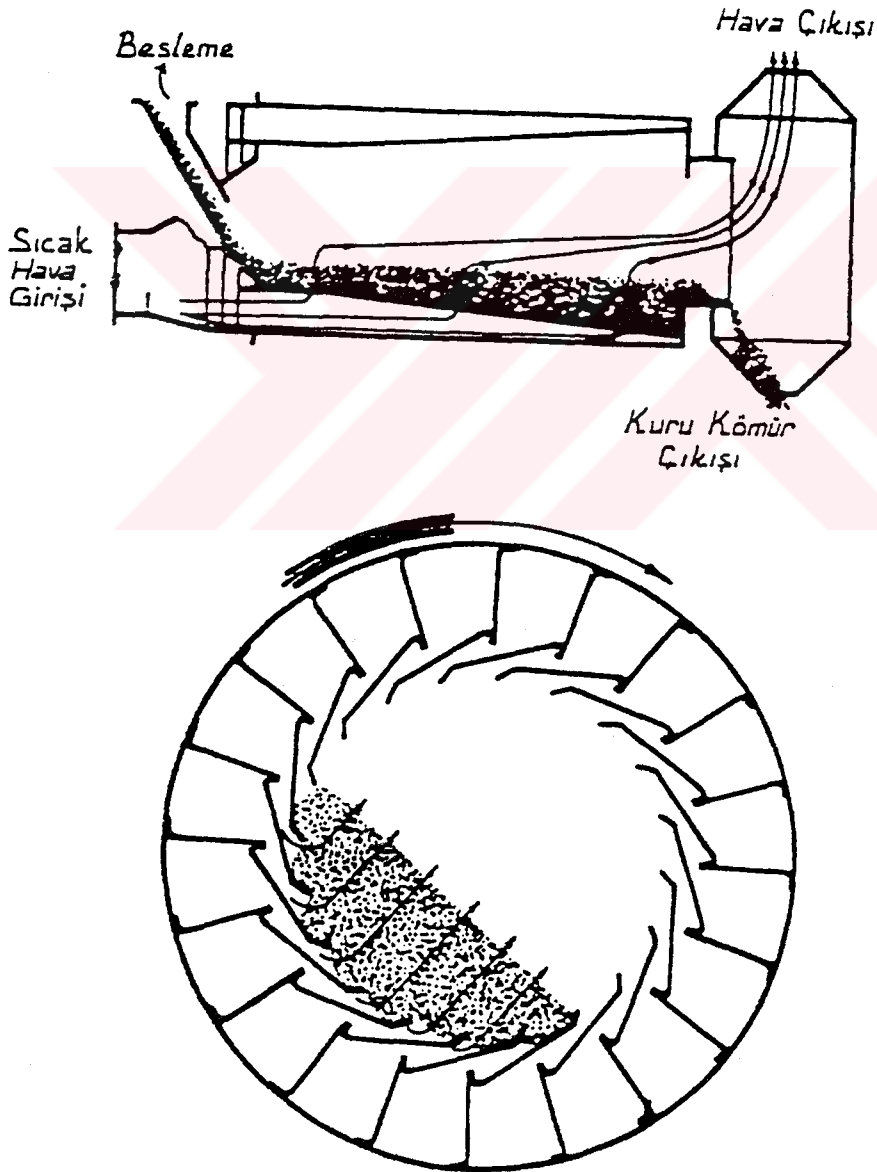
**Siklon:** Kömürün yikanması ve uygulanan çeşitli işlemler sonucu ufak boyutlarda (-0.5 mm ) olan malzemed, genellikle suda dağılabilen killeri ve kömür parçacıkları bulunur. Bu malzeme uygun seçilmiş bir siklon bataryasına beslenerek siklon alt takımından kömür taneleri, üst takımından ise su ile birlikte yüksek küllü bir ürün alınabilmektedir.

**Susuzlandırma:** Kömürün ısı değerini yükseltmek ve nakliye giderlerini azaltmak amacı ile kömürden su uzaklaştırılır. Kömürden suyun uzaklaştırılması mekanik ve termik olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

~~Mekanik susuzlandırma, çoğunlukla boyutu 40 mm'nin altında olan kömürlere uygulanmaktadır. Mekanik susuzlandırma; koyulaştırıcılar, elekler, santrifüj~~

kurutucular ve filtreler vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu aygıtlar kullanılarak kömürün yüzey rutubeti %90'a varan oranlarda azaltılabilmektedir.

Termik susuzlandırma: Kömürün rutubetini istenilen düzeylere indirmek amacıyla, mekanik susuzlandırmanın ardından yapılan ikinci bir susuzlandırma işlemidir. Bu işlemler, kömürün özelliklerine ve istenilen rutubet düzeyine bağlı olarak; akışkan yatak, flash kurutucu, döner tambur ve filtrasyon gibi kurutucularda yapılmaktadır. Termik susuzlandırma, genel olarak, -30 mm boyutlu kömürlere uygulanmakta ve kömürün rutubet içeriği %1 dolayına kadar düşürülebilmektedir. Şekil 2.11'de döner tamburlu bir kurutucu görülmektedir [26].



Şekil 2.11 Döner tamburlu kurutucu

## 2.6.2 Kömürden Kükürdün Uzaklaştırılması.

Kömürde en önemli safsızlıklardan biri olan kükürdün uzaklaştırılmasında, aşağıda belirtilen üç yöntem uygulanmaktadır [1, 4].

### 2.6.2.1 Fiziksel yöntemler

Bu yöntemlerle, kömürde serbest halde bulunan piritik küküt uzaklaştırılmaktadır. Organik kükürt kömürün bünyesine bağlı olduğundan, fiziksel yöntemler ile pek uzaklaştırılamamaktadır.

Fiziksel yöntemlerle, kömürde bulunan piritik kükürdün, serbestleşme derecesine bağlı olarak %90'ı uzaklaştırılabilmektedir. Kömürdeki piritik kükürdün uzaklaştırılmasında yararlanılan prosesler ve aygıtlar bölüm 2.6.1'de verilmiştir. Bu bölümde belirtilenlerin dışında yağ aglomerasyonu, manyetik ayırma ve elektrostatik ayırma gibi fiziksel yöntemler, piritik kükürdün uzaklaştırılmasında kullanılabilmektedir. Fakat, bu çalışmalar henüz endüstriyel uygulamaya girmemiştir.

**Yağ Aglomerasyonu:** Bu yöntem, özellikle ince boyutlu kömürlerden piritik kükür ve diğer inorganik safsızlıkların uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Yağ aglomerasyonunda, suda ıslanmayan ince kömürler hidrokarbonlarla birleşerek iri bir tane oluşturmakta, ortamda kalan pirit ve şistler ise uzaklaştırılmaktadır. Bu işlem sırasında %12 - 15 oranında yağ tüketilmektedir [1].

**Manyetik Ayırma:** Kömürlerde bulunan pirit zayıf paramanyetik, kömür ise diyamanyetik olmasından doğan manyetik özellik farklılığından dolayı pirit, kömürden uzaklaştırılabilir.

Ayrıca, ısı işlemleri sonucu piritin yüzeyi oksitlenerek manyetik duyarlılığı artırılabilir. Yüksek gradyanlı manyetik ayırıcılar ile piritik kükürdün %65'i giderilebilmektedir [1, 4, 30, 31].



**Elektrostatik Ayırma:** İletkenlik farkına göre ayırma yapılan bu yöntemde, ince boyutlu kömürden, pirit ayrılabilir. Bu yöntem ile kömürde bulunan toplam kükürdün yaklaşık %50'si giderilebilmektedir [1].

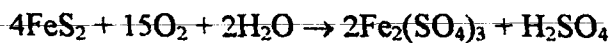
İnce boyutlu kömürlerde, fiziksel yöntemler ile giderilebilen toplam kükürt oranları Tablo 2. 14'de görülmektedir [1, 2, 3, 4, 10, 14, 15, 16, 17, 22, 23, 26, 32, 33, 34].

Tablo 2.14 Fiziksel yöntemler ile giderilebilen toplam kükürt miktarı

| YÖNTEM | KULLANILAN MAKİNALAR                 | TANE BOYUTU (mm) | GİDERİLEN TOPLAM KÜKÜRT (%) |
|--------|--------------------------------------|------------------|-----------------------------|
| Yaş    | Jig                                  | 0.5 - 100        | 20 - 50                     |
|        | Sarsıntılı Masa                      | - 10             | 40 - 60                     |
|        | Flotasyon                            | - 1              | 40 - 90                     |
|        | Spiral                               | 0.1 - 3          | 40 - 60                     |
|        | Ağır Ortam Siklonu                   | 0.5 - 25         | 20 - 60                     |
|        | Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırma | - 1              | 30 - 70                     |
| Kuru   | Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırma | - 3              | 30 - 60                     |
|        | Elektrostatik Ayırma                 | - 2              | 20 - 60                     |

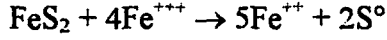
#### 2.6.2.2 Biyolojik Yöntemler

Son yıllarda yapılan araştırmalar sonucunda Thiobacillus türü bakteriler kullanılarak, kömürde bulunan piritik kükürdün %80'i uzaklaştırılabilmektedir. Thiobacillus Ferrooxidans ve Ferrobacillus Ferrooxidans türü bakteriler piritik kükürdü yiyerek demiroksit şekline dönüştürmektedir. Bu sırada oluşan reaksiyon aşağıda verilmiştir [1,29].

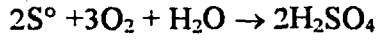


Suda çözünmeyen piritten, suda çözünebilen ferrik sülfat ve sülfirik asit oluşmaktadır. Oluşan bu tepkime, sulu ortamın pH'ını düşürmektedir.

Piritin bakteriler ile çözünmesi sonucu, ortaya çıkan  $Fe^{+++}$  iyonu piriti oksitlemekte ve kükürt ile  $Fe^{++}$  iyonları oluşur.



$Fe^{++}$  iyonu ve kükürt, bakteriler ile oksitlenerek  $Fe^{+++}$  ve sülfirik asit oluşur.



Yukarıda belirtilen yöntemin dışında, piritik kükürdün giderilmesinde bakteriler ile pirit yüzeyinin oksidasyonu yöntemi de kullanılabilmektedir. Bu yöntemde, piritin yüzeyi bakteriler ile demir hidroksite dönüştürüldükten sonra, kömüre seçimli aglomerasyon veya flotasyon uygulanarak, pirit uzaklaştırılmaktadır [1].

Bu yöntemlerin endüstriye uygulanması için çalışmalar sürdürülmektedir.

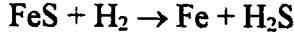
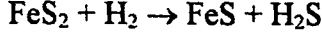
#### 2.6.2.3 Kimyasal Yöntemler

Bu yöntemler, kömürde bulunan organik ve inorganik kükürtlerin giderilmesine yönelik uygulamalardır. İki grup altında incelenen bu yöntemler aşağıda verilmiştir.

**Gaz Ortamında Isıtma:** Kömürde organik ve inorganik şekilde bulunan kükürdün giderilmesi amacıyla yapılan ısıtma işlemlerinde inert gaz olarak karbondioksit veya azot, indirgeyici gaz olarak su buharı, amonyak veya hidrojen, kükürdü oksitleyici gaz olarak da çok az oranlarda oksijen veya hava kullanılmaktadır [1, 4].

Kömürün yapısında bulunan organik kükürt, inert ve indirgeyici gaz ortamında gerçekleştirilen ısıtma işlemleri sonucunda  $H_2S$ 'e dönüşür. Bu şekilde, organik küküret gaz halinde kömürden uzaklaştırılır [1, 4].

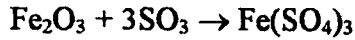
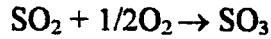
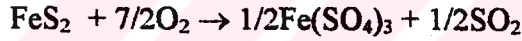
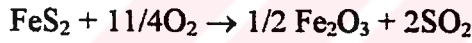
Kömürdeki en önemli kükürt kaynağını oluşturan pirit ve markasit mineralleri, 550 - 650 °C sıcaklıkta ısıtıldığında hızla parçalanarak FeS ve S<sub>n</sub> dönüşürler [1]. FeS tekrar reaksiyona girerek, demir oluşur. Eğer ortamda hidrojen varsa oluşan kükürt H<sub>2</sub>S'e, oksijen varsa SO<sub>2</sub>'ye dönüşerek kömürü terk eder.



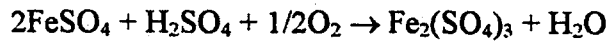
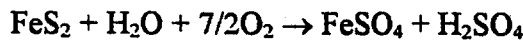
Yukarıdaki tepkime 300° C 'de çok yavaş olarak başlar, ısının 500° C 'nin üzerine çıktığı durumlarda, tepkime hızlanır ve 800° C 'nin üzerinde son bulur [1, 4].

Isıl işlemler sonucu, kömürde bulunan kükürt aynı anda 16 farklı teplimeye girerek FeS, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> gibi ürünlere dönüşür [1].

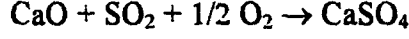
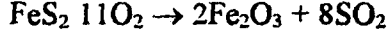
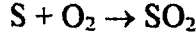
Isıtma sırasında kullanılan hava miktarına göre, piritin oksidasyonu aşağıdaki gibi gerçekleşir.



Aynı işlemler sulu ortamda yapıldığında, suda kolaylıkla çözünebilen demirsülfat meydana gelir:



Hava ortamında ısıl işlemler sonucu meydana gelen SO<sub>2</sub> , kömüre kireç ilave edilerek veya alkali bir ortamdan geçirilerek kalsiyum sülfat şeklinde tutulabilir. Aşağıda, kömüre kireç ilave edilerek, SO<sub>2</sub> gazının tutulma şekli görülmektedir [4, 5].



**Yaş Kimyasal Yöntemler:** Bu yöntemlerde, çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak kömürde bulunan kükürt çözeltiye alınmakta ve bu şekilde kömürden uzaklaştırılmaktadır. Kullanılan kimyasal maddeler ise; değişik tiplerdeki asitler, bazlar ve tuzlardır.

Kömürün kükürdünü giderme amacına yönelik yaş kimyasal yöntemlerden en önemlileri: Meyers, Kostik Ekstraksiyon, Petc ve Ledgemont yöntemleridir. Bu yöntemlerin çoğunda ince öğütülmüş kömür numuneleri kullanılmaktadır. Genellikle bu yöntemlerin çalışma sıcaklığı 50 - 200 °C, süresi 1 - 2 saat ve basınç ise 1 - 7 Mpa arasında değişmektedir [1, 4].

Yaş kimyasal yöntemlerin çok pahalı olması nedeniyle günümüzde endüstriyel çapta pek uygulanamamaktadır.

Türk kömürleri kullanılarak, laboratuvar çapta gerçekleştirilmiş olan kimyasal kükürt giderme çalışmalarından bazılarının sonuçları Tablo 2.15'de görülmektedir [1].

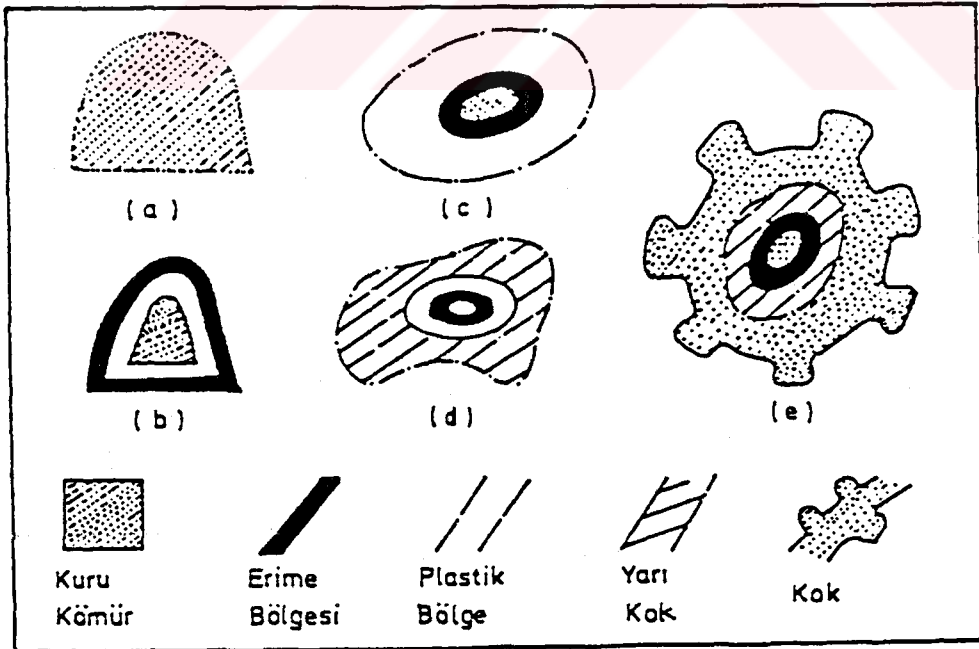
Tablo 2.15 Türk kömürleri kullanılarak gerçekleştirilmiş olan kükürt giderme çalışmaları.

| YÖNTEMLER                             | Kullanılan Kömür | İŞLEM         | ŞARTI       | Giderilen Kükürt (%) |
|---------------------------------------|------------------|---------------|-------------|----------------------|
|                                       |                  | Sıcaklık (°C) | Süre (dak.) |                      |
| N <sub>2</sub> Gazı ile Karbonizasyon | Elbistan         | 860           | 190         | 56.9 - 64.5          |
| Kostik Ekstraksiyon                   | Çan              | 200           | 30          | 53.0                 |
| Hava Oksidasyonu                      | Çayırhan         | 550           | 15          | 41.92                |
| NH <sub>3</sub> Altında Karbonizasyon | 7 Ayı Bölge      | 800           | 5           | 26.7 - 75.1          |
| CO <sub>2</sub> Altında Karbonizasyon | Çayırhan         | 800           | 60          | 64.9                 |

### 2.6.3 Kömürün Koklaştırılması

Kömürün oksijensiz ortamda ısıtılması ile kömürdeki çeşitli ürünlerin uzaklaşması sonucu, geriye kalan ürün karbonca zenginleşmektedir. Bu olay, genel olarak koklaşma diye tanımlanabilir. Koklaşma genel olarak yüksek sıcaklık koklaşması ve düşük sıcaklık koklaşması şeklinde iki grupta değerlendirilebilir. Genellikle, pilastikleşme özelliğine sahip bitümlü kömürlere yüksek sıcaklık (900 - 1200 °C) koklaştırması uygulanmakta ve elde edilen katı ürün “metalurjik kok” olarak tanımlanmaktadır. Pilastikleşme özelliği göstermeyen linyit grubu kömürlere ise düşük sıcaklık (500 - 700 °C) koklaştırması uygulanmakta ve elde edilen katı ve pişmiş ürüne “semikok” yada “dumansız yakıt” denilmektedir [1, 2, 3].

Kömürün koklaştırması sırasında özelliklerine bağlı olarak belirli aşamalardan geçmektedir. Pilastikleşme özelliğine sahip koklaşabilir kömürlerin koklaşması sırasında oluşan gelişmeler Şekil 2.12’de verilmiştir [2, 3].



Şekil 2.12 Koklaşma sırasında kömürde meydana gelen gelişmeler

a) Kritik sıcaklık olarak kabul edilen 350 °C'de kömür yumuşar ve yüzeyde bir ergime zonu oluşur. Bu sırada kömürde hacimce bir küçülme meydana gelir.

b) Ergime bölgesi aynı zamanda bozunma bölgesi olarak da tanımlanır ve bu bölge ısı arttıkça kömürün içine doğru ilerler, kömür yüzeyinde ise yumuşamış pilastik bir yapıda tabaka oluşur.

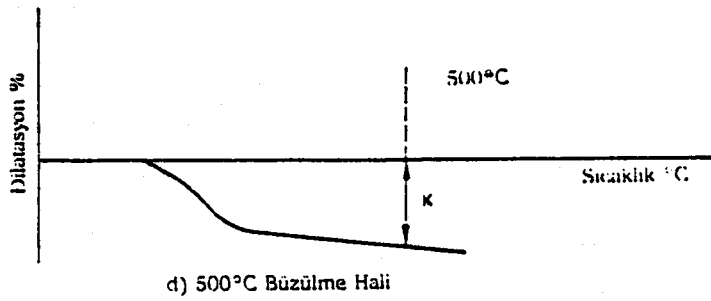
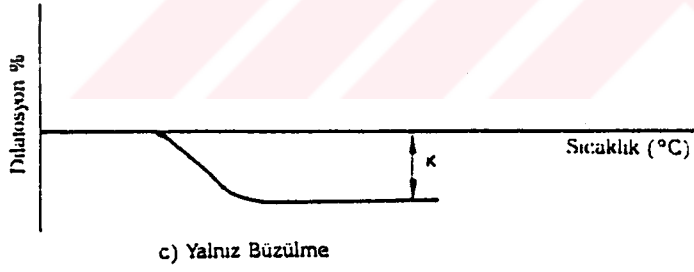
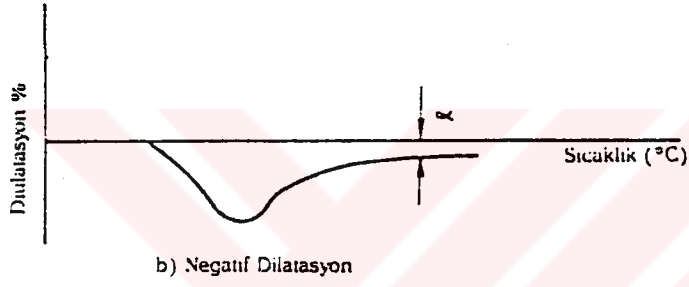
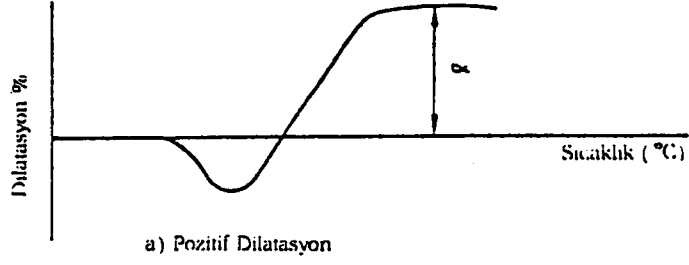
c) Ergime bölgesinde bozunan kömür, katran ve uçucularını vermeye başlar. Yumuşamış bölge, bu ürünlerin çıkışına karşı direnç göstererek kömürün şişmesine neden olur. Isıtma hızına bağlı olan bu olay 450 - 550 °C arasında gerçekleşir. Plastik bölge tekrar sertleşir ve kömür büzülmeğe başlar. Sertleşen bu kütle ise yarıkok olarak adlandırılır.

d) Sıcaklık 550 °C üzerine çıktığında, H<sub>2</sub> ve CO gazları çıkması ile üründe özellikle yarıkok bozunması ve 800 °C'den sonra grafitleşme görülür.

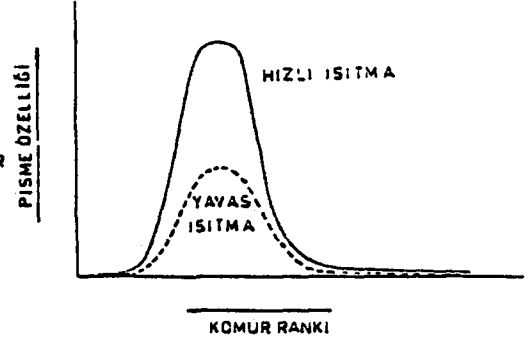
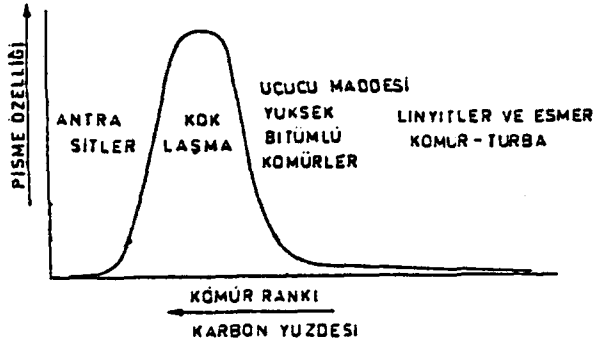
e) Koklaşmanın son safhası 900 - 1200 °C arasında gerçekleşir. Sonunda, dıştan içe doğru sırası ile kok, yarıkok, ergime ve kuru kömür bölgelerini içeren kok oluşur [2].

Koklaşmanın en önemli aşamasını, kömürün plastik özellik kazanması oluşturur. Fakat, her kömür bu özelliğe sahip olmadığından, dilatasyon (kömür hacminin sıcaklıkla değişimi) özelliği göstermez ve kömürde negatif dilatasyon veya büzülme meydana gelmektedir. Şekil 2.13'de farklı özellikteki kömürlerin dilatasyon karakteristikleri görülmektedir [1].

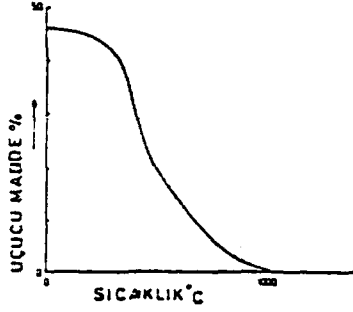
Taşkömürünün metalurjik koka dönüşmesini sağlayan plastik özelliklerinden en önemlisi yumuşama ve bağlanarak pişmedir. Linyitlerde ise pilastik bölgede bu olayları sağlayan bir madde olmadığından büzülerek dağılmaktadır. Kömürün uçucu madde ve karbon miktarına bağlı olan bu olaylar Şekil 2.14'da görülmektedir [14, 34].



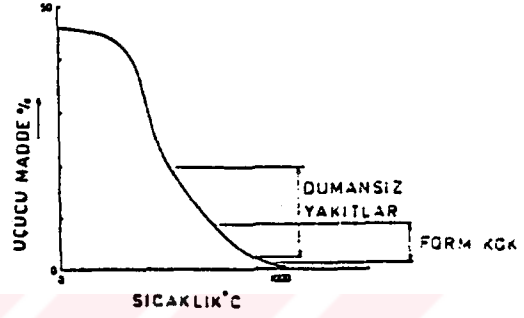
Şekil 2.13 Farklı kömürlerin dilatasyon eğri türleri.



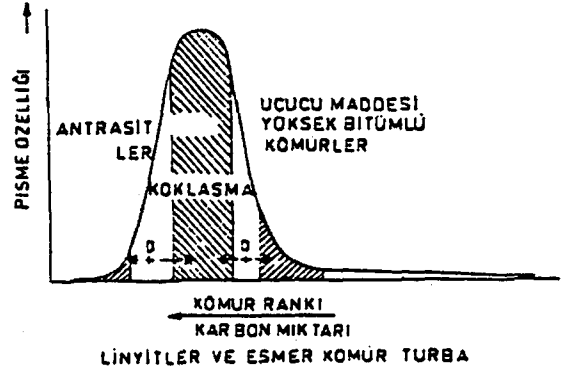
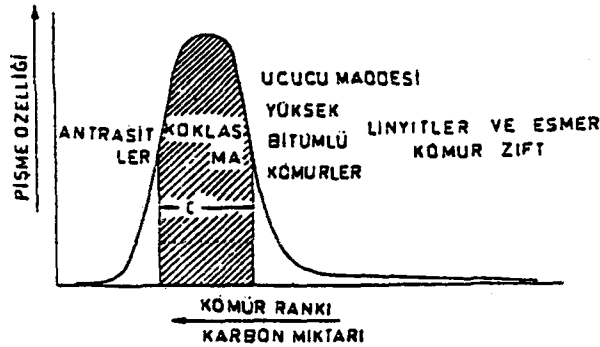
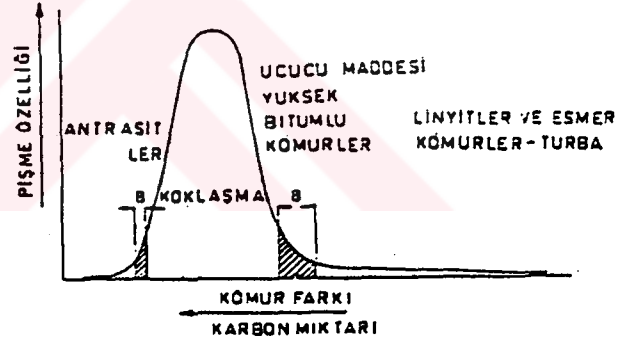
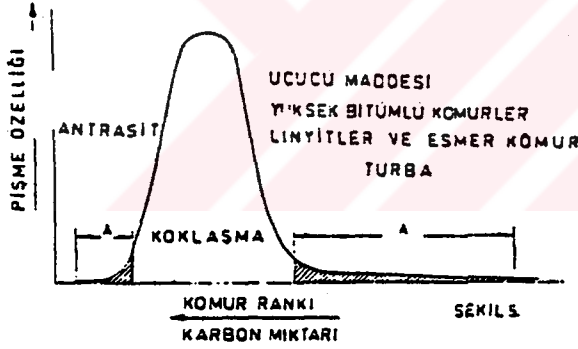
PIŞME ÖZELLİĞİNE ISITMA HIZININ ETKİSİ



ISIL İŞLEM SICAKLIĞI / KÖMÜRÜN UCUCU MADDE MİKTARI



ISIL İŞLEM SICAKLIĞI / KÖMÜRÜN UCUCU MADDESİ



Şekil 2.14 Kömürün pişme özelliklerinin uçucu madde ve karbon miktarına bağlı olarak değişimi



### 2.6.3.1 Yüksek Sıcaklık Koklaşması

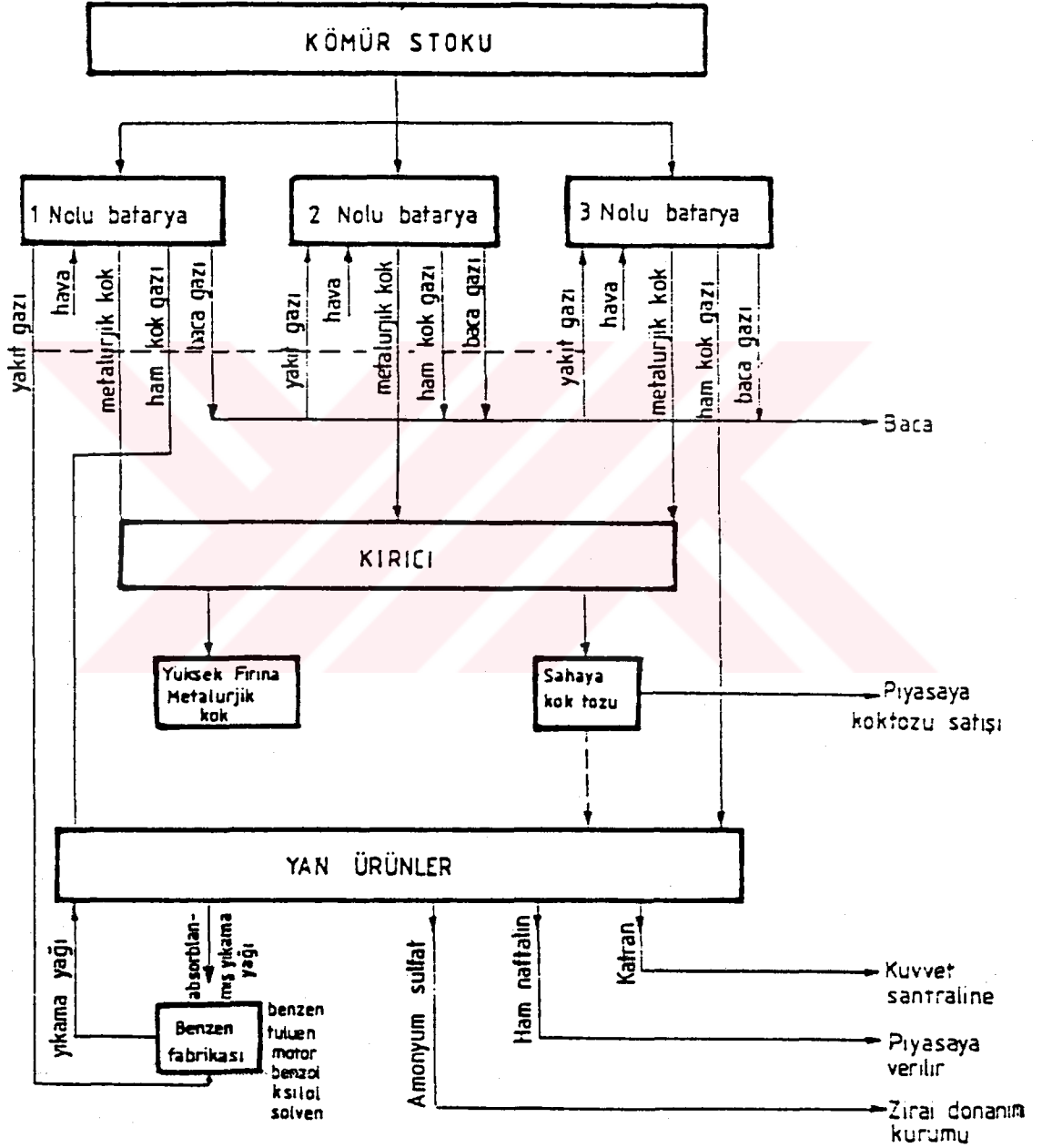
Yüksek sıcaklık koklaşmasının en önemli amacı, yüksek fırın ve benzeri proseslerde kullanmak için, belirli sağlamlıkta ve boyutta metalurjik kok elde etmektir. Bu kok yüksek fırında gözenekli bir yapı oluşturarak alttan gelen gazın akışını, demir oksitlerin pik demire dönüşebilmesi için indirgeyici CO gazının oluşumunu sağlar ve fırın içinde gerekli olan enerjinin bir bölümünü karşılar [3, 12].

Yüksek sıcaklık koklaştırması sonucu genellikle metalurjik kok elde edilmektedir. Metalurjik kok üretiminde bitümlü kömürlerin bazıları (yüksek uçuculu A, B ve C bitümlü kömür) koklaşabilir. Bu kömürlerin uçucu madde içerikleri ise % 25 - 35 arasında değişmektedir.

Endüstriyel çapta metalurjik kok elde etmek için kömürler belirli bir boyut altına indirilip harmanlandıktan sonra fırınlara gönderilir. Her fırında 2 - 3 batarya bulunmakta ve bu bataryalara 10'ar ton kömür şarj edilir. Koklaşma süresi, 900 - 1200 C° arası yaklaşık olarak 17 saat sürer. Bu işlem sonucu, ortalama 20 ton kömürden 15 ton kok üretilir. Elde edilen sıcak kok üzerine 20 ton/dak. su verilerek ısı 900 C°'den 90 C°'ye indirilir ve bu sırada şehir gazı da elde edilir. Söndürülen koklar sağlamlık testine tabi tutulduktan sonra, kırılır ve belirli boyut gruplarına ayrılarak yüksek fırınlara gönderilir.

Şekil 2.15'te klasik bir koklaştırma prosesinin akım şeması görülmektedir [1].

Metalurjik kokun yüksek fırında üslendiği görevleri yerine getirebilmesi için kok üretiminde kullanılan kömürler ile elde edilen ürünlerin bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Aşağıda, metalurjik kok üretimine tabi tutulan kömürlerin bazı özellikleri Tablo 2.16'da, elde edilen koku özellikleri ise Tablo 2.17'de verilmiştir [1, 3, 12].



Şekil 2.15 Klasik bir koklaştırma prosesinin akım şeması

Tablo 2.16 Metalurjik kok üretimine tabi tutulan kömürün bazı özellikleri

| ANALİZLER         | İSTENEN DEĞERLER            |
|-------------------|-----------------------------|
| Rutubet (%)       | 8 - 12                      |
| Uçucu Madde (%)   | 24 - 29                     |
| Şişme İndeksi     | 41/2-9                      |
| Dilatasyon (%)    | 40 - 90                     |
| G - değeri        | 1.03 - 1.08                 |
| Akışkanlık        | 100 - 1200 açısal derece/d. |
| Sağlamlık İndeksi | 4 - 5                       |
| Kül (%)           | 6 - 8                       |
| Kükürt (%)        | 0.6 - 1.0                   |
| Alkali (%)        | 3'den az                    |
| Fosfor (%)        | 0.1'den az                  |

Tablo 2.17 Metalurjik kokta aranan bazı özellikler

| ANALİZLER                                     | İstenen Değerler |
|-----------------------------------------------|------------------|
| Rutubet (%)                                   | 3                |
| Uçucu Madde (%)                               | 1.1              |
| Kül (%)                                       | 10.5             |
| Toplam Kükürt (%)                             | 0.8              |
| Sabit Karbon (%)                              | 88               |
| Isıl Değer (Kcal/kg)                          | 7950             |
| Gerçek Özgül Ağırlık<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | 2.38             |
| Gözeneklilik (%)                              | 50               |
| Boyut (mm)                                    | 30 - 80          |
| Sağlamlık (M <sub>40</sub> )                  | 78               |

Dünya metalurjik kok üretimi yaklaşık olarak 300 milyon ton/yıl civarındadır. Bu üretimin büyük bir bölümünü AT, ABD, BDT, ve Çin karşılamaktadır. Türkiye'de ise Ereğli, İskenderun, ve Karabük demir-çelik fabrikalarında yılda 3 - 3.5 milyon ton metalurjik kok üretilmektedir. Türkiye kok üretiminin %45'ini Ereğli, %34'ünü İskenderun ve %21'ini ise Karabük'teki tesisler gerçekleştirmektedir [1, 2, 3].

### 2.6.3.2 Düşük Sıcaklık Koklaştırması

Düşük sıcaklık koklaştırması daha çok linyit kömürlerine uygulanan bir işlemdir. Bu koklaşma ile kömürden; kimya ve elektro-kimya endüstrisi için kok, dumansız ev yakıtı üretilmekte; ayrıca ısı işlemlere sonucu açığa çıkan uçucu maddelerden sıvı ürünler (amonyaklı su, katran, hafif yağlar) ve yüksek ısı değerlere sahip gaz ürünler (hidrojen, metan, etan, karbonmonoksit vs) elde edilmektedir.

Plastik özelliği olmayan, linyit gibi kömürlerin düşük sıcaklıkta koklaşması sırasında sıcaklığa bağlı olarak, bazı değişimler oluşur (Tablo 2.18). Koklaşma sırasında yoğunlaşabilen ve sıvı ürüne dönüşebilen maddeler 300 °C civarında çıkmaya başlar ve 600 °C civarındaki sıcaklıklara kadar devam eder. Gaz çıkışı ise yine 300 °C’lerde başlar ve 900 - 1000 °C’ye kadar sürebilir [1, 3, 17, 35].

Tablo 2.18 Düşük sıcaklık koklaştırması sırasında kömürde meydana gelen değişimler

| SICAKLIK (°C) | DEĞİŞİMLER                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 100 - 150     | Bünyede bulunan su açığa çıkar                                                                                                                                                                                                            |
| 150 - 300     | Kömürde hapsolmuş gazlar ( CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ...) açığa çıkar.                                                                                                                                                        |
| 270 - 300     | Ufak boyutlu piritler azda olsa reaskiyona girmeye başlar ve H <sub>2</sub> S ile H <sub>2</sub> gazları çıkmaya başlar.                                                                                                                  |
| 300 - 350     | Kömürde bulunan maserel gruplar parçalanmaya başlar, kömür yapısına bağlı olarak şişme veya büzülme görür.                                                                                                                                |
| 350 - 450     | Endotermik prosesler sonucu uçucu gazların ( H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , CO , CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> .... ) çıkışı artar.                                                                |
| 450 - 650     | Bitümlü kısımlar parçalanarak gaz hafif hidrokarbon ve ağır katranlar çıkışı son bulur. Isı arttıkça kalan semikoktan çoğunluğu hidrojen olmak üzere gaz çıkışı devam eder. 500 C°’den sonra büzülme veya negatif genleşme oldukça azdır. |

Düşük sıcaklık koklaştırmasına tabi tutulan kömürlerde ; rutubet , tane boyutu, mukavemet, gözeneklilik, özgül ağırlık, kül, kükürt , uçucu madde, sabit karbon, ısı değer gibi özellikler dikkate alınır. Aşağıda, ABD ( Tablo 2.19 ), Almanya (Tablo 2.20) ve Türkiye’de ( Tablo 2.21 ) düşük sıcaklık koklaştırmasına tabi tutulan ve elde

edilen ürünlerin özellikleri verilmiştir. Bu özellikler her ülkenin kömürlerinde farklı değerlerde olsa da, birbirlerine yakın değerlerde olmaktadır [1, 17, 18, 23, 24, 36, 37].

Tablo 2.19 ABD’de düşük sıcaklık koklaşırmasına tabi tutulan ve elde edilen ürünün özellikleri

| ELEMEN           | Koklaşma Öncesi |              | Koklaşma Sonrası |                |
|------------------|-----------------|--------------|------------------|----------------|
|                  | McKinly Kömürü  | Crown Kömürü | McKinly Kömürü   | Crown Kömürü   |
| Rutubet (%)      | 10.81           | 10.86        | 3.10             | 3.00           |
| Kül (%)          | 8.13            | 10.08        | 19.81            | 20.40          |
| Uçucu Madde (%)  | 35.81           | 33.74        | 14.20            | 13.31          |
| Sabit Karbon (%) | 45.26           | 45.32        | 65.99            | 66.29          |
| Boyut (mm)       | - 75 + 10       | - 75 + 10    | % 67.2 (-20 mm)  | %68.4 (-20 mm) |

Tablo 2.20 Almanya’da düşük sıcaklık koklaşırmasına tabi tutulan ve elde edilen kömürün özellikleri

| ELEMEN           | Koklaşma Öncesi      |             | Koklaşma Sonrası     |               |
|------------------|----------------------|-------------|----------------------|---------------|
|                  | Orta Almanya Linyiti | Sert Linyit | Orta Almanya Linyiti | Sert Linyit   |
| Rutubet (%)      | 12.2                 | 29.3        | 0.6                  | 0.6           |
| Kül (%)          | 8.4                  | 4.6         | 17.9                 | 12.2          |
| Uçucu Madde (%)  | 30.1                 | 29.5        | 13.9                 | 4.0           |
| Sabit Karbon (%) | 49.3                 | 36.6        | 67.6                 | 83.2          |
| Boyut (mm)       | -80 + 3              | -80 + 3     | %17.9 (-5 mm)        | %28.0 (-5 mm) |

Tablo 2.21 Türkiye’de (Seyitömer) düşük sıcaklık koklaştırmaya tabi tutulan ve elde edilen ürünün özellikleri

| ANALİZ                   | Kurutucuya Giren Kömür | Kuru Kömür | Dumansız Yakıt |
|--------------------------|------------------------|------------|----------------|
| Rutubet (%)              | 36.3                   | 16.8       | 4.7            |
| Kül (%)                  | 12.7                   | 23.6       | 30.8           |
| Uçucu Madde (%)          | 27.6                   | 33.3       | 16.3           |
| Sabit Karbon (%)         | 23.4                   | 26.3       | 48.2           |
| Toplam Kükürt (%)        | 1.08                   | 1.24       | 1.40           |
| Üst Isıl Değer (Kcal/kg) | 3370                   | 4033       | 4551           |
| Tambur/Shatter Testi     | 76/90                  | 62/76      | 50/68          |
| Tutuşma Sıcaklığı        | 238                    | 228        | 372            |
| Boyut (mm)               | -150 + 20              | -          | -              |

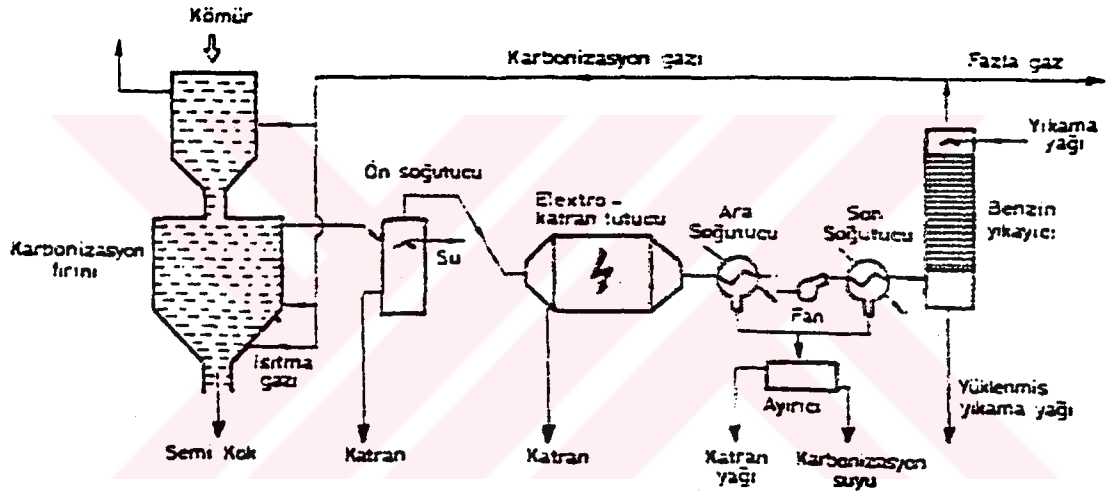
Endüstride uygulanan düşük sıcaklık koklaştırması, uygulandığı kömürün boyutlarına göre iri ve ince kömür koklaştırması, ısı tatbikatına göre ise direkt ısıtmalı ve indirek ısıtmalı fırın tipleri diye ayrılabilir. İri kömür düşük sıcaklık koklaştırmada kömürün boyut aralığı - 80 + 20 mm arasında iken, ince kömür düşük sıcaklık koklaştırmada bu değer genellikle - 20 mm altında olmaktadır.

**İri Kömür Düşük Sıcaklık Koklaştırması:** İri boyutlu kömürler direkt ve indirek ısıtmalı fırınlarda düşük sıcaklık koklaştırmaya tabi tutulabilmektedir. Direkt ısıtmalı fırınlarda koklaştırma süreleri ve ısı gereksinimi daha az olduğundan diğer tipe göre daha avantajlıdır.

Direk ve indirek ısıtmalı fırınlarda genellikle linyit kömürleri karbonizasyona tabi tutulmaktadır. Indirekt fırınlarda kullanılan kömürlerin boyutları direkt ısıtmalılara nazaran daha küçük tutulmaktadır. Direkt ısıtmalı fırınlarda ise dar boyut aralığında iri boyutlu kömür tercih edilmektedir. Bu nedenle , direkt ısıtmalı fırınlarda daha sağlam parçaları olan linyitler ( sert veya odunsu linyitler ) ile linyit biriketleri karbonizasyona tabi tutulabilmektedir. Endüstride direkt ısıtmalı fırınlardan Lurgi fırınları daha çok

kullanılmaktadır. Lurgi fırınları iki ana bölümden oluşur. Birinci bölümde  $150^{\circ}\text{C}$  'de kömür kurutmaya tabi tutulmakta, burada kuruyan kömür ikinci bölümdeki karbonizasyon kısmına inmektedir. İkinci bölümde kömür  $450 - 850^{\circ}\text{C}$  arasında ısıtılmaktadır. Koklaşan kömür, inert gazların bulunduğu soğutma ortamına gelerek soğutulmakta ve fırınlardan alınmaktadır [1, 3].

Koklaştırma sırasında, ısıtma gazlarıyla seyrelmiş durumda olan gazlar , fırınlardan çıktıktan sonra sırası ile soğutucu , katran tutucu, son soğutucular ve benzinle yıkayıcı gibi ünitelerden geçirilmekte ve bir kısmı fırınların ısıtılmada kullanılırken, kalan kısmı piyasaya verilebilmektedir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Lurgi direkt ısıtmalı fırın ve yan tesisleri

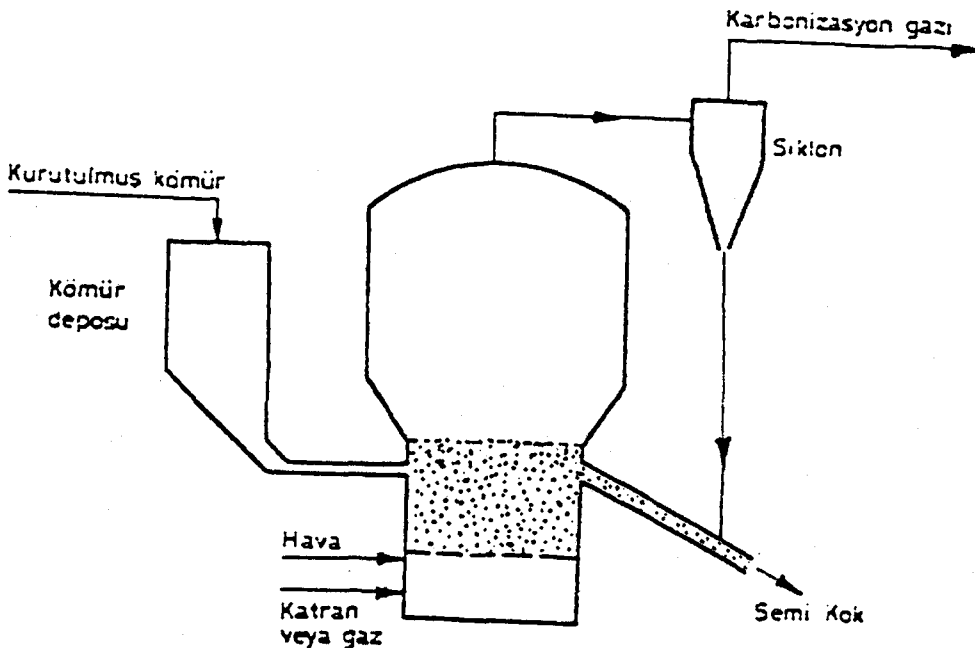
Koklaşma işlemleri sonucu elde edilen katı ürün çoğunlukla büyük oranda ufalanmış ve mukavemetini kaybetmiş durumdadır. Bu nedenle, bu ürünler yüksek fırınlarda pek kullanılamaz. Ancak, fazla sağlamlık gerektirmeyen ince taneli kok kullanılabilen endüstri kolları için bu ürünler iyi bir yakıt olabilmektedir. Örneğin; çimento sanayi, tuğla, kireç yakma fırınları, gazlaştırma reaktörleri, ark fırınları ( ferrokrom, ferrosilium, karpit üretimleri ), termik santraller ve evlerde kalorifer yakıtı olarak kullanılabilir.

**İnce Kömür Düşük Sıcaklık Koklaştırması:** Linyit ve koklaşma özelliği olmayan taş kömürleri ince boyutlarda karbonize edilerek semikok , gaz ve sıvı ürün elde etmek amacıyla bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler genel olarak üç grup altında toplanabilmektedir:

- Akışkan yataklı karbonizasyon yöntemi
- Salem fırınları
- Kızgın kok dolaşimli karbonizasyon yöntemi

**Akışkan Yataklı Koklaştırma Yöntemi:** İnce boyutlu tanelerden oluşan bir yatak içersinden belirli hızda sıcak hava ve gaz geçirildiğinde taneler hareket etmeye başlamaktadır. Verilen gaz ( kömürle direk temas halinde ) arttırıldıkça kömürler bir kaç saniye içinde karbonize olmaktadır.

İnce kömür koklaştırılmasında akışkan yataklı bir fırının şematik görünümü Şekil 2.17'de görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere , reaktörün altında bir ızgara vardır. Izgara altından sıcak gaz yukarı doğru belirli hızda ve basınçta çıkarken, üzerine kurutulmuş ince kömür taneleri verilerek karbonizasyon gerçekleştirilmektedir. Karbonize olan kömür reaktörden taşarak alınmakta; gaza karışan tozlar ise siklonda tutularak ince semikoka verilmektedir [1, 3].



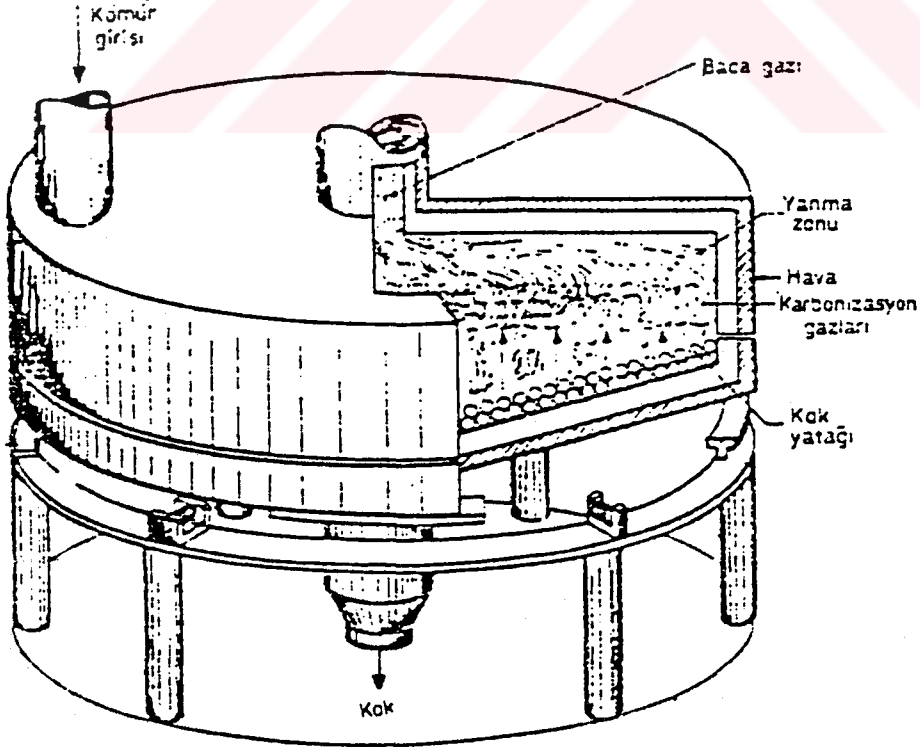
Şekil 2.17 Akışkan yataklı düşük sıcaklık koklaştırma fırını



Bu fırınlarda ince taneli kömürler 500 - 900 °C arasında koklaştırılmaktadır. Ancak 700 °C 'nin üstüne çıkıldığında kömürün karbonizasyonu yanında , kömür veya semikok sıcak gaz içindeki  $\text{CO}_2$  ve su buharı ile reaksiyona girerek gazlaşmakta ve kütle kaybına neden olmaktadır [1, 3]

**Salem Fırını:** Bu fırının üst kısmı sabit, alt kısmı dönene iki bölümden oluşmaktadır. Fırın, 500- 800 °C'ye ısıldıktan sonra kömür yandan beslenmektedir. Kömür sıcaklık etkisiyle karbonize olmakta ve bu sırada çıkan gazların bir kısmı fırının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Fırındaki kömür yatağının kalınlığı 150 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Fırının hemen üzerinde bulunan karıştırıcılar, alt kısım döndükçe, kömürü karıştırmakta ve ortaya doğru taşımaktadır. Koklaşan kömür bu fırının ortasından aşağıya düşmekte ve soğuk inert gazlar ve su ile soğutulmaktadır.

Genel olarak bu fırınlarda üç ayrı zon bulunmaktadır. Bunlar ; yanma zonu, henüz yanmayan gazlar zonu ve kok zonudur. Şekil 2.18'de salem fırını görülmektedir. Almanya'nın Rhen bölgesinde - 10 mm boyutlu kömür bu yöntemle karbonize edilmekte , yılda 20.000 ton ince kok elde edilmektedir [3].



Şekil 2.18 Salem fırını

**Kızgın Kok Dolaşımli Koklaştırma Yöntemi:** Bu yöntemde karbonize olan kömürün bir bölümü daha yüksek sıcaklıklara ısıtılarak tekrar reaktöre gönderilmekte ve reaktöre verilen yeni kömürü ısıtarak karbonize etmektedir. Semikokun daha yüksek sıcaklığa ısıtılması, ince bir tüp şeklindeki reaktör içinde olmaktadır. Isınarak yukarı çıkan kok, siklonlarda gazdan ayrılarak, karbonizasyon reaktörüne gelmektedir. Yöntemin en önemli avantajı karbonizasyon fırınına yabancı gaz girmemesi ve buna bağlı olarak temiz ve zengin gaz kazanılmasıdır.

Yukarıda belirtilen yöntemlerin dışında Rusya’da geliştirilen ve ince boyutlu kömürlerin koklaştırılmasında kullanılan ETH Fırını ile TKKU Fırınları da endüstride kullanılmaktadır. Bu fırınlar aşağıda kısaca tanıtılmıştır [27].

**ETH Fırını:** Bu fırında kömür, -0.5 mm’ye öğütüldükten sonra 250 - 300 C ‘de inert gazlar ile rutubeti %4’e indirilinceye kadar kurutulmaktadır. Daha sonra reaktöre gönderilen kuru kömür 600 - 700 °C sıcaklıklara kadar ısıtılmaktadır. Karbonize olan semikok siklonlardan geçirilerek gazlardan ayrılmakta; ürünün bir kısmı fırına, kalan kısmı ise piyasaya verilmektedir [27].

**TKKU Fırını:** Kızgın kok dolaşımli koklaştırma yöntemine benzeyen bu sistemde 1 - 3 mm boyut aralığındaki ince kömürler 650 - 700 °C’de ısıtılmış kok etkisi ile koklaştırılmaktadır. Koklaştırma sırasında buhar gazı karışımli katran kok tozundan ayrılmakta ve yoğunlaştırılarak ayrı bir bölümde toplanmaktadır. İnce boyutlu kömürlerden girene göre %40 oranında semikok elde edilmekte ve bu ürün aktif karbon üretiminde kullanılmaktadır. Bu fırının şematik görünümü Şekil 2.19’de verilmiştir [27].

**Düşük Sıcaklık Koklaştırması Sonucu Elde Edilen Ürünler:** Kömürün koklaştırılması sonucu katı ürün (semikok), sıvı ürün (amonyaklı-su, katran ve hafif yağlar) ve gaz ürünler (metan, etan, hidrojen, karbondioksit, azot oksitler, kükürt oksitler) elde edilir. Tablo 2.22’de koklaşma sonucu oluşan ürünlerin dağılımı görülmektedir [1, 3].



Isıl işlemler sonucu kömürlerden çoğunlukla hidrojen ve hidrokarbonlar çıkmaktadır. Kömürden çıkan gaz ürünün %55-65'ini hidrojen; geri kalanını ise parafinler ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , ...), olofinler ve diolofinler ( $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ ), neftenler ( $\text{C}_5\text{H}_6$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_{10}\text{H}_{12}$ ), aromatikler ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_3\text{H}_7$ , ...), oksijenli bileşikler ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ,...), azotlu bileşikler ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CS}_2$ ,  $\text{C}_4\text{H}_4\text{S}$ , ...) ve fosfor oluşturur. Yüksek ve düşük sıcaklık koklaştırması, her ülkenin kendi kömürlerinin özelliklerine göre farklılıklar gösterebilmektedir [1].

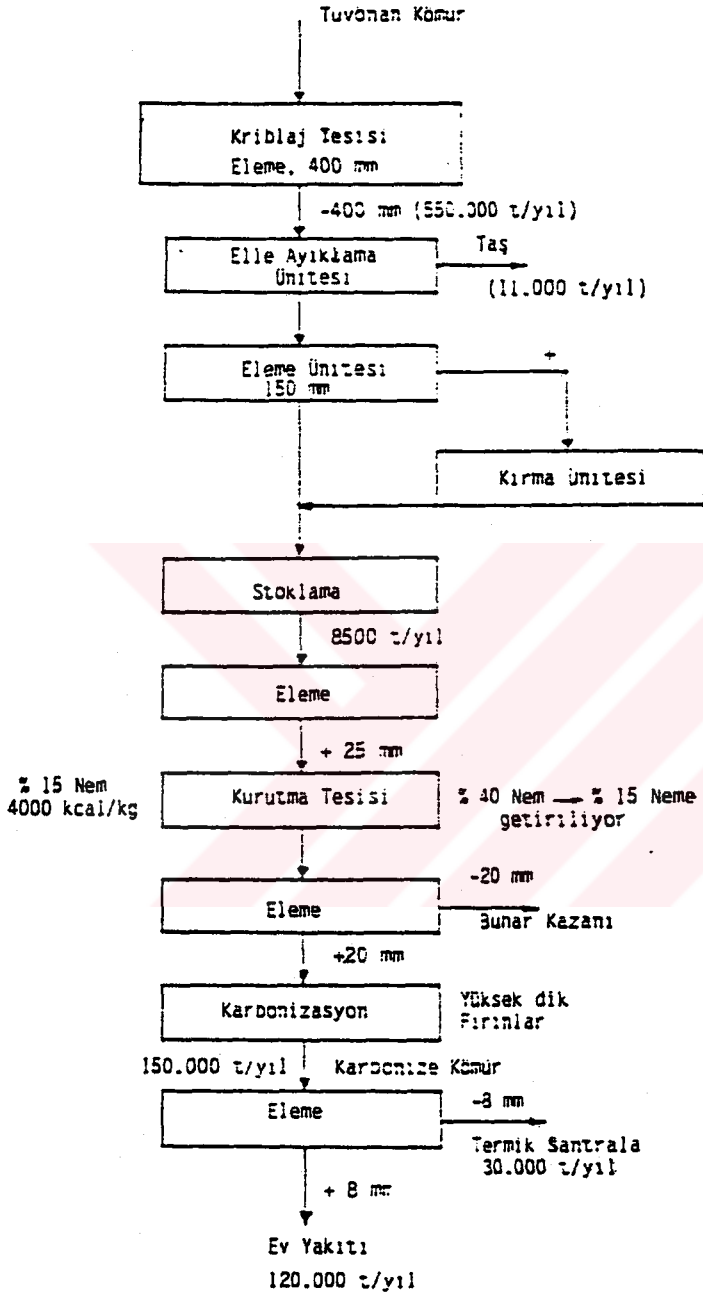
**Seyitömer Düşük Sıcaklık Koklaştırma Tesis:** Seyitömer bölgesi Linyitlerinden yılda 150.000 ton dumansız yakıt elde etmek amacıyla 1974 yılında temeli atılan tesis 1982 yılında deneme üretimine başlamıştır. Günümüzde çalışmayan ve ülkemiz için tek örnek olan bu tesisin akım şeması Şekil 2.20'de görülmektedir [37].

Şekilden de görüleceği üzere, kriblaj tesisine gelen kömür bir bant vasıtasıyla eleme ünitesine yollanırken, kömürde bulunan iri boyutlu şistler elle ayıklanması, +150 mm. boyutlu elek üstü kömürü ise bir kırıcıdan -150 mm'ye kırılarak, elek altı kömürü ile birleştirildikten sonra stok alanında toplanmıştır [1].

Bu stoktaki kömür, kurutma tesisine gönderilmeden önce 25 mm.'lik bir elekten elenmiş, -25 mm. boyutlu kömür termik santrale, +25 mm. boyutlu kömürün ise kurutma tesisine nakledilmesi öngörülmüştür. Kurutucudan çıkan kömür tekrar bir eleme işlemine tabii tutularak, -20 mm.'lik ürün buhar üretim tesisine, elek üstü ürün (-150 +20 mm) ise karbonizasyon tesisine iletilmesi planlanmıştır.

Koklaştırma fırınlarında elde edilen semikok, son bir elemeye tabii tutularak; +8 mm. boyutundaki kok ev yakıtı olarak ; -8 mm. boyutundaki kokun ise termik santrallere gönderilmesi öngörülmüştür.

Karbonizasyon tesisinde iki adet retort bulunmaktaydı. Silindir şeklindeki retortların içi tuğla ile örülmüş olup, ortasında seramik bir tüp bulunmaktadır. Bu tüp etrafında



Şekil 2.20 Seyitömer dumansız yakıt tesisi akım şeması

sıcak gazların geçebileceği delikler açılmıştır. Retortlar, kömürün dört aşamadan geçerek, semikoka dönüşmesini sağlayacak şekilde yapılmıştır.

- Kurutma Bölgesi : 500 °C sıcaklıktaki gaz, beslenen kömürün içerisinden geçerek, kömürü 100 °C'ye kadar ısıtır. Bu sırada çıkan buharın çoğunluğu retortların çevresinden borular ile dışarıya alınır.
- Düşük Sıcaklık Koklaşma Bölgesi : 600 °C'deki gaz merkezi tüpün üst kısmından girer ve kömürü 450 °C'ye kadar ısıtır.
- Son Koklaşma Bölgesi : 700 - 800 °C arasındaki gaz retorttaki kömürü 600 °C'ye kadar ısıtır. Isıl işlemler sonucu elde edilen gazlar gaz devresine gönderilir.
- Soğutma Bölgesi : Karbonize olan kömür, yaklaşık 80 °C'deki soğutucu gaz ve deşarj kutusu üzerine püskürtülen su ile tutuşma sıcaklığının (250 °C) altına kadar soğutulur.

Koklaştırma fırınlarında elde edilen semikok, son bir elemeye tabii tutularak; +8 mm. boyutundaki kok ev yakıtı olarak ; -8 mm. boyutundaki kokun ise termik santrallere gönderilmesi öngörülmüştür.

Türk linyitleri üzerine, yukarıda belirtilen çalışmaların dışında lab. ölçekli pek çok araştırmalar yapılmıştır. Tablo 27'de görüldüğü gibi, denkner tipi retortlarla 5 °C/dak ısıtma hızı ve 900 °C'ye varan ısıl işlemler sonucu, külsüz bazda ortalama %7- 10 katran, %11 - 15 bozunma suyu, %18 - 34 gaz ve %38 - 61 katı ürün alınabilmektedir. Bu çalışmalarda 1 kg linyitten 325 - 410 litre gaz çıktığı gözlenmiş ve gaz bileşiminin ise hacimce, %47 - 60 H<sub>2</sub> , %11 - 24 CO<sub>2</sub> , %14 - 21 CO ve %8 - 19 CH<sub>4</sub> olduğu belirlenmiştir [1].

Tablo 2.23 Türkiye linyitleri üzerine yapılan piroliz çalışmaları

| Kömür     | Retort    | Piroliz Sıcaklığı<br>(°C) ve Isıtma hızı<br>(°C/dak) | Optimum katran verimindeki değerler (kb) |        |      |                 | Kömür (kbb) |     |
|-----------|-----------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------|------|-----------------|-------------|-----|
|           |           |                                                      | (%)                                      |        |      |                 | (%)         |     |
|           |           |                                                      | Katı ürün                                | Katran | Gaz  | Bozunma<br>Suyu | C           | H   |
| Adıyaman  | Jenkler   | 500 - 900 , 5.8                                      | 40.5                                     | 6.6    | 21.8 | 23.7            | 68.3        | 4.9 |
| Soma      | Jenkler   | 500 - 900 , 5.8                                      | 56.8                                     | 7.2    | 17.5 | 13.8            | 79.5        | 4.8 |
| Armutçuk  | Jenkler   | 500 - 900 , 5.8                                      | 74.5                                     | 13.8   | 6.2  | 2.3             | 84.3        | 5.3 |
| Kozlu     | Jenkler   | 500 - 900 , 5.8                                      | 78.6                                     | 10.8   | 6.6  | 2.0             | 87.9        | 5.2 |
| Beypazarı | -         | 800 - 900 , 5.0                                      | 47.9                                     | 8.5    | 23.5 | 11.6            | -           | -   |
| Çan       | Jenkler   | 900 - 950 -                                          | 50.3                                     | 6.8    | 24.3 | 14.7            | 69.9        | 5.0 |
| Seyitömer | Jenkler   | 900 -                                                | 49.4                                     | 4.7    | 18.4 | 25.8            | 56.2        | 4.1 |
| Tunçbilek | Jenkler   | 900 -                                                | 54.2                                     | 9.5    | 18.2 | 12.9            | 61.7        | 4.3 |
| Elbistan  | Gray-Kink | 600 , 5.7                                            | 44.9                                     | 2.8    | 42.8 | 11.6            | 47          | 3.3 |

kb= külsüz baz

kbb= kuru külsüz baz

## 2.6.4 Kömürün Gazlaştırılması

Isıl işlemler sonucu, kömürden sıvı ürünler ile birlikte değişik türde gazlar da ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$  ...) açığa çıkar . Gazlaştırma olarak da adlandırılan bu işlemde oluşan genel reaksiyonlar Tablo 2.24’de görülmektedir [1].

Tablo 2.24 Gazlaştırmadaki temel tepkimeler

| TEPKİMELER                          | SICAKLIK (°C) |
|-------------------------------------|---------------|
| $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$     | Yüksek        |
| $C + CO_2 \rightarrow 2CO$          | Yüksek        |
| $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$         | Yüksek/ Orta  |
| $C + 1/2O_2 \rightarrow CO$         | Yüksek        |
| $C + O_2 \rightarrow CO_2$          | Yüksek        |
| $CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$  | Yüksek/Orta   |
| $CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$ | Orta/Düşük    |

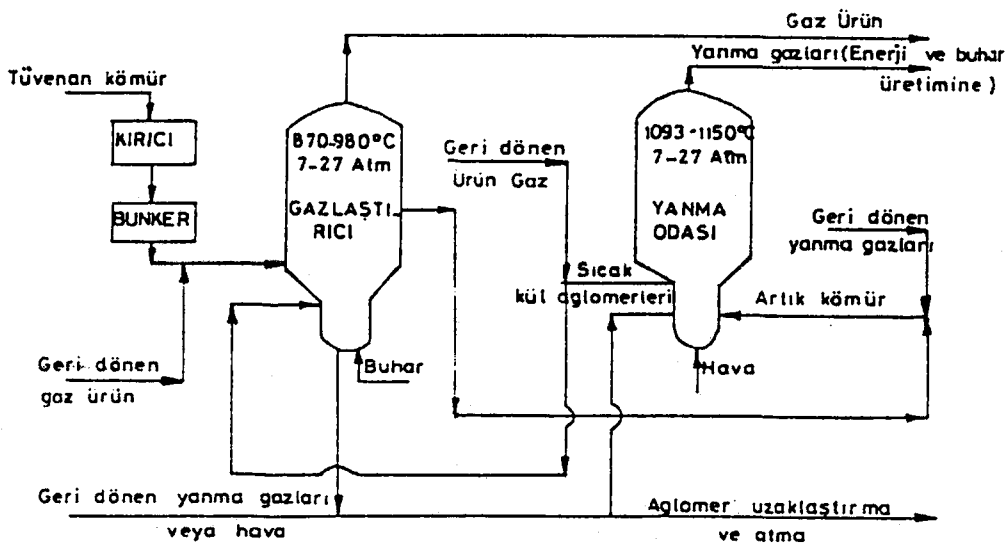
Genellikle, kömürden gaz üretimi aşağıda belirtilen iki şekilde olmaktadır.

- Kok üretimi sırasında yan ürün olarak,
- Kömürün doğrudan gazlaştırılması

Koklaşma sırasında, kok kamaralarından çıkan gazlar öncelikle sıvı ürünlerden ayrılır. Sıvı üründen temizlenen gaz, sırası ile  $H_2S$  yıkayıcı,  $NH_3$  yıkayıcı ve naftalin+benzol yıkayıcılardan da geçirilerek yıkanmış temiz gaz elde edilir.

Doğrudan kömürün gazlaştırılmasında ise kömür hava, su buharı, karbondioksit, oksijen ve hidrojen gibi gazlaştırıcılar ile muamele edilerek; hava gazı (jeneratör gazı), şehir gazı, su gazı gibi gazlar elde edilmektedir. Gazlaştırma reaksiyonu yüksek sıcaklıklarda ( $800 - 1000\text{ }^{\circ}C$ ) ve bazen de basınç altında ( $0 - 300\text{ psi}$ ) yapılabilmektedir. Kömürün gazlaştırma prosesine ait akım şeması Şekil 2.21'de görülmektedir [1, 3].

Kömürün gazlaştırılması ile üretilen yüksek kalorili ( $6000 - 8000\text{ Kcal/Nm}^3$ ) ve düşük kalorili ( $1000 - 1800\text{ Kcal/Nm}^3$ ) gazlar elektrik santrallerin, kimya endüstrisi, metalurji sanayi ve evlerde kullanılabilmektedir [1, 3, 8].



Şekil 2.21 Battelle - Aglomera Gazlaştırma Süreci Akım Şeması



### 2.6.5 Kömürün Sıvılaştırılması

Sıvılaştırma, kömürün gerek sıvı yakıt, gerekse kimyasal hammadde ihtiyacını karşılamak üzere yüksek enerji yoğunluğu olan sıvılara dönüştürülmesi şeklinde tanımlanabilir. Bu yöntem, kömürden elde edilen ürünün hidrojenle zenginleştirilmesi veya karbonca fakirleştirilmesi esasına dayanır. Hidrojenasyon olarak da tanımlanan sıvılaştırma yöntemleri dört ana bölümde toplanır [1, 2, 3].

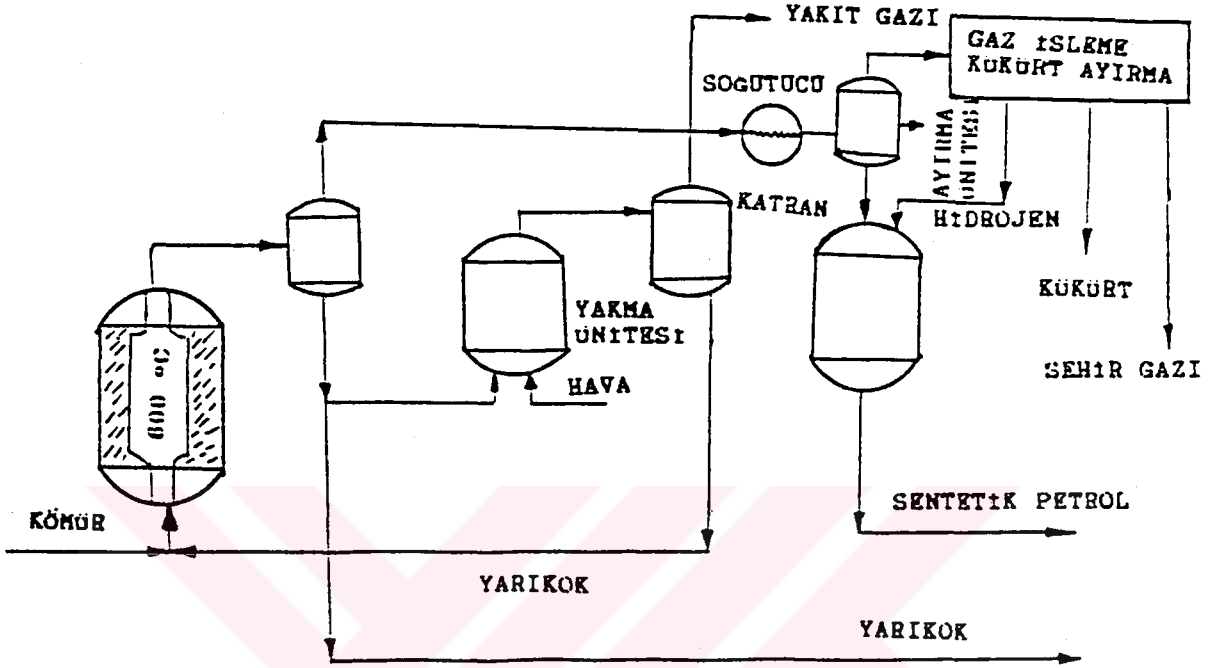
- Piroliz
- Katalitik hidrojenasyon
- Kömür ekstraksiyonu
- Gazlaştırma sentezi

Piroliz yönteminde kömür 500 - 700 °C'ye kadar ısıtılmakta ve kısa bir süre içinde sıvı, gaz ve katı ürün elde edilmektedir.

Katalitik hidrojenasyon prosesi, 300 - 500 °C sıcaklık ve 100 bar basınç altında yapılmaktadır. Bu prosesde kömürde bulunan karbon atomları ile sisteme verilen hidrojen atomları reaksiyona girerek hidrojenle zengin bir sıvı ürün alınmaktadır.

Kömür ekstraksiyonu yönteminde, kömüre sıvı hale getirici reaktifler karıştırılarak; karışım önce balçık haline getirilmekte daha sonra karışıma hidrojen de katılarak 180 - 270 °C de ısıtılmaktadır. Damıtılan ürün belirli fonksiyonlara ayrılmaktadır.

Sıvılaştırma prosesine ait Garret sıvılaştırma akım şeması Şekil 2.22'de görülmektedir.



Şekil 2.22 Garret sıvılaştırma akım şeması

Sıvılaştırma işlemi pahalı ve kompleks bir yöntem olması nedeni ile günümüzde endüstriyel çapta pek uygulanamamaktadır.

#### 2.6.6 Kömürün Briketlenmesi

Briketleme, herhangi katı bir maddenin bir dış basınç altında mekanik olarak sıkıştırılması ile sağlam ve üniform bir ürün haline dönüştürülmesi olayıdır. Briketleme kömüre, ince boyutlu metal konsantrelerine, potasyum, kil, kükürt, manyezit, jips, çimento + agrega karışımlarına uygulanabilmektedir [1, 8, 13].

Kömür biriketlemesinde en önemli amaç, belirli ısı değerlere sahip toz kömürlerin parça kömür haline dönüştürülmesidir.

Kömürün biriketlemesinde bitüm teorisi ile kapiler teorisi geçerli olan teorilerdir. Bitüm teorisine göre, bitüm bir hidrokarbon olup sıvı, katı ve gaz halde bulunur. Kömür içerisindeki bitümlerin yüksek basınç ve 80 - 100 °C sıcaklıkta ergiyip, kömür parçalarının etrafını sararak, ince boyutlu (-8 mm) kömür tanelerini bir arada tutması esasına dayanır. İyi kalite bir biriket elde etmek için, kömürde genellikle en az %2 - 6, en çok 13 - 14 bitümün bulunması gerekir [1, 33].

Kapiler teorisinde ise kömürlerin kapilerindeki su yüksek basınçta dışarıya çıkıp, diğer kapilerdeki su molekülleri ile birleşerek bağlanması esasına dayanır. Böylece, linyitin doğal suyu bir bağlayıcı gibi davranır. Kömür kapilerindeki suyun dışarı çıkması için 20 kg/cm<sup>2</sup> lik bir basınç yeterli olmaktadır [1, 8].

Briketleme, uygulanan sıcaklık bakımından sıcak ve soğuk briketleme; kullanım amacına göre ev yakıtı ve sanayi briketi; bağlayıcı ilavesine göre de bağlayıcı maddeli ve bağlayıcısız olmak üzere tanımlanabilmektedir.

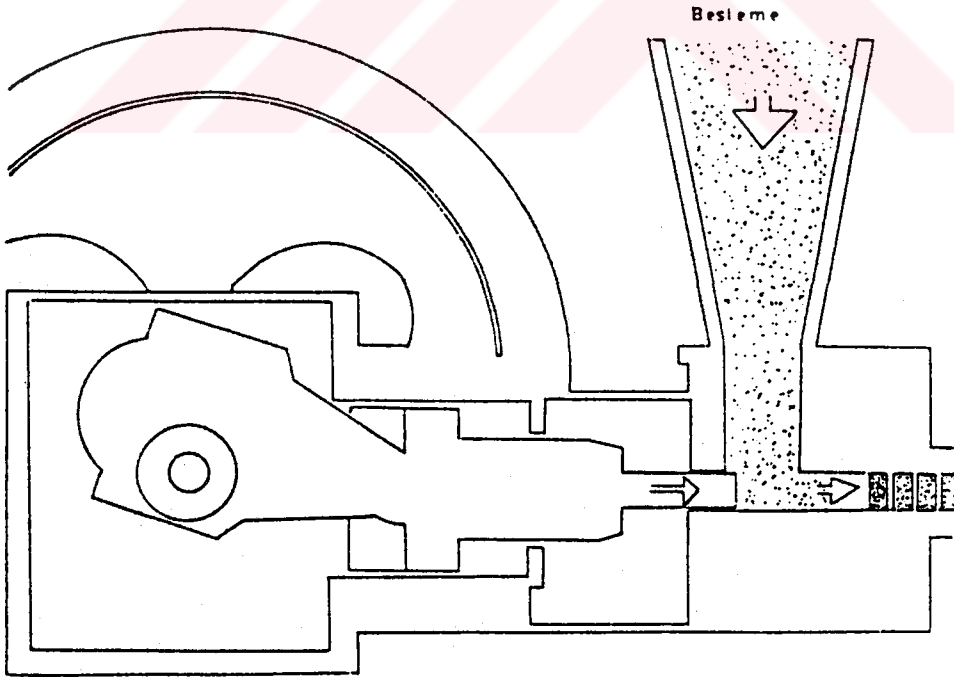
Bağlayıcı maddeli briketlemede ; kömür taneleri, uygun bağlayıcı madde kullanılarak daha dayanıklı hale getir. Bu yöntem, genel olarak ısı değeri yüksek taş kömürü tozlarından ve kül içeriği az, ısı değeri yüksek linyit tozlarından ev yakıtı elde etmek amacı ile uygulanmaktadır.

Bağlayıcısız briketlemede ise; belirli bir tane boyutunda ve rutubet içeriğindeki kömür, herhangi bir katkı maddesi ilave etmeden yüksek basınç altında briketlenir. Katkı maddesiz briketleme, genellikle yumuşak linyitlere uygulanır. Briketlemeye elverişli linyitlerde fonksiyonel grup diye adlandırılan karbonil, karboksil ve hidroksil grupları suya ve birbirlerine karşı çok aktiftir. Bu gruplar uygulanan briketleme basıncı ile birbirine yaklaşarak bağ oluşturur ve sağlam bir briketi meydana gelmektedir [1, 8].

Değişik briketleme işlemlerinde en çok kullanılan katkı maddeleri; melas, bentonit, sülfat likörü, peridor (bentonit ile birlikte ) ataklitik polipropilen, katran, lateks, çimento, reçine ve kireçtir.

Briketlemeye etki eden faktörler; kömürün petrografik özellikleri, kömürün yapısı, rutubet içeriği (% 3 - 14), tane boyutu (0 - 8 mm), katkı maddesi, briketleme yükü ve süresidir [1, 8].

Sanayide oldukça sık kullanılan pistonlu tip bir briketleme presinin kesit görünüşü Şekil 2.23’de görülmektedir.



Şekil 2.23 Pistonlu briketleme presinin kesit görünüşü

## 2.7 Kömürün Kullanım Alanları

Kömür, ana enerji kaynaklarından biri olması nedeni ile günümüzde oldukça fazla kullanım alanı bulmaktadır. Kömürün başlıca kullanım alanları; termik santraller, ısıtma sektörü, kok yapımı, sıvı ve gaz yakıt üretimi, aktif karbon üretimi, kağıtçılık sanayinde dolgu malzemesi ve grafit elektrot üretiminden oluşmaktadır. Ayrıca, zenginleştirme sırasında elde edilen şist ve yakma sırasında oluşan kül ise çeşitli endüstri dallarında hammadde olarak kullanılabilir [5, 6, 9, 10, 39] .

1992 yılında, Türkiye’de üretilen toplam kömürün %10.1’i (4790000 ton) taşkömürü oluşturmaktadır. Bu üretimin büyük bir bölümü metalurjik kok üretiminde, çevre il ilçelerin ısıtılmasında ve çatalağzı termik santralinde tüketilmiştir. Türkiye kömür üretiminin %89.9 luk (42862000 ton) kısmını ise linyitler oluşturmuştur. Üretilen bu linyitlerin %76.9’u termik santrallerde, %11.6’sı ısıtma ve sanayi alanında ve %11.5’i ise diğer alanlarda kullanılmıştır [9, 10]. T.T.K.’nin üretmiş olduğu kömürün yıllara göre dağılımı Tablo 2.25’te, T.K.İ.’nin üretmiş olduğu kömürün yıllara göre dağılımı Tablo 2.26’da ayrıca, 2010 yılına kadar öngörülen linyit tüketimi programı Tablo 2.27’de verilmiştir [6, 7, 8, 9, 10] .

Tablo 2.25 TTK’nın üretmiş olduğu kömürün yıllara göre dağılımı

| Yıllar | Tüvenan Üretim<br>(10 <sup>3</sup> ton) | Satılabilir Üretim<br>(10 <sup>3</sup> ton) |
|--------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1952   | 4846                                    | 3010                                        |
| 1962   | 6485                                    | 3893                                        |
| 1972   | 7962                                    | 4641                                        |
| 1988   | 6687                                    | 3256                                        |
| 1992   | 4790                                    | 2829                                        |

Tablo 2.26 TKİ’nin üretmiş olduğu linyit miktarı ve kullanıldığı yerler (10<sup>3</sup> ton)

| YILLAR | Termik Santral | Isıtma ve Sanayi | İç Tüketim | TOPLAM |
|--------|----------------|------------------|------------|--------|
| 1980   | 5483           | 8089             | 141        | 13713  |
| 1984   | 11502          | 9404             | 142        | 21048  |
| 1988   | 15244          | 10415            | 1971       | 27630  |
| 1990   | 28055          | 6230             | 4117       | 38402  |
| 1991   | 29486          | 5170             | 4585       | 39178  |
| 1992   | 32963          | 4955             | 4944       | 42862  |

Tablo 2.27 Türkiye'nin 2010 yılına kadar linyit tüketim programı (10<sup>3</sup> ton)

| Yıllar | Konut | Sanayi ve Diğer | Santral | Toplam |
|--------|-------|-----------------|---------|--------|
| 1996   | 10972 | 7986            | 59410   | 78368  |
| 1997   | 11888 | 8051            | 61465   | 81404  |
| 1998   | 12188 | 8175            | 75751   | 96114  |
| 1999   | 12388 | 8291            | 78638   | 99317  |
| 2000   | 12641 | 8555            | 91653   | 112849 |
| 2001   | 13740 | 8799            | 102160  | 124699 |
| 2002   | 13970 | 9144            | 106500  | 129614 |
| 2003   | 14230 | 9532            | 115439  | 139201 |
| 2004   | 14290 | 10098           | 120040  | 144428 |
| 2005   | 14480 | 10571           | 122050  | 147101 |
| 2006   | 14570 | 11180           | 131199  | 156949 |
| 2007   | 14790 | 11718           | 141546  | 168054 |
| 2008   | 15210 | 12021           | 145747  | 172978 |
| 2009   | 15660 | 12351           | 150968  | 178979 |
| 2010   | 16110 | 12675           | 155156  | 183941 |

Kömürün kullanım yerlerinin belirlenmesinde; tane boyutu, kül, kükürt, ısı değeri, rutubet, uçucu madde, öğünebilirlik ve koklaşma özelliği önemli faktörlerdir. Termik santrallerde daha ziyade düşük ısı değeri içerikli linyitler kullanılmaktadır.

**Termik Santrallerde Kömür Tüketimi:** Elektrik enerjisi üretmek amacıyla üretilen kömürlerin yaklaşık olarak 3/4' ü termik santrallerde kullanılmaktadır. Türkiye'de çoğunluğu kömürle çalışan 26 adet termik santral bulunmaktadır. Bunlar Türkiye enerji ihtiyacının yaklaşık olarak % 40'ını karşılamaktadır [1, 9, 10].

**Isınmada Kömür Kullanımı:** Kömür özellikle soba ve kalorifer kazanlarında ısı üretmek amacı ile tüketilmektedir. Türkiye'de ısınmak amacı ile kullanılan enerjinin yaklaşık %30'u kömürden sağlanmaktadır [9, 10].

**Sanayide Kömür Kullanımı:** Sanayide kullanılan linyitlerin nispeten iyi kalitede (3500 kcal/ kg ve yukarısı) olması istenir. Türkiye'de en önemli kömür tüketen sanayi sektörleri ; çimento, azot ve gübre sanayi, tuğla, seramik sanayi, kalker kalsinasyon fırınları, şeker fabrikaları ve makina kimya endüstrisidir.

**Kömür Artıklarının Kullanımı:** Kömürün yıkanması ve yakılması sırasında artık maddeler elde edilir. Yıkama işleminde artık olarak alınan kil ve şistler kalitelerine bağlı olarak seramik ve tuğla endüstrisinde hammadde olarak kullanılabilir. Özellikle, termik santrallerde yakma sonucu oluşan küller çimento katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, bu küllerde U, Mn, Cu, Zn, Mo gibi kıymetli elementler de bulunabilir [1, 2].



## BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölüm, deneylerde kullanılan İstanbul - Yeniköy bölgesine ait üç damar ve harman numunesinin standart kömür analizlerini, jig ve sarsıntılı masa ile zenginleştirme, düşük sıcaklık koklaştırma ve briketleme deneylerini kapsamaktadır.

### 3.1 Deneylere Esas Olan Numuneler

Deneysel çalışmalar, İstanbul - Yeniköy bölgesinden alınan numuneler üzerinde yürütülmüştür. Numuneler; Mil - ten Hafriyat Ltd. Şti. ait kömür ocaklarında bulunan alt, orta, üst damarlardan stamp numune şeklinde alınmıştır. Damarlardan 10' ar m. aralıklar ile alınan stamp numuneler, her bir damar için 10 ton dolaylarında biriktirilmiş ve daha sonraki aşamalarda boyut küçültme ve konileme - dörtleme yöntemi ile 500 kg'a indirilmiştir. Bu numuneler, boyutları 10 cm'nin altına indirildikten sonra deneylere esas numuneleri oluşturmuştur.

### 3.2 Numunenin Özellikleri

#### 3.2.1 Petrografik Özellikler

Numuneler üzerinde yapılan makroskopik gözlemler sonucu bu bölge kömürlerinin çoğunlukla mat ve koyu kahverenkli olduğu gözlenmiştir. Kömür içinde yer yer 1 - 2 mm kalınlıkta parlak siyah renkte zonlar ile yer yer açık kahverenkte, lifli yapılı zonlar da görülmüştür. Ayrıca, çoğunluğu alt damarda olmak üzere, çok küçük boyutlu (40 - 10  $\mu$ m) pirit fazları da izlenmiştir.

#### 3.2.2 Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Temsili bir şekilde alınan ve hazırlanan damar numunelerinin standart kömür analiz sonuçları Tablo 3.1'de, elek analiz sonuçları ise Tablo 3.2'de verilmiştir.



Tablo 3.1 Üç kömür damar numunesinin standart kömür analiz sonuçları  
(kuru baza göre)

| ELEMAN                    | ÜST DAMAR | ORTA DAMAR | ALT DAMAR |
|---------------------------|-----------|------------|-----------|
| Toplam Rutubet(%)         | 32.43     | 33.54      | 33.63     |
| Bünye Rutubeti            | 13.95     | 14.96      | 15.06     |
| Kül (%)                   | 13.95     | 11.10      | 11.78     |
| Uçucu Madde(%)            | 45.86     | 47.16      | 46.00     |
| Sabit Karbon (%)          | 40.19     | 41.74      | 42.22     |
| Yanabilir Kükürt(%)       | 1.23      | 0.24       | 3.09      |
| Toplam Kükürt (%)         | 1.80      | 1.01       | 3.98      |
| Üst Isıl Değer (Kcal /kg) | 5269      | 5506       | 5496      |
| Alt Isıl Değer (Kcal /kg) | 3560      | 3659       | 3648      |

Tablo 3.2 Üç kömür damar numunesinin boyut dağılımı ve boyuta göre kül ile kükürt içeriklerinin sonuçları (kuru baza göre)

| BOYUT ARALIĞI<br>(mm) | ÜST DAMAR |       |        | ORTA DAMAR |       |        | ALT DAMAR |       |        |
|-----------------------|-----------|-------|--------|------------|-------|--------|-----------|-------|--------|
|                       | Miktar    | Kül   | Kükürt | Miktar     | Kül   | Kükürt | Miktar    | Kül   | Kükürt |
| -100.0 + 50.0         | 68.97     | 10.52 | 1.69   | 67.96      | 8.50  | 0.98   | 63.35     | 9.45  | 3.29   |
| -50.0 + 19.0          | 15.32     | 13.30 | 1.36   | 16.88      | 11.90 | 0.84   | 23.60     | 11.90 | 4.92   |
| -15.0 + 10.0          | 3.63      | 15.72 | 1.39   | 4.94       | 19.53 | 0.97   | 3.96      | 19.61 | 3.72   |
| -10.0 + 4.76          | 3.41      | 17.92 | 2.06   | 4.10       | 20.63 | 0.86   | 3.16      | 25.06 | 2.64   |
| -4.76 + 2.00          | 2.98      | 20.05 | 2.38   | 2.42       | 23.43 | 1.08   | 2.21      | 32.31 | 2.39   |
| -2.00 + 1.00          | 2.38      | 22.00 | 2.27   | 1.40       | 29.88 | 0.96   | 1.28      | 38.59 | 2.04   |
| -1.00 + 0.50          | 1.25      | 38.20 | 2.18   | 1.20       | 36.54 | 0.88   | 1.10      | 43.02 | 2.01   |
| -0.5                  | 2.08      | 47.10 | 3.07   | 1.28       | 44.20 | 1.27   | 1.33      | 48.60 | 2.55   |
| TOPLAM                | 100.00    | 13.19 | 1.72   | 100.00     | 11.52 | 0.96   | 100.00    | 12.70 | 3.61   |

Tablo 3.2'den de görüldüğü gibi taneler çoğunlukla iri boyutlarda bulunmaktadır. İri boyutlu kömürlerin kül içerikleri, ince kömürlere nazaran oldukça düşük düzeydedir. Her üç damarda da boyut küçüldükçe boyut aralıklarının kül içerikleri artmaktadır.

Üst damara ait numunede boyut küçüldükçe kükürt içeriği azalırken; diğer damarlarda bu özelliğin olmadığı anlaşılmıştır. Alt damara ait boyut aralıklarında kükürt içerikleri; diğer damarlara göre 3 - 5 kat daha yüksektir.

Kömür damarları üzerinde yapılan analizler sonucunda, bu damarların birbirlerine yakın özellikler gösterdiği belirlenmiş ve damar numunelerinin rezervleri oranlarında araştırılmasına karar verilmiştir. Deneysel çalışmalar oluşturulan harman numunesi üzerinde yürütülmüştür.

Deneylerin yürütüldüğü harman numunesinin %33.3'ünü üst damar, % 53.3'ünü orta, %13.4'ünü da alt damar numunesi oluşturmuştur. Harman numunesinin standart kömür analiz sonuçları Tablo 3.3'de, boyuta göre kül içerikleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo3.3 Harman numunesinin standart kömür analizi sonuçları

| ELEMAN                   | ORİJİNAL<br>KÖMÜR | HAVADAKURU<br>KÖMÜR | KURU<br>KÖMÜR |
|--------------------------|-------------------|---------------------|---------------|
| Rutubet (%)              | 32.50             | 14.18               | -             |
| Kül (%)                  | 8.51              | 10.56               | 12.30         |
| Uçucu Madde (%)          | 31.44             | 35.97               | 46.57         |
| Sabit Karbon (%)         | 27.54             | 35.03               | 40.82         |
| Yanabilir Kükürt (%)     | 0.71              | 0.91                | 1.05          |
| Toplam Kükürt (%)        | 1.27              | 1.61                | 1.88          |
| Üst Isıl Değer (Kcal/kg) | 3663              | 4657                | 5426          |
| Alt Isıl Değer (Kcal/kg) | 3310              | 4413                | 5268          |

Tablo 3.4 Harman numunesinin boyuta göre kül dağılım sonuçları (kuru baza göre)

| Boyut (mm) | Miktar (%) | Kül (%) |
|------------|------------|---------|
| -100 + 50  | 66.67      | 10.85   |
| - 50 + 19  | 19.35      | 12.50   |
| - 19 + 1   | 11.56      | 16.05   |
| - 1        | 2.42       | 43.36   |
| TOPLAM     | 100.00     | 12.56   |

Tablo 3.4'den de görüldüğü gibi, Yeniköy Harman numunesinden boyuta göre sınıflandırma ile iri boyutta (-100 + 50 mm), %10.85 küllü bir ürün elde edilmiştir.

-19 + 1 mm boyut aralığındaki ürünün külü ise %16 düzeylerinde olmuştur.

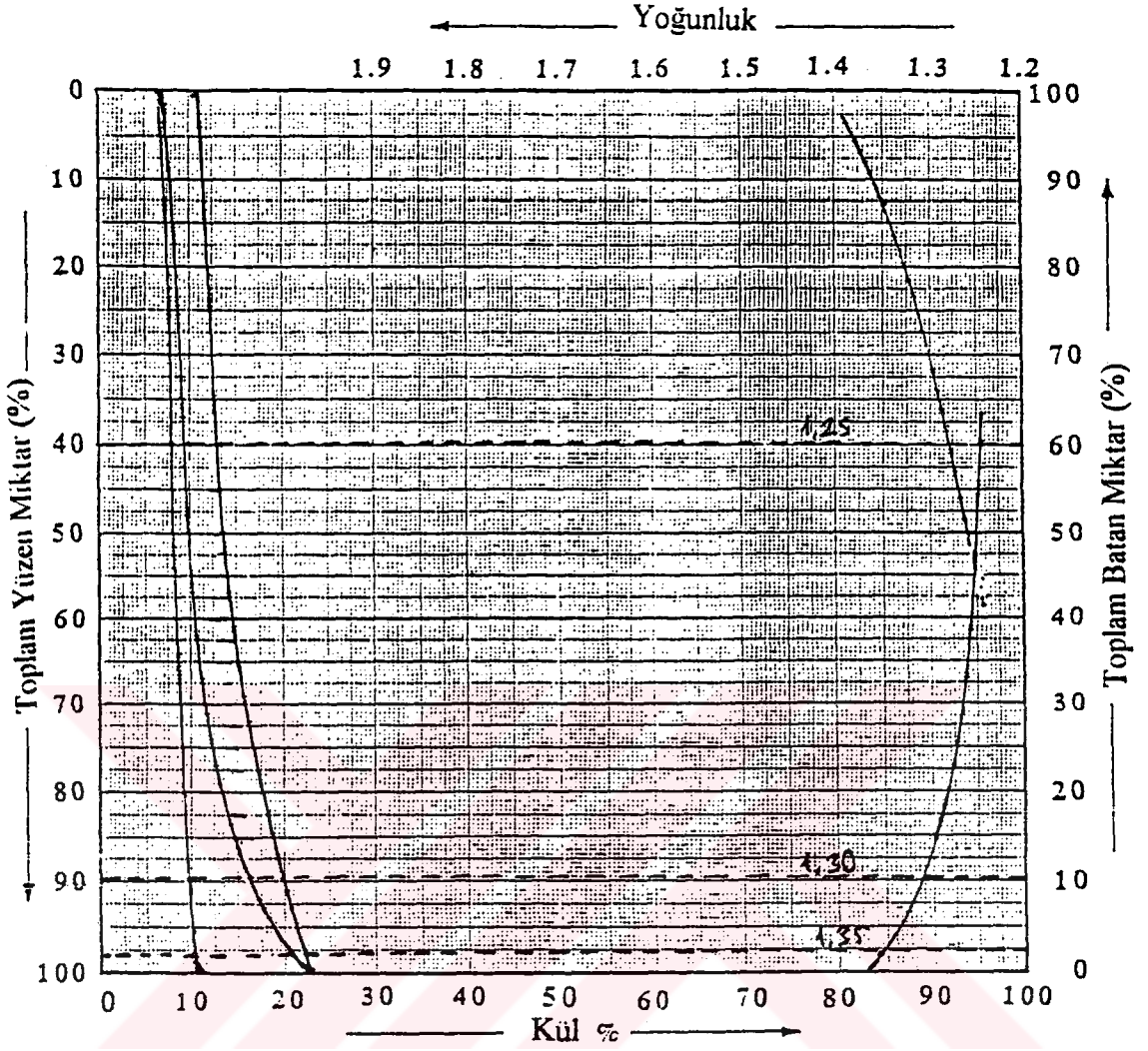
### 3.2.3 Kömürün Yıkanabilme Özellikleri

Harman numunesinin yıkanabilme özelliklerini belirlemek amacıyla yüzdürme -batırma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler, kömür ve şist yoğunlukları arasında seçilen değişik yoğunluklarda (1.25, 1.30, 1.35, 1.40 ve 1.45 gr/cm<sup>3</sup> ) hazırlanmış ağır sıvılar (çinko klorür sıvısı) ile yapılmıştır. Deney öncesinde tuvenan -100 +50 mm, -50 + 19mm, -19 +1 mm boyut gruplarına ayrılmış ve her boyut grubu yüzdürme-batırma deneylerine tabi tutulmuştur. -1 mm boyutundaki ürünün külü yüksek (%45.36), miktarının da az olması (%2.42) nedeniyle uygulama dışında tutulmuştur.

Her boyut grubu kömür, düşük yoğunluktan yükseğe doğru hazırlanan banyolarda ayrı gruplar halinde yüzdürülmüştür. İlk banyoda yüzen kömür ayrılarak, batan kısım bir sonraki banyoya beslenmiştir. Bütün banyolarda yüzen ve son banyoda batan kısım olmak üzere elde edilen ürünler yıkanıp kurutulduktan sonra tartılmış ve her bir ürünün kül içerikleri saptanmıştır.

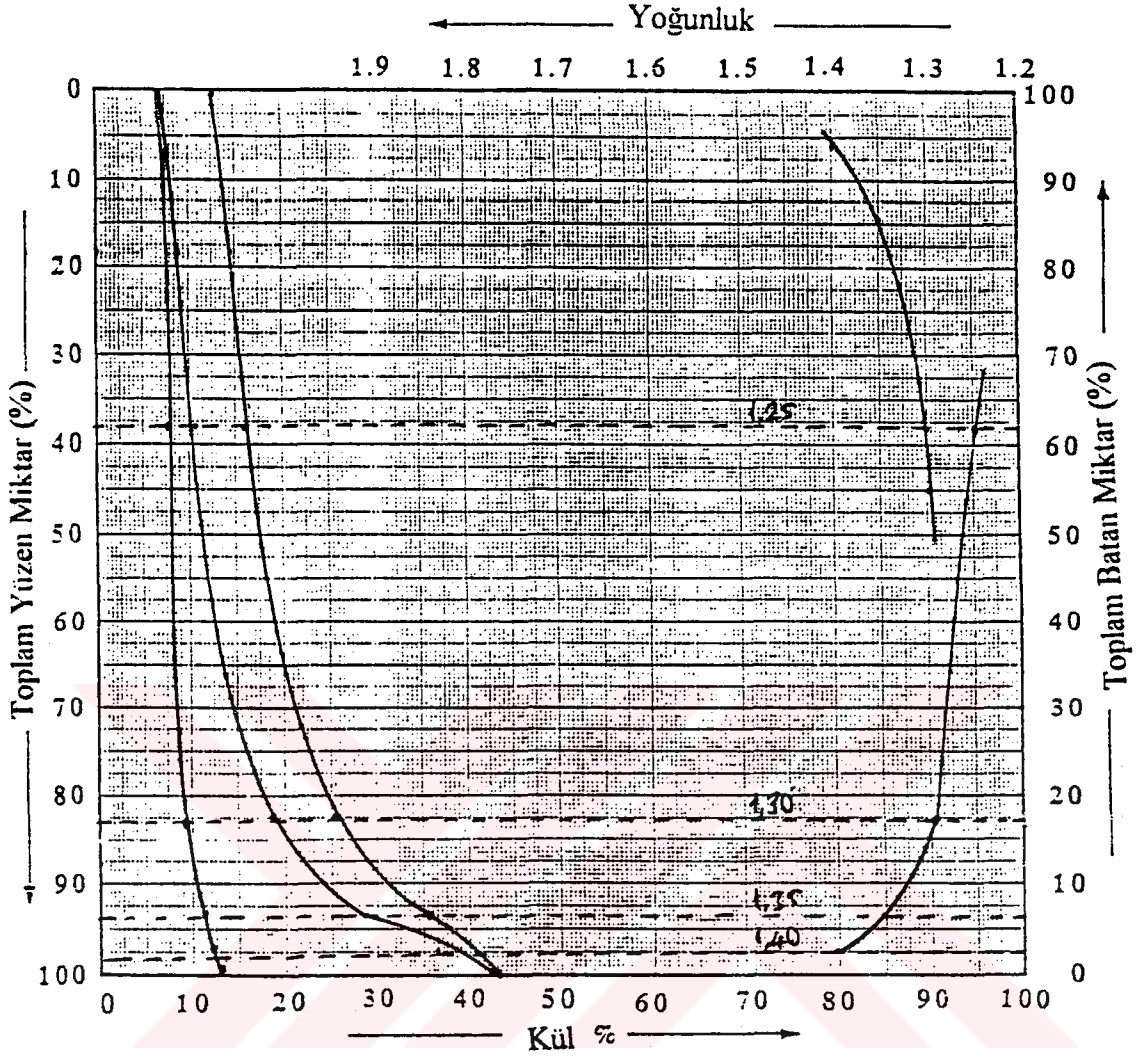
Yüzdürme - batırma deneyleri sonucu elde edilen ürünlerin miktar ve kül içeriklerinden yararlanılarak kömüre ait 5 adet yıkama eğrileri (yüzen, batan, parça kül, yoğunluk ve  $\pm$  yoğunluğundaki malzeme eğrileri) çizilir. Yıkama eğrilerinden yararlanılarak tezmi kömür ve artığın miktarı ve kül içerikleri, hangi yoğunlukta ayırmanın yapılması gerektiği, ayırmanın gücümü yoksa kolayımı olacağı ve en yüksek küllü parçanın kül içerikleri bulunabilir.

Yüzdürme - batırma deneylerinin sonuçları - 100 + 50 mm boyut grubu için Şekil 3.1 'te, - 50 + 19 mm için Şekil 3.2 'de ve - 19 + 1 mm için Şekil 3.3 'da verilmiştir.



| Yoğunluk Aralığı (gr/cm³) | Yoğunluk Aralığındaki Malzeme |       |        | Toplam Yüzen      |         |                        | Toplam Batan      |         |                        |
|---------------------------|-------------------------------|-------|--------|-------------------|---------|------------------------|-------------------|---------|------------------------|
|                           | Miktar %                      | Kül % | MxK    | Miktar %<br>Σ M ↓ | Σ MxK ↓ | Kül %<br>Σ MxK / Σ M ↓ | Miktar %<br>Σ M ↑ | Σ MxK ↑ | Kül %<br>Σ MxK / Σ M ↑ |
| -1.25                     | 40.70                         | 8.08  | 328.9  | 40.70             | 328.9   | 8.08                   | 100.00            | 1085.6  | 10.86                  |
| +1.25 - 1.30              | 49.06                         | 11.41 | 559.8  | 89.76             | 888.7   | 9.90                   | 59.30             | 756.7   | 12.76                  |
| +1.30 - 1.35              | 8.47                          | 18.51 | 156.8  | 98.23             | 1045.5  | 10.64                  | 10.24             | 196.9   | 19.23                  |
| +1.35                     | 1.77                          | 23.19 | 40.1   | 100.00            | 1085.6  | 10.86                  | 1.77              | 40.1    | 22.66                  |
| TOPLAM                    | 100.00                        | 10.86 | 1085.6 |                   |         |                        |                   |         |                        |

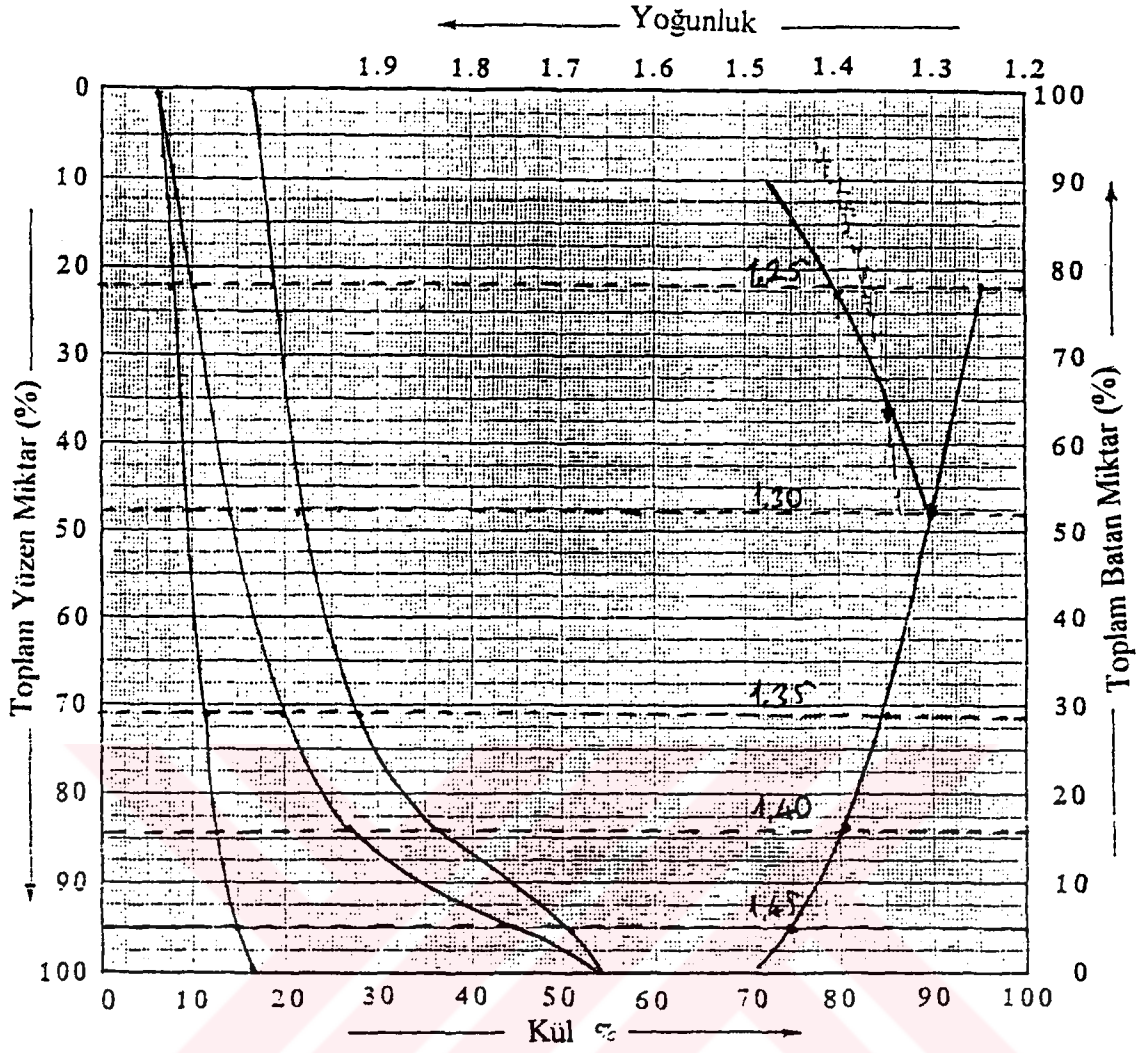
Şekil 3.1 -100 + 50 mm boyut aralığındaki numune ile yapılan yüzdürme - batırma deneylerinin sonuçları



| Yoğunluk Aralığı (gr.cm <sup>3</sup> ) | Yoğunluk Aralığındaki Malzeme |       |        | Toplam Yüzen      |         |                         | Toplam Batan      |         |                         |
|----------------------------------------|-------------------------------|-------|--------|-------------------|---------|-------------------------|-------------------|---------|-------------------------|
|                                        | Miktar %                      | Kül % | MxK    | Miktar %<br>Σ M ↓ | Σ MxK ↓ | Kül %<br>Σ MxK<br>Σ M ↓ | Miktar %<br>Σ M ↑ | Σ MxK ↑ | Kül %<br>Σ MxK<br>Σ M ↑ |
| -1.25                                  | 38.28                         | 7.35  | 281.4  | 38.28             | 281.4   | 7.35                    | 100.00            | 1252.1  | 12.52                   |
| +1.25 -1.30                            | 45.28                         | 11.95 | 540.9  | 83.56             | 822.3   | 9.84                    | 61.72             | 970.7   | 15.73                   |
| +1.30 -1.35                            | 10.23                         | 19.84 | 204.0  | 93.79             | 1026.3  | 10.94                   | 16.44             | 429.8   | 26.14                   |
| +1.35 -1.40                            | 3.42                          | 31.12 | 106.4  | 97.21             | 1132.7  | 11.65                   | 6.21              | 225.8   | 36.36                   |
| +1.40                                  | 2.79                          | 42.68 | 119.4  | 100.00            | 1252.1  | 12.56                   | 2.79              | 119.4   | 42.80                   |
| TOPLAM.                                | 100.00                        | 12.52 | 1252.1 |                   |         |                         |                   |         |                         |

Şekil 3.2 -50 + 19 mm boyut aralığındaki numune ile yapılan yüzdürme - batırma deneylerinin sonuçları





| Yoğunluk Aralığı (gr.cm <sup>3</sup> ) | Yoğunluk Aralığındaki Malzeme |       |        | Toplam Yüzen      |         |                         | Toplam Batan      |         |                         |
|----------------------------------------|-------------------------------|-------|--------|-------------------|---------|-------------------------|-------------------|---------|-------------------------|
|                                        | Miktar %                      | Kül % | MxK    | Miktar %<br>Σ M ↓ | Σ MxK ↓ | Kül %<br>Σ MxK<br>Σ M ↓ | Miktar %<br>Σ M ↑ | Σ MxK ↑ | Kül %<br>Σ MxK<br>Σ M ↑ |
| -1.25                                  | 21.81                         | 7.28  | 158.8  | 21.81             | 158.8   | 7.28                    | 100.00            | 1604.9  | 16.05                   |
| +1.25 - 1.30                           | 26.12                         | 11.70 | 305.6  | 47.93             | 464.4   | 9.69                    | 78.19             | 1446.1  | 18.50                   |
| +1.30 - 1.35                           | 23.46                         | 14.31 | 335.7  | 71.39             | 800.1   | 11.21                   | 52.07             | 1140.5  | 21.90                   |
| +1.35 - 1.40                           | 13.70                         | 19.59 | 268.4  | 85.09             | 1068.5  | 12.59                   | 28.61             | 804.8   | 28.13                   |
| +1.40 - 1.45                           | 9.85                          | 27.24 | 266.4  | 94.94             | 1334.9  | 14.06                   | 14.91             | 536.4   | 35.98                   |
| +1.45                                  | 5.06                          | 53.35 | 270.0  | 100.00            | 1604.9  | 16.05                   | 5.09              | 270.0   | 53.35                   |
| TOPLAM                                 | 100.00                        | 16.05 | 1604.9 |                   |         |                         |                   |         |                         |

Şekil 3.3 -19 + 1 mm boyut aralığındaki numune ile yapılan yüzdürme - batırma deneylerinin sonuçları

Her boyut grubunda elde edilen parça kül eğrilerinin oldukça dik olması, bu kömürün zenginleştirilmesinin güç olacağını göstermektedir. Yüzdürme - batırma deneylerinden kömürün bünye külünün %7 dolayında olduğu anlaşılmıştır.

### 3.3 Zenginleştirme Deneyleri

Düşük sıcaklık koklaştırma deneylerinde mümkün olduğu kadar düşük kül içerikli kömürün kullanılması öngörülmüştür. Tablo 3.3'de verilen - 19 + 1 mm boyut grubu kömürün külünün %16 düzeyinde kül içermesi nedeniyle, bu kömürün külünün zenginleştirme ile düşürülmesine karar verilmiştir. +19 mm'den daha iri kömürün kül içeriğinin %12 dolayında olması nedeniyle ve yapılan ön zenginleştirme deneylerinde külünün yeterli düzeyde düşürülemeyeceğinin anlaşılması üzerine, tüvenan kömürün +19 mm boyut grubu doğrudan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde kullanılmıştır.

19 + 1 mm boyutundaki kömür, -19 + 10 mm, - 10 + 6 mm, - 6 + 3.36 mm ve - 3.36 + 1 mm boyut aralıklarına ayrıldıktan sonra 3.36 mm boyuta kadar olan boyut aralıklarına jig ile zenginleştirme, - 3.36 + 1 mm boyut aralığına sarsıntılı masa ile zenginleştirme uygulanmıştır. Jig deneylerinde üç kompartımanlı pistonlu tip jig, sarsıntılı masa deneylerinde ise laboratuvar tipi, wilfley sarsıntılı masası kullanılmıştır.

Yapılan zenginleştirme deneylerinden elde edilen hesaben birleştirilmiş sonuçlar Tablo 3.5'de görülmektedir.

İlgili tablodan da görüleceği gibi, Yeniköy harman numunesinin -19+1mm boyutlu kömürden, girene göre, miktarca %75.78 oranında, %11.49 kül içerikli bir temiz ürün, %79.7 yanabilir verim ile elde edilmiştir.

Tablo 3.5 Boyutu - 19 + 1 mm arasında olan numune ile yapılan gravite zenginleştirme deneylerinin sonuçları.

| Boyut Aralığı (mm) | Zenginleştirme Yöntemi      | Ürünler     | Miktar (%)  |             | Kül % | Yanabilir Verim (%) |             |
|--------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------|---------------------|-------------|
|                    |                             |             | Deneye Göre | Girene Göre |       | Deneye Göre         | Girene Göre |
| -19 + 10           | Jig                         | Temiz Kömür | 82.16       | 30.18       | 11.70 | 85.1                | 31.8        |
|                    |                             | Araürün     | 11.01       | 4.04        | 21.89 | 10.1                | 3.8         |
|                    |                             | Artık       | 6.83        | 2.51        | 39.81 | 4.8                 | 1.8         |
|                    |                             | Toplam      | 100.00      | 36.73       | 14.27 | 100.0               | 37.4        |
| - 10 + 6           | Jig                         | Temiz Kömür | 75.51       | 17.78       | 11.52 | 79.2                | 18.6        |
|                    |                             | Araürün     | 15.80       | 3.72        | 21.89 | 14.6                | 3.4         |
|                    |                             | Artık       | 8.69        | 2.04        | 39.80 | 6.2                 | 1.5         |
|                    |                             | Toplam      | 100.00      | 23.54       | 16.05 | 100.0               | 23.5        |
| -6 + 3.36          | Jig                         | Temiz Kömür | 61.94       | 8.16        | 11.09 | 65.6                | 8.6         |
|                    |                             | Araürün     | 27.62       | 3.64        | 21.44 | 25.9                | 3.4         |
|                    |                             | Artık       | 10.44       | 1.38        | 31.61 | 8.5                 | 1.1         |
|                    |                             | Toplam      | 100.0       | 13.18       | 16.09 | 100.0               | 13.1        |
| -3.36 + 1          | Sarsıntılı Masa             | Temiz Kömür | 74.06       | 19.66       | 11.32 | 79.7                | 20.7        |
|                    |                             | Araürün     | 20.00       | 5.31        | 28.40 | 14.4                | 4.5         |
|                    |                             | Artık       | 5.94        | 1.58        | 59.60 | 2.9                 | 0.8         |
|                    |                             | Toplam      | 100.00      | 26.55       | 17.61 | 100.0               | 26.0        |
| Hesaben Sonuçlar   | Birleştirilmiş (-19 + 1 mm) | Temiz Kömür |             | 75.78       | 11.49 |                     | 79.7        |
|                    |                             | Araürün     |             | 16.71       | 23.86 |                     | 15.1        |
|                    |                             | Artık       |             | 7.51        | 42.46 |                     | 5.2         |
|                    |                             | Toplam      |             | 100.00      | 15.88 |                     | 100.0       |

### 3.4 Düşük Sıcaklık Koklaştırması Deneyleri

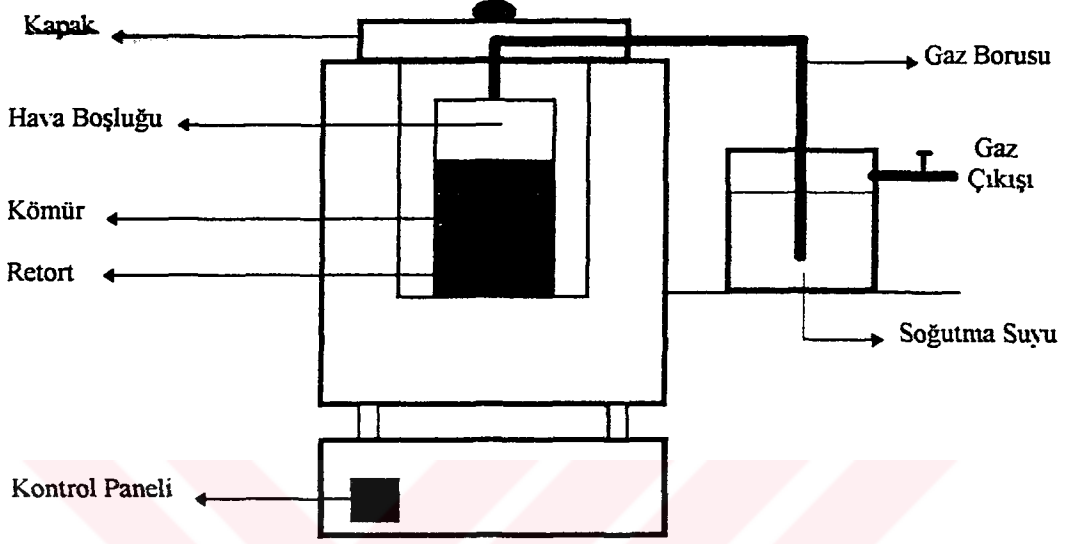
Çoğunlukla, 700 °C'nin altında uygulanan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde, kömürdeki rutubet ile uçucu maddenin içerisinde bulunan katranımsı maddelerin tamamının uzaklaştırılması amaç edinilmiştir. Bu bölümde, deneylerin yapıış şekli açıklanmış, kullanılan teçizatlar tanıtılmış ve parça boyutu, sıcaklık ve sürenin koklaştırmaya etkisi araştırılmıştır.

#### 3.4.1 Düşük Sıcaklık Koklaştırması Deneylerinde Kullanılan Teçizat

Düşük sıcaklık koklaştırmada kullanılan sistem iki bölümden oluşmaktadır. Birincisini retortu kapsayan fırın, ikincisini de uçucu madde soğutma sistemi



oluşturmaktadır. Koklaştırmada kullanılan retort çelikten yapılmış silindirik bir kap olup, 10 cm çapında  $1500 \text{ cm}^3$  iç hacmindedir. Bu parça doğrudan uçucu madde soğutma sistemine bağlıdır. Deneylerde kullanılan sistemin şematik gösterimi şekil 3.4’de verilmiştir.

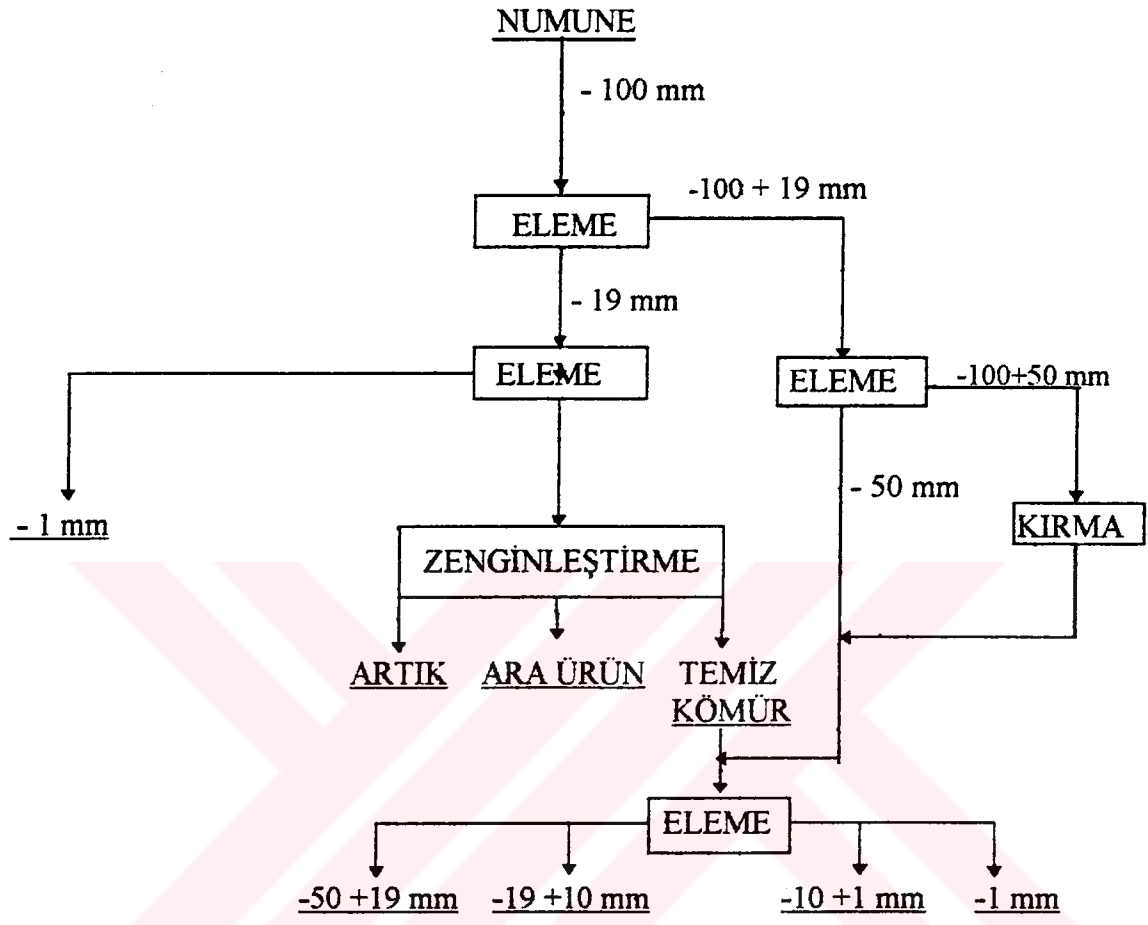


Şekil 3.4 Düşük sıcaklık koklaştırmada kullanılan fırının şematik görünümü

Yukarıda boyutları verilen fırının ortalama ısıtma hızı  $10 \text{ }^{\circ}\text{C/dak.}$  olup, saatte 3 kwh elektrik enerjisi tüketmektedir. Fırın, öngörülen ısıya geldikten sonra aralıklarla çalışmakta ve ısıyı istenilen seviyelerde tutmaktadır.

#### 3.4.2 Düşük Sıcaklık Koklaşması Deneylerinde Kullanılan Numune

Koklaşmada deneylerinde kullanılan numune, tuvenanın  $-100 + 19 \text{ mm}$  boyut grubuna,  $-19 + 1 \text{ mm}$  boyut grubu kömürün gravite yöntemi ile zenginleştirilmesi sonucu elde edilen temiz kömürün ilave edilmesi ile oluşturulmuştur. Düşük sıcaklık koklaşırma deneylerinin yapılacağı retortun iç hacmi dikkate alınarak kömürün boyutu - 50 mm altına indirilmiş ve Şekil 3.5’de verildiği gibi boyut gruplarına ayrılmıştır.



**Şekil 3.5 Düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde kullanılan numunenin oluşturulmasında izlenen yol.**

Koklaşmada boyutun etkisini belirlemek amacı ile yukarıda belirtildiği gibi kömür; -50 + 19 mm, -19 + 10 mm, -10 + 1mm boyut gruplarına ayrılmıştır. Deneylerde kullanılan numunenin boyut gruplarına göre standart kömür analizi sonuçları Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tuvenandan elde edilen -1 mm kömür ile düşük sıcaklık koklaşması deneyleri için 50 mm'nin altına kırılan kömürden elde edilen -1mm boyutundaki kömürün

miktarının çok az olması ( toplam %3 ) ve küllerinin de yüksek olması nedeni ile bu ürünler koklaştırma deneylerinde kullanılmamıştır.

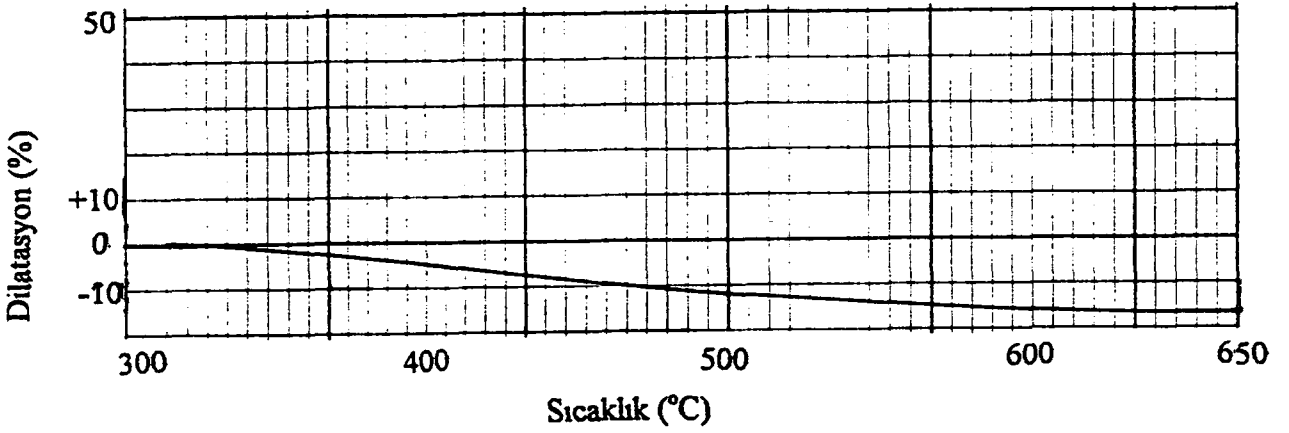
Tablo 3.6 Düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde kullanılan numunenin boyuta göre analiz sonuçları (havada kuru baza göre )

| Boyut Boyut (mm) | Miktar (%) | Rutuber (%) | Kül (%) | Uçucu Madde (%) | Sabit Karbon (%) | Yanabilir Kükürt (%) | Toplam Kükürt (%) | Üst Isıl Değer (Kcal/kg) | Alt Isıl Değer (Kcal/kg) | Tutuşma Sıcaklığı (C°) |
|------------------|------------|-------------|---------|-----------------|------------------|----------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| - 50 + 19        | 69.5       | 14.00       | 8.86    | 41.13           | 36.02            | 0.84                 | 1.55              | 4814                     | 4678                     | 270                    |
| - 19 + 10        | 16.4       | 14.44       | 9.99    | 39.76           | 35.81            | 0.94                 | 1.57              | 4680                     | 4545                     | 250                    |
| - 10 + 1         | 14.1       | 14.74       | 11.05   | 38.88           | 35.33            | 0.99                 | 1.79              | 4498                     | 4359                     | 240                    |
| TOPLAM           | 100.0      | 14.18       | 9.35    | 40.59           | 35.89            | 0.88                 | 1.59              | 4748                     | 4611                     | 263                    |

Düşük sıcaklık koklaştırması deneylerine ışık tutacak olan kömürün dilatasyon özelliklerini belirlemek amacı ile Ruhr tipi dilatometrede dilatasyon tesleri yapılmıştır. Bu teslerde ince öğütülmüş harman numunesi kullanılmıştır. Bu numuneden alınan 2 gr kömür hafifçe ıslatılarak, özel bir preste biriktelenmiştir. Biriketin çapı 6.5 mm, boyu ise 60 mm'dir. Hazırlanan numune alt ucu kapalı metal bir boru içerisine yerleştirilmiştir. Örneğin üzerine yazıcı bir kol bulunan piston konmuş ve pistonun aşağı yukarı hareketi, belirli bir hızla dönen grafik kağıd üzerine konuşlandırılmıştır.

Harman numunesi üzerinde gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen sonuç Şekil 3.6'da verilmiştir.

Şekilde görülen eğri, 3 °C/dak. ısıtma hızında ve kömürün 300 - 650 °C'ler arasında ısıtılması ile elde edilmiştir. Şekilden izleneceği üzere, bu kömürün dilatasyon özelliğinin olmadığı; büzülme özelliğinin olduğu görülmektedir. Büzülmenin en çok görüldüğü sıcaklık aralığı 350 - 550 °C'lerdir. Kömür ısı etkisiyle yaklaşık %16 oranında büzülmeaktadır.



Şekil 3.6 Harman numunesinin dilatasyon eğrisi

### 3.4.3 Düşük Sıcaklık Koklaştırma Deneylerinin Yapılış Şekli ve Yöntemi

Deneyler yüzey rutubeti alınmış 500 gr ağırlığındaki kömür numuneleri ile yapılmıştır. Koklaştırma fırını öngörülen sıcaklığa kadar ısıtılmış ve numune içeren retort fırına yerleştirilmiştir. Öngörülen koklaşma sıcaklığında, denge sağlandıktan sonra belirlenen süre kadar numuneler fırında tutulmuştur. Koklaşma süresi bittikten sonra, retort fırın dışına alınmış ve soğutulmuştur. Daha sonraki aşamalarda, elde edilen semikok ürünlerin özellikleri tesbit edilmiştir.

Deneylerde daha önce belirtildiği gibi parça boyutu (  $-500 \pm 19$  mm,  $-19 \pm 10$  mm,  $-10 \pm 1$  mm ) sıcaklık ve sürenin koklaşmaya etkisi araştırılmıştır. Koklaştırmada sıcaklık  $400^{\circ}\text{C}$ ,  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$ ,  $700^{\circ}\text{C}$  ve her sıcaklıkta koklaşma süresi 20 dak., 40 dak., 60 dak., 80 dak., 100 dak. ve 120 dak. alınarak, koklaştırma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

### 3.4.4 Düşük Sıcaklık Koklaştırma Deneylerinin Sonuçları

$50 \pm 19$ mm,  $-19 \pm 10$  mm ve  $-10 \pm 1$ mm boyut aralıklarındaki kömüre farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan koklaşma deneylerinden elde edilen sonuçlar,  $-50 \pm 19$ mm boyut grubu için Tablo 3.7’de;  $-19 \pm 10$  mm için Tablo 3.8’de ve  $-10 \pm 1$  mm için Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.7 -50 + 19 mm boyut gurubundaki kömür üzerinde yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinin sonuçları

| Sıcaklık (°C) | Süre (dak) | Ağırlık Kaybı (%) | Kül (%) | Uçucu Madde (%) | Sabit Karbon (%) | Uzaklaştırılan Toplam Kükürt (%) | Üst Isıl Değer (Kcal/kg) | + 19 mm (%) |
|---------------|------------|-------------------|---------|-----------------|------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------|
| Başlangıç     | 0          | -                 | 8.86    | 41.13           | 36.02            | 0                                | 4814                     | 100.0       |
| 400           | 20         | 8.2               | 9.70    | 44.80           | 39.45            | 0                                | 5273                     | 87.0        |
|               | 40         | 14.5              | 10.37   | 47.29           | 42.10            | 12.8                             | 5636                     | 84.3        |
|               | 60         | 24.6              | 11.43   | 38.49           | 48.14            | 21.6                             | 5828                     | 78.3        |
|               | 80         | 28.7              | 12.14   | 33.15           | 52.59            | 27.7                             | 5882                     | 71.9        |
|               | 100        | 32.6              | 12.67   | 29.62           | 55.48            | 34.3                             | 5961                     | 66.8        |
|               | 120        | 35.0              | 13.07   | 27.82           | 56.81            | 39.5                             | 5999                     | 62.3        |
| 500           | 20         | 16.4              | 10.38   | 47.62           | 40.59            | 4.4                              | 5684                     | 72.9        |
|               | 40         | 24.8              | 11.26   | 39.82           | 47.03            | 24.2                             | 5877                     | 67.8        |
|               | 60         | 32.8              | 12.76   | 29.02           | 55.97            | 38.4                             | 5994                     | 66.2        |
|               | 80         | 35.3              | 13.17   | 26.49           | 58.00            | 43.2                             | 6004                     | 63.5        |
|               | 100        | 39.0              | 13.75   | 23.17           | 60.64            | 48.4                             | 6090                     | 58.4        |
|               | 120        | 42.6              | 14.12   | 21.22           | 62.12            | 52.2                             | 6103                     | 56.8        |
| 600           | 20         | 30.2              | 12.42   | 31.62           | 53.79            | 23.4                             | 5890                     | 68.8        |
|               | 40         | 36.0              | 13.75   | 23.15           | 60.66            | 36.0                             | 5996                     | 63.1        |
|               | 60         | 47.6              | 14.66   | 18.49           | 64.26            | 54.0                             | 6252                     | 59.8        |
|               | 80         | 48.7              | 15.39   | 15.15           | 66.77            | 57.2                             | 6362                     | 54.3        |
|               | 100        | 49.1              | 15.91   | 12.92           | 68.42            | 59.2                             | 6471                     | 51.1        |
|               | 120        | 50.4              | 16.29   | 11.42           | 69.49            | 61.4                             | 6595                     | 50.3        |
| 700           | 20         | 43.0              | 14.59   | 18.82           | 64.01            | 48.2                             | 6286                     | 64.3        |
|               | 40         | 48.7              | 15.86   | 13.15           | 68.24            | 57.6                             | 6313                     | 60.4        |
|               | 60         | 53.4              | 16.19   | 11.82           | 69.20            | 62.3                             | 6484                     | 56.2        |
|               | 80         | 53.8              | 16.31   | 11.02           | 69.86            | 64.7                             | 6544                     | 50.7        |
|               | 100        | 54.0              | 16.47   | 10.72           | 69.99            | 66.9                             | 6584                     | 46.7        |
|               | 120        | 54.2              | 16.76   | 9.62            | 70.77            | 69.4                             | 6623                     | 43.2        |

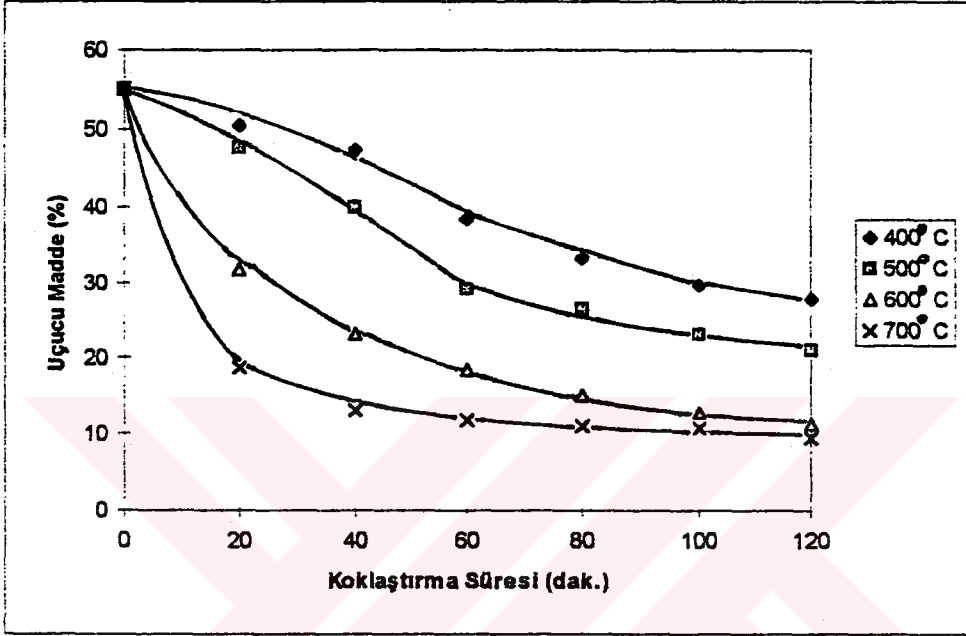
**Tablo 3.8 -19 + 10 mm boyut gurubundaki kömür üzerinde yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinin sonuçları**

| Sıcaklık (°C) | Süre (dak) | Ağırlık Kaybı (%) | Kül (%) | Uçucu Madde (%) | Sabit Karbon (%) | Uzaklaştırılan Toplam Kükürt (%) | Üst Isıl Değer (Kcal/kg) | + 10 mm (%) |
|---------------|------------|-------------------|---------|-----------------|------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------|
| Başlangıç     | 0          | -                 | 9.99    | 39.76           | 35.81            | 0                                | 4680                     | 100.0       |
| 400           | 20         | 6.6               | 10.76   | 42.47           | 38.57            | 0                                | 5045                     | 90.8        |
|               | 40         | 15.4              | 12.29   | 41.51           | 44.38            | 1.7                              | 5592                     | 87.6        |
|               | 60         | 23.2              | 12.80   | 37.71           | 47.54            | 14.1                             | 5683                     | 81.1        |
|               | 80         | 27.2              | 13.39   | 33.71           | 50.82            | 24.2                             | 5728                     | 75.6        |
|               | 100        | 28.4              | 13.58   | 32.51           | 51.79            | 31.3                             | 5768                     | 73.4        |
|               | 120        | 28.8              | 13.54   | 32.11           | 52.11            | 35.8                             | 5860                     | 72.3        |
| 500           | 20         | 16.0              | 11.99   | 43.92           | 42.35            | 2.4                              | 5481                     | 84.1        |
|               | 40         | 23.4              | 13.28   | 34.41           | 50.25            | 18.4                             | 5680                     | 80.2        |
|               | 60         | 32.4              | 14.29   | 28.81           | 54.75            | 34.3                             | 5799                     | 76.1        |
|               | 80         | 36.6              | 15.40   | 22.31           | 59.84            | 44.4                             | 5894                     | 73.4        |
|               | 100        | 40.2              | 15.76   | 20.62           | 61.11            | 50.2                             | 5972                     | 70.1        |
|               | 120        | 41.6              | 16.03   | 19.31           | 61.15            | 52.58                            | 6008                     | 69.9        |
| 600           | 20         | 30.6              | 13.93   | 30.31           | 53.56            | 23.3                             | 5864                     | 78.2        |
|               | 40         | 38.8              | 15.65   | 21.11           | 60.75            | 38.2                             | 6025                     | 75.0        |
|               | 60         | 44.4              | 16.68   | 16.51           | 64.18            | 48.8                             | 6242                     | 71.4        |
|               | 80         | 46.8              | 17.27   | 14.11           | 65.92            | 53.0                             | 6360                     | 67.3        |
|               | 100        | 47.0              | 17.35   | 13.81           | 66.13            | 56.9                             | 6408                     | 65.4        |
|               | 120        | 47.2              | 17.37   | 13.71           | 66.20            | 59.4                             | 6501                     | 64.2        |
| 700           | 20         | 40.4              | 15.78   | 20.51           | 61.20            | 39.4                             | 6130                     | 72.9        |
|               | 40         | 47.2              | 17.37   | 13.71           | 66.20            | 49.7                             | 6250                     | 68.3        |
|               | 60         | 51.0              | 18.41   | 9.91            | 68.86            | 55.8                             | 6477                     | 65.2        |
|               | 80         | 51.2              | 18.45   | 9.71            | 69.01            | 59.4                             | 6498                     | 64.0        |
|               | 100        | 51.3              | 18.49   | 9.51            | 69.07            | 63.5                             | 6540                     | 63.3        |
|               | 120        | 51.4              | 18.65   | 9.51            | 69.12            | 69.1                             | 6568                     | 62.8        |

**Tablo 3.9 -10 + 1 mm boyut gurubundaki kömür üzerinde yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinin sonuçları**

| Sıcaklık (°C) | Süre (dak) | Ağırlık Kaybı (%) | Kül (%) | Uçucu Madde (%) | Sabit Karbon (%) | Uzaklaştırılan Toplam Kükürt (%) | Üst Isıl Değer (Kcal/kg) | + 1 mm (%) |
|---------------|------------|-------------------|---------|-----------------|------------------|----------------------------------|--------------------------|------------|
| Başlangıç     | 0          | -                 | 11.05   | 38.88           | 35.33            | 0                                | 4493                     | 100.0      |
| 400           | 20         | 6.4               | 11.88   | 41.54           | 37.99            | 0                                | 4830                     | 98.1       |
|               | 40         | 14.0              | 12.86   | 45.21           | 41.13            | 0                                | 5231                     | 97.2       |
|               | 60         | 18.2              | 13.42   | 42.14           | 42.65            | 4.1                              | 5462                     | 95.9       |
|               | 80         | 21.2              | 13.86   | 39.14           | 45.11            | 10.7                             | 5597                     | 95.7       |
|               | 100        | 24.0              | 14.44   | 35.34           | 48.20            | 16.0                             | 5701                     | 95.6       |
|               | 120        | 27.2              | 14.81   | 33.14           | 49.96            | 23.2                             | 5790                     | 95.3       |
| 500           | 20         | 17.8              | 13.37   | 42.54           | 42.32            | 0.4                              | 5402                     | 96.5       |
|               | 40         | 26.0              | 14.67   | 33.94           | 49.32            | 14.5                             | 5581                     | 95.7       |
|               | 60         | 32.2              | 15.70   | 28.14           | 53.90            | 27.3                             | 5672                     | 95.4       |
|               | 80         | 34.6              | 16.17   | 25.74           | 55.75            | 31.0                             | 5756                     | 94.8       |
|               | 100        | 36.0              | 16.89   | 22.34           | 58.33            | 35.7                             | 5801                     | 94.2       |
|               | 120        | 39.8              | 17.29   | 20.54           | 59.67            | 40.5                             | 5871                     | 93.9       |
| 600           | 20         | 22.6              | 14.07   | 37.74           | 46.25            | 8.8                              | 5486                     | 95.3       |
|               | 40         | 33.1              | 15.87   | 27.27           | 54.57            | 26.0                             | 5771                     | 95.0       |
|               | 60         | 40.4              | 17.43   | 19.94           | 60.11            | 38.4                             | 5894                     | 94.2       |
|               | 80         | 45.5              | 18.71   | 14.87           | 63.75            | 49.8                             | 6009                     | 93.6       |
|               | 100        | 46.0              | 18.94   | 14.04           | 64.33            | 54.2                             | 6181                     | 93.2       |
|               | 120        | 46.8              | 19.08   | 13.54           | 64.67            | 56.6                             | 6225                     | 93.0       |
| 700           | 20         | 36.0              | 16.46   | 24.34           | 56.82            | 26.4                             | 5859                     | 94.5       |
|               | 40         | 41.2              | 17.62   | 19.14           | 60.70            | 36.3                             | 5991                     | 93.4       |
|               | 60         | 45.0              | 18.58   | 15.34           | 63.42            | 44.7                             | 6247                     | 93.1       |
|               | 80         | 48.4              | 18.96   | 13.94           | 64.40            | 54.5                             | 6397                     | 92.7       |
|               | 100        | 49.5              | 19.50   | 12.05           | 65.70            | 60.2                             | 6404                     | 92.2       |
|               | 120        | 50.4              | 19.98   | 10.24           | 66.97            | 62.6                             | 6420                     | 92.0       |

**Düşük Sıcaklık Koklaştırmasında Uçucu Maddenin Davranışı:** Her boyut grubu için düşük sıcaklık koklarındaki (semikok) uçucu madde içeriğinin koklaştırma süresine bağlı olarak değişimi sırası ile Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9'da verilmiştir. Şekiller kömürdeki nem ve uçucu maddenin toplamı dikkate alınarak çizilmiştir

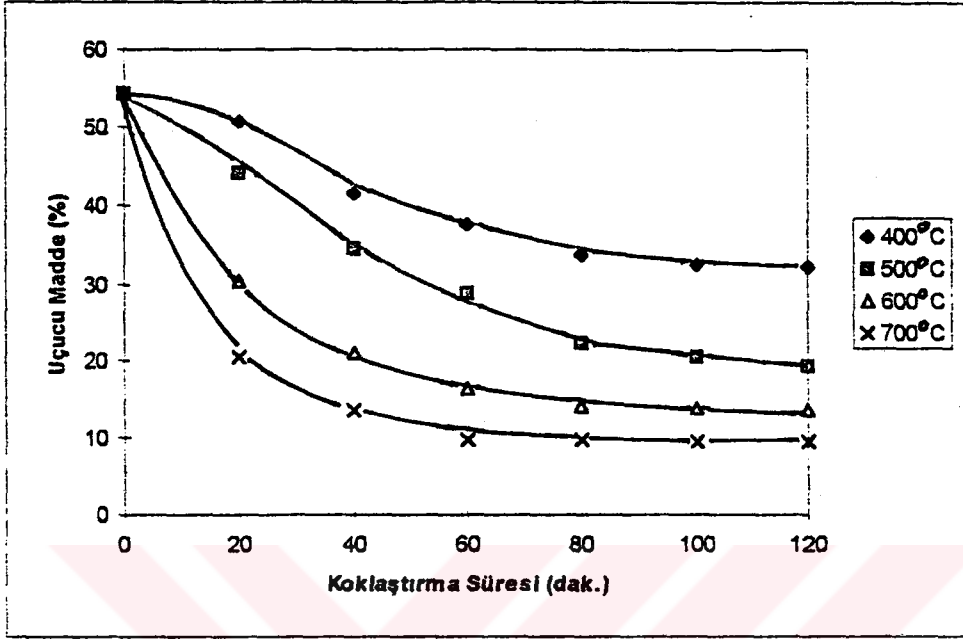


Şekil 3.7 -50 + 19 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde uçucu madde içeriğinin koklaştırma süresine bağlı olarak değişimi

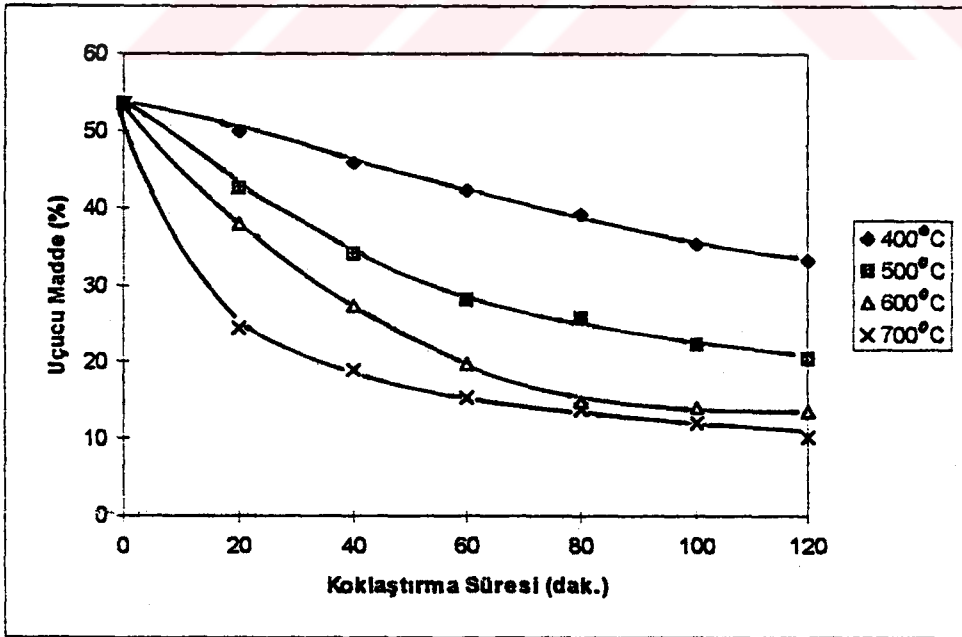
Şekillerden de görüldüğü gibi, kömürden uçucu maddenin uzaklaştırılması artan koklaştırma sıcaklığına ve süresine bağlı olarak artmaktadır. 400 °C ve 35 - 40 dak. sürede uçucu madde kömürden ancak ayrılmaya başlarken; 700 °C'de bu değer 7 - 8 dakikaya kadar inmektedir. Yüksek koklaştırma sıcaklıklarında (600 - 700 °C), uçucu maddenin kömürden daha kısa sürede uzaklaşması, koklaşma aşamasında uçucu maddenin kömürden ayrılma kinetiğinin büyük oranda koklaşma sıcaklığına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. 400 °C, 120 dak. sürede ulaşılan uçucu madde içeriğine, 700 °C sıcaklıkta 15 dak. dolaylarında ulaşılabilmiştir. Örneğin, - 50 + 19 mm boyut grubundaki kömürün 400 °C, 120 dak. süreyle koklaştırma sonucu elde edilen



ürünün uçucu madde içeriği %27.82 iken, aynı numune için aynı koklaştırma süresinde ve 700 °C'de bu değer %9.62'ye inmiştir.



Şekil 3.8 -19 + 10 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde uçucu madde içeriğinin koklaştırma süresine bağlı olarak değişimi



Şekil 3.9 -10 + 1 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde uçucu madde içeriğinin koklaştırma süresine bağlı olarak değişimi

Koklaşma sırasında kömürdeki uçucu kısmın (uçucu madde + bünye rutubeti) azalması; 400 °C gibi düşük sıcaklıkta lineere yakın bir eğilim gösterirken; 700 °C gibi yüksek sıcaklıkta üç farklı davranışta bulunmaktadır. 20 - 25 dakikaya kadar uçucu kısım kömürden çok hızlı bir şekilde uzaklaşırken (dik bir eğim); 25 - 60 dak. arasında uçucu maddenin uzaklaşma hızı büyük oranda düşmekte ve bu safha sonunda koklaşma olayı da hemen hemen tamamlanmaktadır. 60 dak. süreden sonra ise kömürden uçucu maddenin uzaklaşması yavaşlamaktadır (yataya yakın eğim). 500 - 600 °C sıcaklıklarda ise uçucu maddenin kömürden uzaklaşması iki farklı eğimde bulunmaktadır.

Üç boyut grubu için uçucu kısmın kömürden uzaklaşma eğilimin hemen hemen aynı olduğu deneylerden anlaşılmıştır.

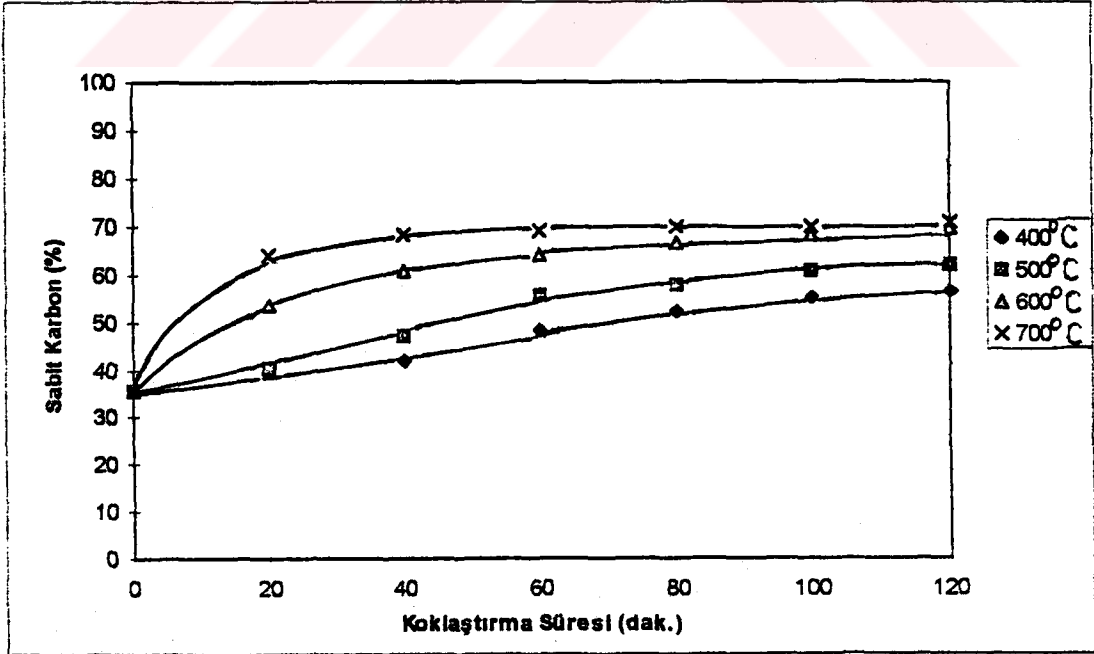
Genel olarak, kömürdeki uçucu madde ve katranın giderimi açısından 400 °C ve 500 °C sıcaklıklar yeterli olmamaktadır. İstanbul bölgesi kömürlerinin sabit yataкта koklaştırılması için sıcaklığın 600 - 700 °C arasında tutulmasının gerektiği anlaşılmıştır.

**Koklaştırma Sıcaklığının Koklaşmaya Etkisi:** Sıcaklığın kömüre olan etkisini belirlemek amacı ile farklı sıcaklıklarda yapılan deneyler sonucunda, diğer parametreler de dikkate alındığında, koklaşmada en büyük etkenin sıcaklık olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda, kömürden ısı etkisi ile ani bir kütle kaybı meydana gelmektedir. Bunun sonucu, kömür kısa sürede semikoka dönüşmekte, bu sırada kömürün kükürt ve katran içerikleri de istenilen seviyelere gelmektedir. Kömür, yüksek sıcaklıkta uzun süre bekletildiği takdirde, semikokun uçucu madde içeriği %10'un altına inmektedir. Bu durum, koklaşma sonucu, kömürün yakılması sırasında sorun yaratmayan gaz ürünlerin uzaklaşmasına neden olmaktadır.

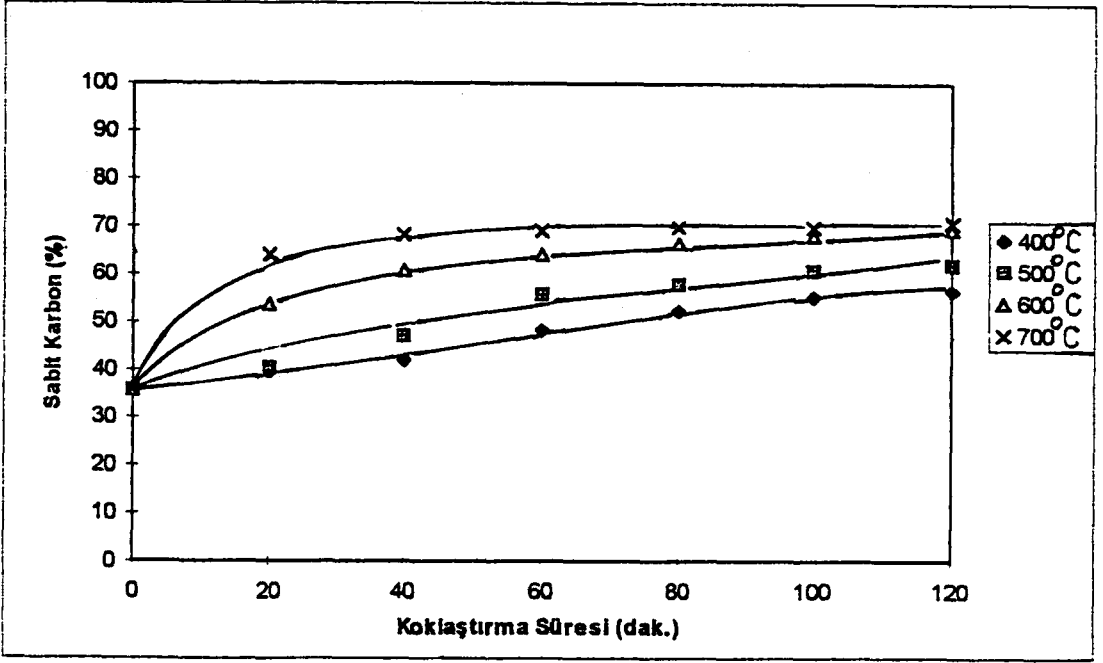
**Sürenin Koklaştırmaya Etkisi:** Kömürde, uçucu madde içerisinde gaz ile birlikte katranımsı sıvı maddelerde bulunmaktadır. Isı etkisi ile bu iki ürün kömürden ayrılmaya başlamaktadır. Kömürde bulunan sıvı maddeler 600 °C civarında

kömürden tamamen ayrılırken, gaz çıkışları 900- 1000 °C'ye kadar devam etmektedir. Yapılan deneylerde, genellikle kömürde %15 uçucu madde kalıncaya kadar kömürden katran çıkışının devam ettiği gözlenmiştir. Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9'da görüldüğü gibi kömürde 700 °C'de %15 uçucu madde içeriğine, -50 + 19 mm boyut grubu için yaklaşık 30 dak. sürede, -19 + 10 mm için 35 dak., -10 + 1 mm için ise 75 dakikada ulaşılabilir. 400 °C, hatta 500 °C dolaylarında kömürde %15 uçucu madde içeriğine inmenin oldukça güç olacağı anlaşılmıştır.

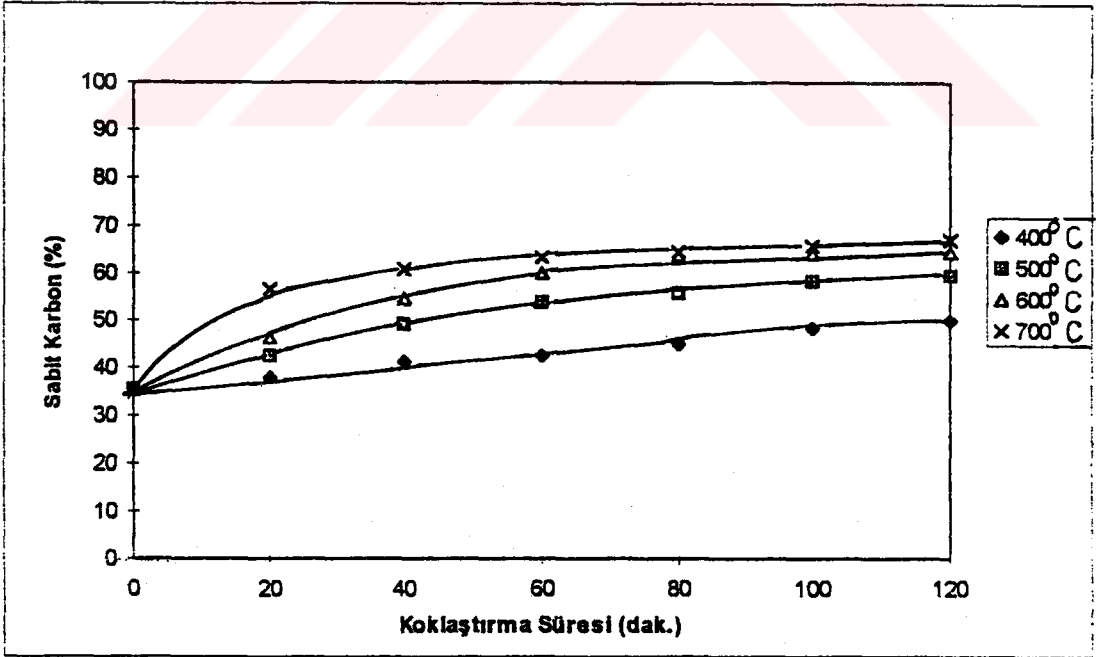
**Düşük Sıcaklık Koklaştırmada Sabit Karbonun Davranışı:** Üç ayrı boyut grubu için yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde, süreye bağlı olarak sabit karbon değişimleri Şekil 3.10, 3.11 ve 3.12'de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, kömürdeki uçucu kısım uzaklaştıkça kömürün sabit karbon içeriği de artmaktadır. Bu artış, düşük sıcaklıklarda daha az düzeylerde iken, yüksek sıcaklıklarda oldukça fazla olmuştur. 700 °C, 20 dak. sürede elde edilen kokun sabit karbon içeriğine 400 °C, 120 dak. bile ulaşılmıştır. Örneğin, - 50 + 19 mm boyut grubu havada kuru kömürün sabit karbon içeriği %36,02 iken 700 °C, 120 dak sürede bu değer % 70.77'ye ulaşılmıştır.



Şekil 3.10 -50 + 19 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırma deneylerinde sabit karbon değişiminin süreye bağlı olarak değişimi



Şekil 3.11 -19+ 10 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırma deneylerinde sabit karbon değişiminin süreye bağlı olarak değişimi

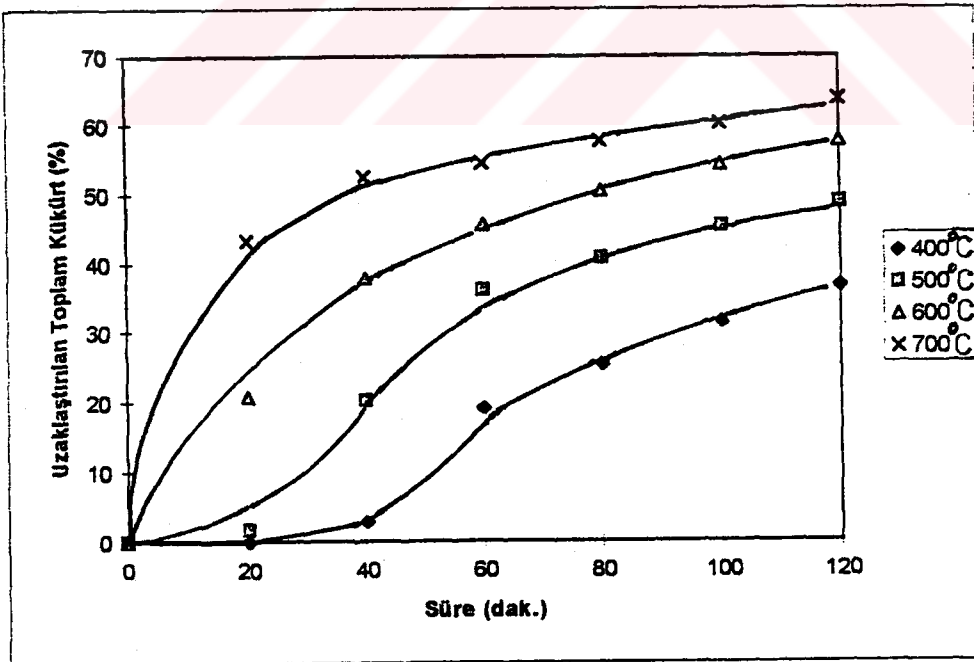


Şekil 3.12 -10 + 1 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırma deneylerinde sabit karbon değişiminin süreye bağlı olarak değişimi

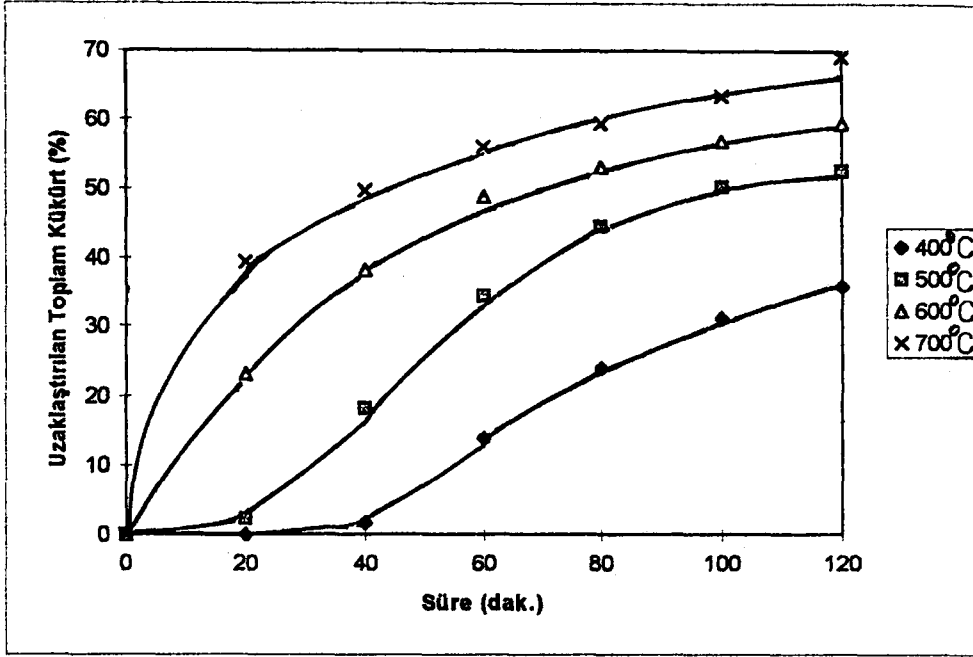
Sabit karbon eğrilerine bakıldığında, bu eğrilerin düşük sıcaklıklarda lineere yakın bir davranış gösterdiği, sıcaklık arttıkça bu davranışın değiştiği görülmektedir. Özellikle yüksek sıcaklıkta, kömürün sabit karbon içeriği, koklaşma süresinin başlangıcında çok hızlı bir şekilde artarken, daha sonraki sürelerde bu artış yavaşlamakta ve koklaşma süresinin sonunda, sabit karbon artışı çok az bir değer almaktadır.

Düşük sıcaklık koklaştırması ile kömürün sabit karbon içeriği arttığından, ısı değeri de artmaktadır. Havada kuru kömürün ortalama üst ısı değeri 4748 Kcal/kg iken, 700 °C, 120 dak. sürede koklaştırma işlemleri sonucu bu değer 6585 Kcal/kg'a yükselmiştir.

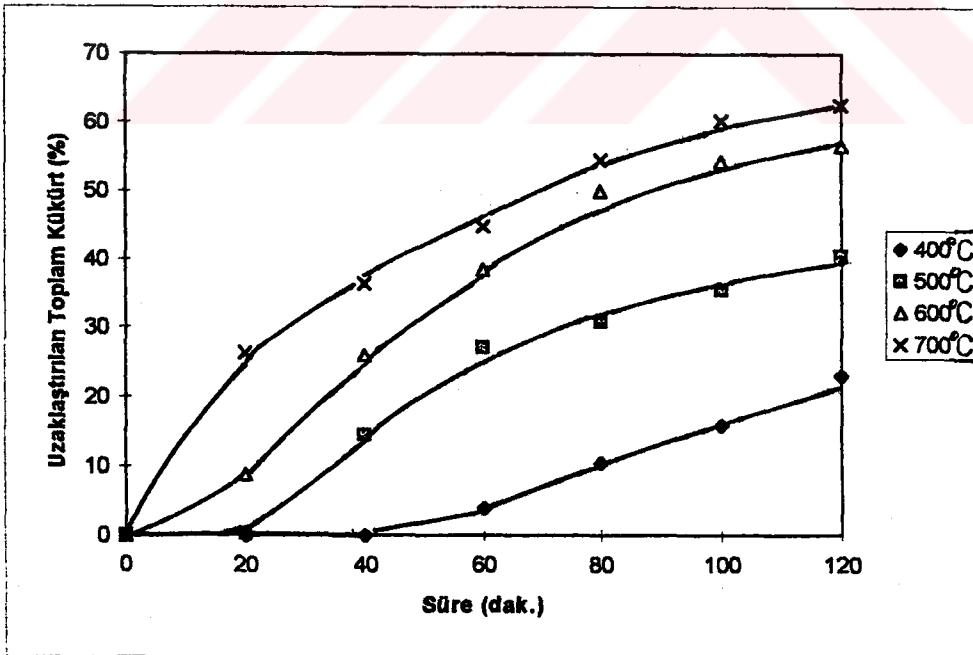
**Düşük Sıcaklık Koklaştırmasında Kömürdeki Kükürdün Davranışı:** Her bir boyut grubu için yapılan düşük sıcaklık koklaştırma deneyleri sonucu, kömürde bulunan yanabilir kükürdün önemli bir kısmının kömürden uzaklaştığı belirlenmiştir. Koklaştırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak kömürden uzaklaştırılan toplam kükürt miktarına ait sonuçlar Şekil 3.13, 3.14 ve 3.15 'de verilmiştir.



Şekil 3.13 - 50 + 19 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde uzaklaştırılan toplam % kükürt miktarının sıcaklık ve süreye bağlı olarak değişimi



Şekil 3.14 - 19 + 10 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde uzaklaştırılan toplam % kükürt miktarının sıcaklık ve süreye bağlı olarak değişimi



Şekil 3.15 - 10 + 1 mm boyut grubu kömür ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde uzaklaştırılan toplam % kükürt miktarının sıcaklık ve süreye bağlı olarak değişimi

Şekillerden de görüldüğü gibi, uzaklaştırılan toplam kükürt miktarı, koklaştırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak artmaktadır. Bu şekillerden, kömürden uzaklaştırılan toplam kükürt miktarında en büyük etkenin sıcaklık olduğu sonucuna varılmıştır. Örneğin, 700 °C, 20 dak. sürede elde edilen üründeki uzaklaştırılan toplam kükürt miktarına 400 °C, 120 dak. sürede dahi ulaşamamıştır. Tüm boyut gruplarında kömürden kükürdün uzaklaştırılması işleminin yüksek sıcaklıklarda (600 -700 °C) daha yüksek bir hızda olduğu şekillerden anlaşılmaktadır.

Her üç boyut grubu kömürde toplam kükürt içeriğinin 400 °C koklaştırma sıcaklığında ve koklaştırma başlangıcında bir miktar arttığı belirlenmiştir. Bu durum, düşük sıcaklıklarda uçucu kısımların kömürden uzaklaşma kinetiğinin, kükürdün bozunma kinetiğinden daha yüksek olmasından ve 400 °C gibi düşük sıcaklıkta ve başlangıçta kömürden sadece su kaybı olmasından ileri gelmektedir.

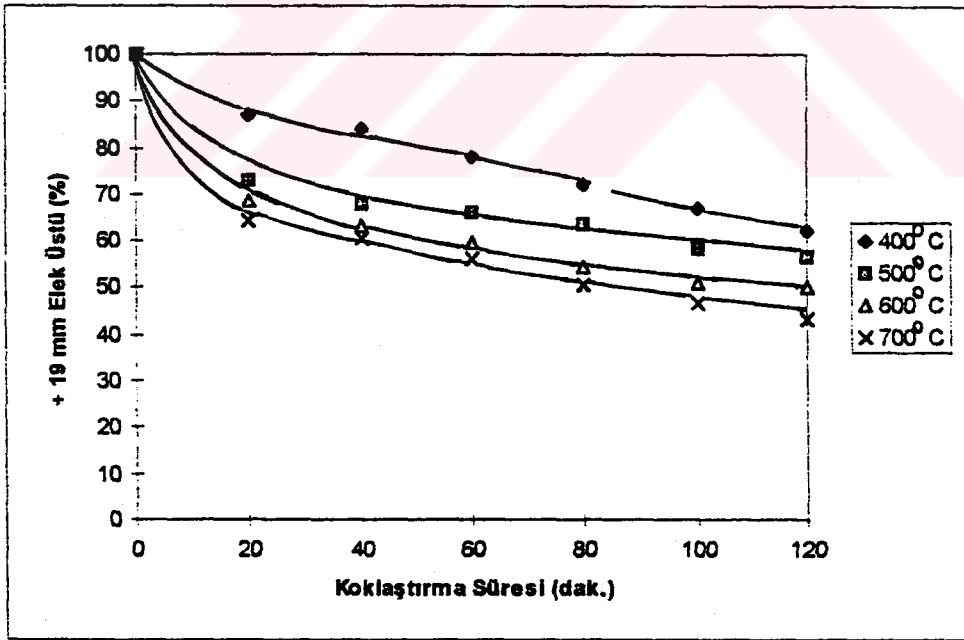
Uzaklaştırılan toplam kükürt miktarına ait eğriler genel olarak incelendiğinde; 600 - 700 °C'lerde 60 - 80 dak. sürede kömürde bulunan toplam kükürdün büyük bir kısmı ( %60 dolayında) kömürü terketmektedir.

Her üç boyut grubu kömürden kükürdün uzaklaşması aynı eğilimi göstermektedir. Koklaşmanın başlangıç safhasında; 400 °C gibi düşük sıcaklıkta kömürdeki kükürt pek reaksiyona girmez iken; ısı artışı ile birlikte kükürdün bozunma reaksiyonlarına ait kinetikde artmaktadır. Özellikle, 700 °C koklaşma sıcaklığında kükürdün bozunması koklaşmanın başlangıcında bile çok hızlı olmaktadır. Bu sıcaklıkta ve 40 dak. süreyle yapılan koklaşma sonunda kükürdün yaklaşık %60'kömürden uzaklaşırken; 400 °C'de ve aynı sürede kükürt hemen hemen kömürden uzaklaşmamıştır. Kuru baza göre tuvenan kömürde %1.88 olan toplam kükürt 700 °C'de 2 saatlik düşük sıcaklık koklaştırma süresi sonunda % 1 dolaylarına kadar ( %1.06- %1.20) düşmüştür. Bu kömürün yanabilir kükürdü ise % 0.10 düzeylerine inmiştir.

**Düşük sıcaklık Koklaştırmasının Semikokun Tane Boyutuna Etkisi:** Her boyut grubu ili yapılan düşük sıcaklık koklaştırması sonucu, kömürde dağılma olmuştur.

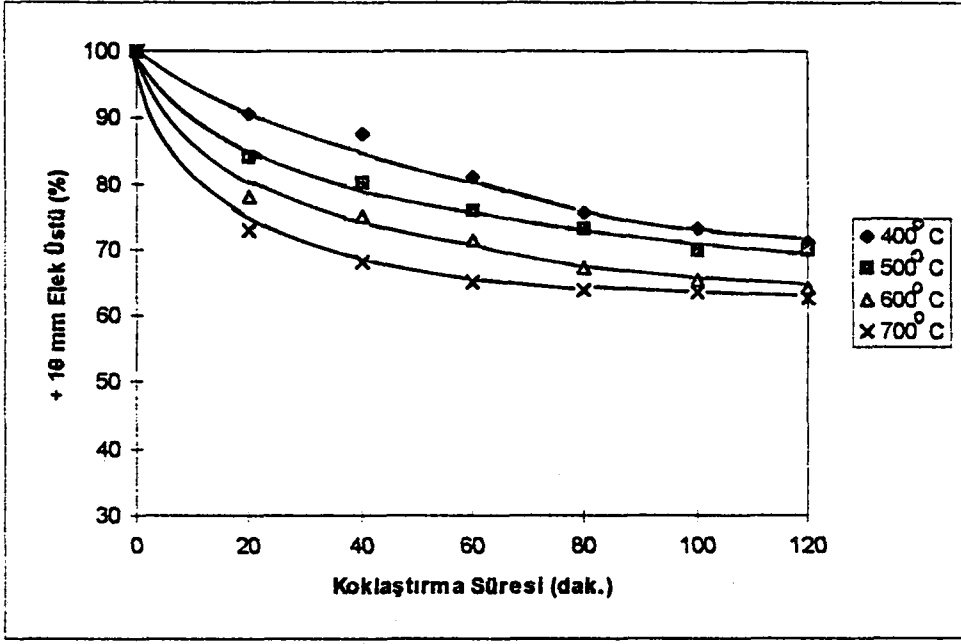
Semikok ürünündeki boyut küçülmesi, her boyut grubundaki kömürün alt boyutuna sahip elekten elenmesi ile denetlenmiştir. Her bir boyut grubuna ait alt boyutun üstünde kalan miktarın koklaşma süresine bağlı olarak değişimi Şekil 3.16, 3.17 ve 3.18’de verilmiştir.

Bu şekillerden de görüldüğü gibi, her boyut grubuna ait alt boyutun üzerinde kalan miktar koklaştırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak azalmaktadır. Tanelerin koklaştırılması sonucu dağılması her boyut grubun için farklı sıcaklıklarda aynı eğilimi göstermektedir. Fakat, koklaştırma işlemi sırasında boyutun küçülmesi ya da tanenin dağılmasında, tanelerin orijinal boyutuda önemli rol oynamakta; orijinal boyut küçüldükçe tanelerin dağılımı da azalmaktadır. Örneğin,  $-50 + 19$  mm boyut grubundaki kömürün  $700^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta, 120 dak. süreyle koklaştırılması sonucu, semikok ürünün %56.8’i  $19$  mm’nin altına geçmiştir. Oysa,  $-10+1$  mm boyut grubundaki kömürün aynı sıcaklık ve sürede koklaştırılması sonucu, semikok ürünün

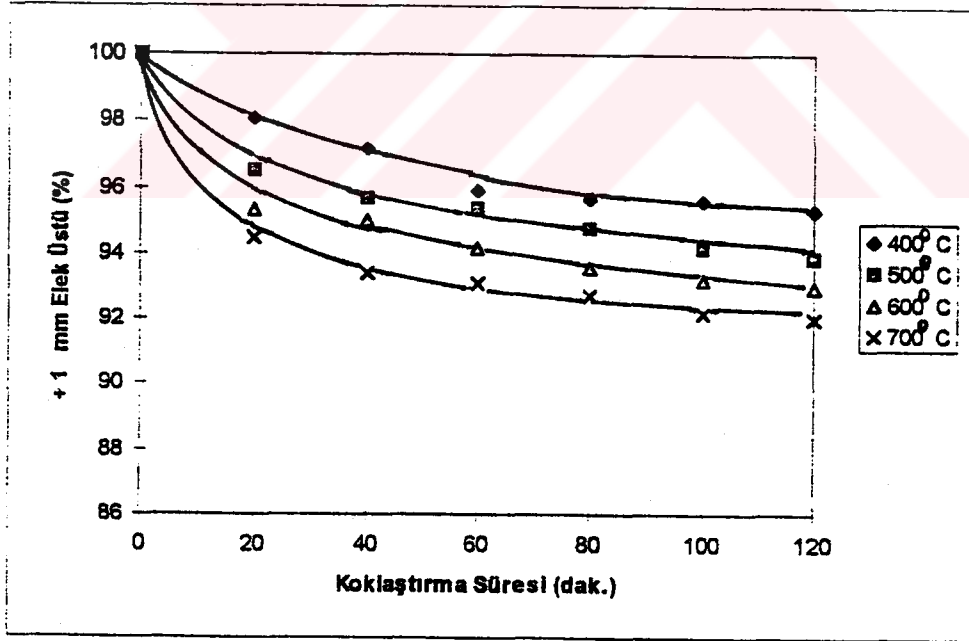


Şekil 3.16 -50 + 19 mm boyut grubu kömüre düşük sıcaklık koklaştırma uygulanması sonucu elde edilen semikok ürüne ait boyut dağılımının süreye göre değişimi





Şekil 3.17 -19 + 10 mm boyut grubu kömüre düşük sıcaklık koklaştırma uygulanması sonucu elde edilen semikok ürüne ait boyut dağılımının süreye göre değişimi



Şekil 3.18 -10 + 1 mm boyut grubu kömüre düşük sıcaklık koklaştırma uygulanması sonucu elde edilen semikok ürüne ait boyut dağılımının süreye göre değişimi

ancak %8.0'ı 1 mm'nin altına geçmiştir. Bu sonuçlardan, iri boyutlu kömürde termik şokun daha etkili olduğu anlaşılmıştır.

Termik şokun taneler üzerine etkisini nisbeten kaldırabilmek için üç ayrı boyut gurubuna ait kömürler ayrı ayrı oda sıcaklığındaki fırına konulmuş ve fırın ısı 10 °C/dak. olacak şekilde artırılmış ve kömür öngörülen koklaştırma sıcaklığında ve süresinde koklaşmaya tabi tutulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, özellikle -50 + 19 mm boyut grubunda ani koklaştırmaya göre + 19 mm elek üstü miktarı %8.69 artarken, -19 + 10 mm boyut grubunda %1.66, diğer boyutta ise kayda değer bir artış görülmemiştir.

#### 3.4.5 Düşük Sıcaklık Koklaştırması Deneyleri Sonucunda Belirlenen En İyi Koşullar ve Semikokun Özellikleri

İstanbul - Yeniköy Bölgesi kömürleri için koklaştırma sıcaklığının 600 - 700 °C arasında olmasının uygun olacağı; fakat sürenin sıcaklığa göre değişeceği deney sonuçlarından anlaşılmıştır. Koklaştırma sıcaklığını belirlemek için 600 °C 80 dak. elde edilen semikok ürün ile 700 °C 40 dakikada elde edilen semikokun fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş ve her iki ürünün aynı özelliklere sahip olduğu saptanmıştır. Bunun üzerine koklaşma sıcaklığının 650 °C olarak alınmış ve koklaştırma süresinin saptanmasında kömürden katranımsı sıvı ürünlerin uzaklaşmasının tamamlandığı süre dikkate alınmıştır. İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürleri için deneylerin yapıldığı ortamda geçerli olan ve her bir boyut grubu için ayrı ayrı belirlenen en iyi düşük sıcaklık koklaştırmasının koşulları Tablo 3.10'da, bu koşullarda elde edilen semikok ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.10 İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürü için belirlenen en iyi koklaştırma koşulları

| ELEMEN                     | Koklaştırmao Koşulları |           |         |
|----------------------------|------------------------|-----------|---------|
|                            | -50 + 19               | - 19 + 10 | -10 + 1 |
| Tane Boyutu (mm)           | -50 + 19               | - 19 + 10 | -10 + 1 |
| Koklaştırma Sıcaklığı (°C) | 650                    | 650       | 650     |
| Koklaştırma Süresi (dak.)  | 50                     | 56        | 76      |

Tablo 3.11 En iyi koklaştırma koşullarında elde edilen semikok ürünlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri (kuru baza göre)

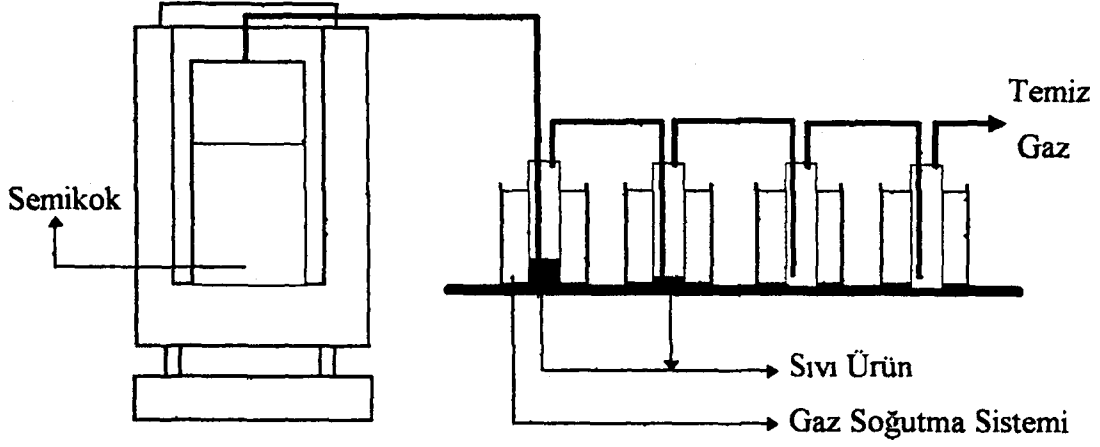
| ELEMEN                   | BOYUT (mm) |         |        | TOPLAM |
|--------------------------|------------|---------|--------|--------|
|                          | -50 +19    | -19 +10 | -10 +1 |        |
| Rutubet (%)              | 3.87       | 3.94    | 4.02   | 3.90   |
| Kül (%)                  | 15.95      | 17.20   | 19.59  | 16.67  |
| Uçucu Madde (%)          | 15.04      | 15.96   | 15.37  | 15.24  |
| Sabit Karbon (%)         | 69.01      | 66.84   | 65.04  | 68.09  |
| Toplam Kükürt (%)        | 1.39       | 1.41    | 1.79   | 1.45   |
| Yanabilir Kükürt (%)     | 0.37       | 0.34    | 0.62   | 0.40   |
| Üst Isıl Değer (Kcal/kg) | 6459       | 6324    | 6223   | 6404   |
| Elek Üstü (%)            | 54.51      | 65.41   | 93.63  | -      |
| Tambur Testi (%)         | 11.28      | 40.91   | 90.55  | -      |
| Tutuşma Sıcaklığı (C°)   | 320        | 300     | 290    | 321    |
| Nokta Yük Dayanımı       | 0          | 0       | -      | -      |

Tablodan da görüldüğü gibi, havada kuru baza göre kömürün ortalama olarak yanabilir kükürt içeriği %0.88'den % 0.40'a, uçucu madde içeriği %40.69'dan %15.24'e inmiş; sabit karbon içeriği %35.89'dan %68,09'a, üst ısıl değeri 4748 Kcal/kg'dan 6404 Kcal/kg'a, tutuşma sıcaklığı 263 °C'den 321 C°'ye kül içeriği ise %9.35'den %16.67'ye yükselmiştir. Fakat, özellikle iri boyutlu semikok ürünlerin dayanımının çok düşük olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, elde edilen ürünlerin %3.90 dolaylarında rutubet içermesinin, semikokun soğutulduktan sonra ortamın doğal rutubetini almasından kaynaklandığı anlaşılmıştır.

#### 3.4.6 Düşük Sıcaklık Koklaştırması Sırasında Elde Edilen Yan Ürünler

Koklaştırma sırasında açığa çıkan yan ürünleri belirlemek amacı ile - 50 + 1 mm boyut grubunda olan ve rutubeti tamamen alınmış kömür ile koklaştırma deneyleri yapılmıştır. Bu deney sırasında, uçucu maddenin bünyesinde bulunan sıvı ürünleri

yoğunlaştırmak amacı ile bir soğutma sistemi (çevresi, tuz - buz karışımı ile doldurulmuş yıkama şişesi) kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 3.19'da verilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ürünlerin dağılımı Tablo 3.12'de görülmektedir.



Şekil 3.19 Düşük sıcaklık koklaştırması sırasında açığa çıkan yan ürünleri elde etmek için kullanılan deney düzeneği

Tablo3.12 Düşük sıcaklık koklaştırmasında elde edilen ürünlerin dağılımı

| ÜRÜNLER | MİKTAR (%) |
|---------|------------|
| Semikok | 60.2       |
| Gaz     | 20.3       |
| Sıvı    | 19.5       |
| TOPLAM  | 100.0      |

Deneyden elde edilen gaz (teflon gaz bag torbası içerisinde) ve sıvı ürünler İTÜ Kimya-Metalurji Fak. Kimya Müh. Bölümü Proses ve Reaktör Tasarımı Anabilim Dalı Laboratuvarlarına nakledilmiştir. Gaz ölçüm laboratuvarında, gaz numuneleri torbadan alınmış ve bu numuneler gaz kromatografına verilerek, gazın bileşenleri ve dağılımları tesbit edilmiştir. Çoğunluğu yanıcı gaz olan bu ürünlerin dağılımı Tablo 3.13'de verilmiştir.

Tablo 3.13 Koklaşma sırasında açığa çıkan gazın analiz sonuçları

| GAZ ELEMANLARI                 | DAĞILIM (%) |
|--------------------------------|-------------|
| CO                             | 17.3        |
| CH <sub>4</sub>                | 37.1        |
| CO <sub>2</sub>                | 15.8        |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | 1.5         |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | 1.5         |
| C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | 0.9         |
| C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> | 0.7         |
| H <sub>2</sub> S               | 2.2         |
| SO <sub>2</sub>                | 2.5         |
| H <sub>2</sub>                 | 16.8        |
| Diğerleri                      | 3.7         |
| TOPLAM                         | 100.0       |

Tablodan da görüldüğü gibi, açığa çıkan gazın büyük bir kısmını CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> gazları oluşturmaktadır. Ayrıca, kömürden çıkan gazların %4.7'sini oluşturan sülfür gazları (H<sub>2</sub>S ve SO<sub>2</sub>) gazlar çıkmaktadır.

Deneyler sırasında elde edilen sıvı ürünün %54.5'ini katran, %45.5'ini de bozunma suyu (amonyaklı su) oluşturmuştur.

Katranın bileşimini belirlemek amacıyla, bu ürüne bir dizi analizler uygulanmıştır. Önce katran n-heksan ile çözündürülerek, yağlar uzaklaştırılmıştır, n-heksan ile çözünmeyen kısım, süzülerek asfalten ve piroasfaltenlere (süzgeç kağıdı üzerinde kalan katı ürün) ayrılmıştır. Daha sonra yağlar, içerisinde silikajel bulunan kolona yüklenmiş ve üzerinden tekrar n-heksan geçirilerek, alifatikler, toluen geçirilerek, aromatikler ve en sonunda metanol geçirilerek de polar grupları çözündürülmüştür. Asfalten içerisinde bulunan aromatikler, toluenle; polarlar ise metanolle tekrar kolon kromatografisinde çözündürülerek, iki ayrı guruba ayrılmıştır. Piroasfaltenlerin dışında kalan sıvı ürünler döner buharlaştırıcı yardımı ile gaz haline getirildikten sonra GCMS (gaz kromatografisi + kütle spektroskopisi) analiz uygulanarak bileşenleri saptanmıştır. Deneyler sonucunda, katranın büyük bir kısmını benzen, fenol, etanol, naftalin, azulen ve kısilen içeren aromatiklerin oluşturduğu belirlenmiştir.

### 3.5 Briketleme Deneyleri

#### 3.5.1 Briketleme Deneylerine Esas Olan Numune

Briketleme çalışmaları, İstanbul - Yeniköy bölgesi harman numunesinin düşük sıcaklıkta koklaştırılması sonucu oluşan ince boyutlu (-10 mm) semikokları üzerinde yürütülmüştür. Bu çalışmada, ince boyutlu semikokların boyutu büyütüldükten sonra, ev yakıtı olarak kullanılması amaç edinilmiştir. Briketleme deneylerinde kullanılan numuneyi, -10 + 1 mm boyut grubu semikokun tamamı ile, -50 + 19 mm ve -19 + 10 mm boyut grubu kömürlerin koklaştırılması sonucu oluşan ve 10 mm'nin altına geçen ürünler oluşturmuştur. -10 mm'lik semikokun miktarı, toplam semikokun %30.2'sini oluşturmaktadır.

#### 3.5.2 Briketleme Deneylerinde Kullanılan Numunenin Özellikleri

Düşük sıcaklık koklaştırması sonucu elde edilen - 10 mm boyut grubu semikokun standart kömür analiz sonuçları Tablo 3.14'de verilmiştir.

Tablo 3.14 Briketlemeye giren semikokun standart kömür analiz sonuçları  
(kuru baza göre)

| ELEMAN                   | KÖMÜR |
|--------------------------|-------|
| Rutubet (%)              | 4.01  |
| Kül (%)                  | 16.97 |
| Uçucu Madde (%)          | 15.75 |
| Sabit Karbon (%)         | 67.28 |
| Toplam Kükürt (%)        | 1.42  |
| Yanabilir Kükürt (%)     | 0.40  |
| Üst Isıl Değer (Kcal/kg) | 6291  |

### 3.5.3 Briketleme Deneylerinde Kullanılan Teçhizatlar

Bu deneylerde, 120 tonluk özel biriketleme presi ve bu prese ait briketleme kalıpları, rutubet alaliz cihazı (Kett-İnfrared Moisture Meter), ASTM - D441 - 45 tipi tambur, shatter testi plakası, tartım cihazı, etüv ve yakma testlerinin yapıldığı fırın kullanılmıştır.

### 3.5.4 Briketleme Deneylerinin Yapılış Şekli ve Yöntemi

Deneylerde, 50 gr briket numunesi olacak şekilde kömür, kireç ve melas öngörülen oranlarda tartılarak homojen bir karışım oluşturulmuştur. Daha sonra, bu karışım briketleme kalıplarına konarak 20 ton, 30 ton ve 40 ton yük altında briketlenmiştir.

Bütün deneyler boyunca, her bir deney koşulunda 6 adet briket yapılmıştır. Bu briketlerden 4'ü shatter testinde, 2'si ise suya dayanım testlerinde kullanılmıştır.

Shatter testi, briket yapıldıktan 24 saat sonra (optimum süre) gerçekleştirilmiştir. Farklı parametreler kullanılarak, elde edilen briket önce tartılmakta, sonra 1.83 m yükseklikten çelik bir plaka üzerine düşürülmektedir. Briket daha sonra 25 mm kare açıklıklı elekten elenerek, elek üstü tekrar tartılmakta ve bu şekilde numunenin tamamı 25 mm altına geçene denk bu teste devam edilmektedir. Tüm tartımların toplamı o briketin shatter indeksini vermektedir. Aynı şartlar altında yapılan 4 briketin shatter indekslerinin aritmetik ortalaması ise o deney grubunun shatter indeksini oluşturmuştur [40, 41].

Briketin suda mukavemetini belirlemek amacı ile, su dolu bir kap içerisindeki destek noktaları üzerine briket numuneleri konulur. Bu sırada, briketi suya karşı davranışları göz ve dokunma ile kontrol edilir. Genellikle, briketten ilk parçaların ayrıldığı ve kütlenin tamamen kendini bıraktığı anlar, o briketin suya karşı mukavemetini verir.

Tambur testi, briketin üretim yerinden tüketim yerine kadar geçireceği işlemler sırasında meydana gelecek parçalanmaları belirlemek amacı ile yapılır. ASTM - D441 45 standardına göre yapılan testte 1000 gr'lık briket numunesi 40 dev./dak. hızla, 20 dak. süreyle döndürülür. Deney sonunda, briket numuneleri alınarak 25 mm açıklıklı elekten elenir, elek üstü ürünün % olarak değeri briketin tambur testini değerini verir [41].

Briketin tutuşma sıcaklığını ve süresini belirlemek için özel hazırlanmış bir yakma fırınında süreye bağlı olarak meydana gelen ısı artışı sonucu, brikette ilk tutuşma ve alev alma sıcaklığı ve süresi belirlenir. Ayrıca, deney sonucu briketin külüne bakılarak briketin şeklini koruyup korumadığı da tesbit edilir.

Briketleme deneylerinde boyutun etkisini belirlemek amacı ile koklaştırma sonucu - 10 mm altında olan semikokun boyutu -3.36 mm ve -1 mm altına indirilmiştir. Deneylerde kullanılan -3.36 mm boyutundaki kömürün elek analizi sonucu Tablo 3.15'de, -1 mm boyutundaki kömürün elek analizi sonucu ise Tablo 3.16'da verilmiştir.

**Tablo 3.15 Briketleme deneylerde kullanılan -3.36 mm boyutundaki numune üzerinde yapılan elek analizinin sonuçları**

| Elek Açıklığı<br>(mm) | Miktar<br>(%) | Toplam Elek<br>Altı (%) | Toplam Elek<br>Üstü (%) |
|-----------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| -3.36 + 2.0           | 30.2          | 100.0                   | 30.2                    |
| -2.0 + 1.0            | 34.4          | 69.8                    | 64.6                    |
| -1.0 + 0.5            | 21.5          | 35.4                    | 86.1                    |
| -0.5 + 0.212          | 8.6           | 13.9                    | 94.7                    |
| -0.212                | 5.3           | 5.3                     | 100.0                   |
| TOPLAM                | 100.0         |                         |                         |



Tablo 3.16 Briketleme deneylerde kullanılan -1 mm boyutundaki numune üzerinde yapılan elek analizinin sonuçları

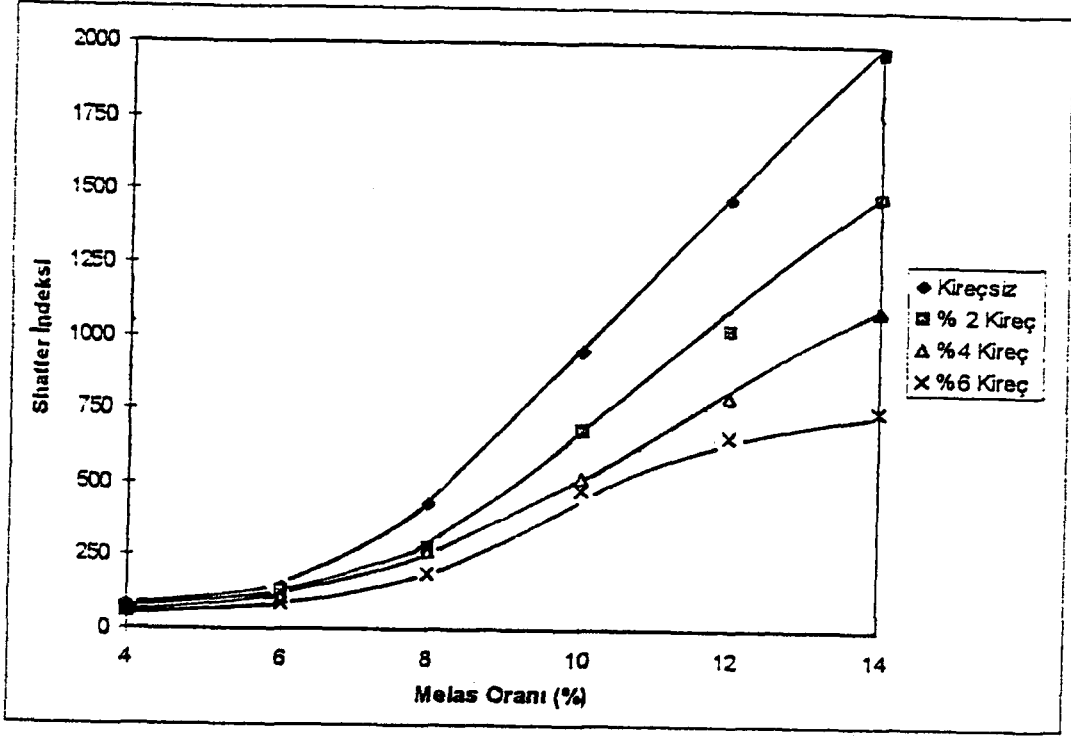
| Elek Açıklığı<br>(mm) | Miktar<br>(%) | Toplam Elek<br>Altı (%) | Toplam Elek<br>Üstü (%) |
|-----------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| -1.0 + 0.5            | 31.6          | 100.0                   | 31.6                    |
| -0.5 + 0.212          | 35.1          | 68.4                    | 66.7                    |
| -0.212 + 0.106        | 17.5          | 33.3                    | 84.2                    |
| -0.106                | 15.8          | 15.8                    | 100.0                   |
| TOPLAM                | 100.0         |                         |                         |

Deneylerde tane boyutu, briketleme yükü ve bağlayıcı maddenin briketlemeye olan etkisi araştırılmıştır. Briketleme yükü olarak 20 ton, 30 ton, 40 ton ve her briketleme yükünde, bağlayıcı maddeler değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Bağlayıcı olarak melas (%4 - 14) ve kireç (%0 - 6) kullanılmıştır.

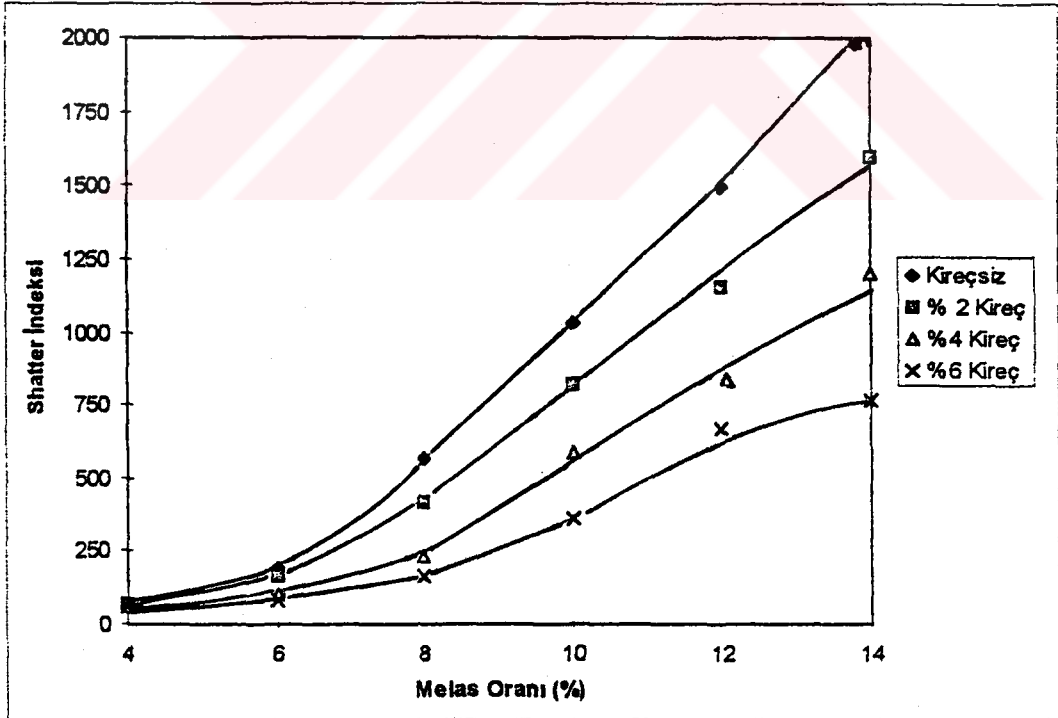
Yapılan ön deneylerde, melas ile yüksek shatter indeksine sahip briketler elde edilmesine karşın, briketlerin pilastik bir yapıda oldukları görülmüştür (briketler çok hafif bir yük altında bile şeklini değiştirebilir). Briketlerin plastik özelliklerini gidermek amacı ile kömüre belirli oranlarda kireç ilavesinin yararlı olduğu belirlenmiştir. Deneylerde, bağlayıcı olarak melas, briketin şeklini (dayanımını) artırmak amacı ile de kireç kullanılmıştır.

### 3.5.5 Briketleme Deneylerinin Sonuçları

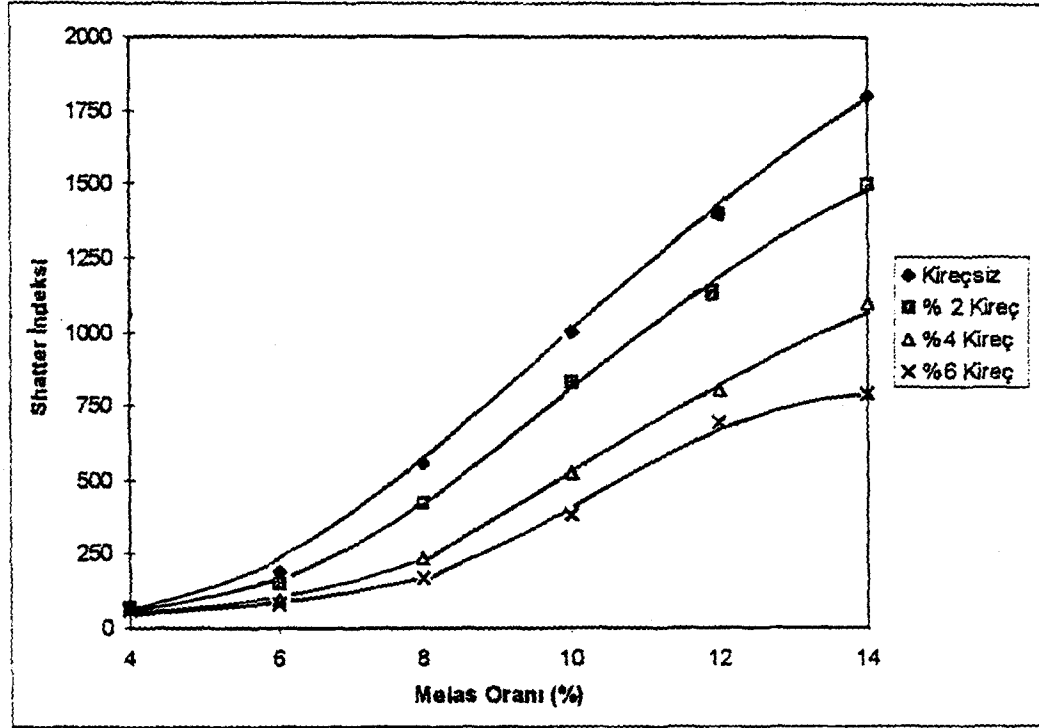
Tamamı -3.36 mm ve -1 mm boyutundaki kömür, farklı presleme yüklerinde ve farklı bağlayıcı oranlarında briketlenmiştir. -3.36 mm boyutundaki kömür ile elde edilen briketin shatter indeksinin bağlayıcıya bağlı olarak değişimi, 20 ton presleme yükü için Şekil 3.20’de, 30 ton için Şekil 3.21’de ve 40 ton için ise Şekil 3.22’de verilmiştir. Ayrıca, - 1 mm boyutundaki kömür için elde edilen sonuçlar ise düşük presleme yükünden yükseğe doğru sırası ile Şekil 3.23, 3.24 ve 3.25’de verilmiştir. 1mm boyutundaki kömür 40 ton yük altında kireçsiz ve %2 kireç oranlarında briketlenmesi sonucunda sağlam bir briket elde edilememiştir.



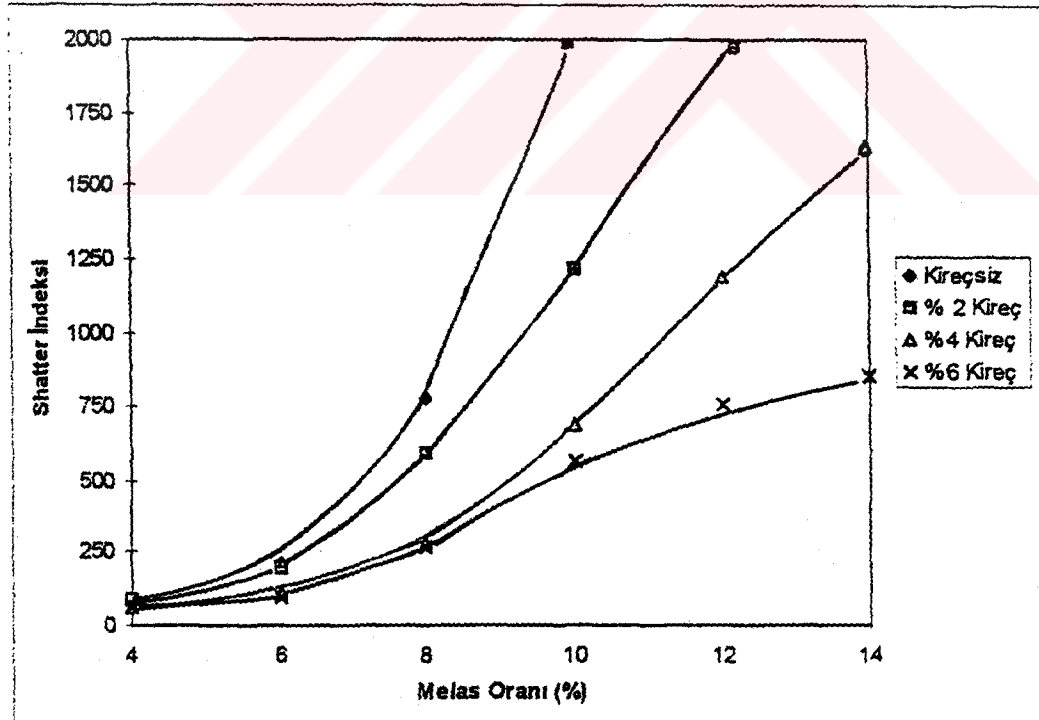
Şekil 3.20 -3.36 mm boyutundaki semikokun 20 ton basınç altında melas ve melas + kireç karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları



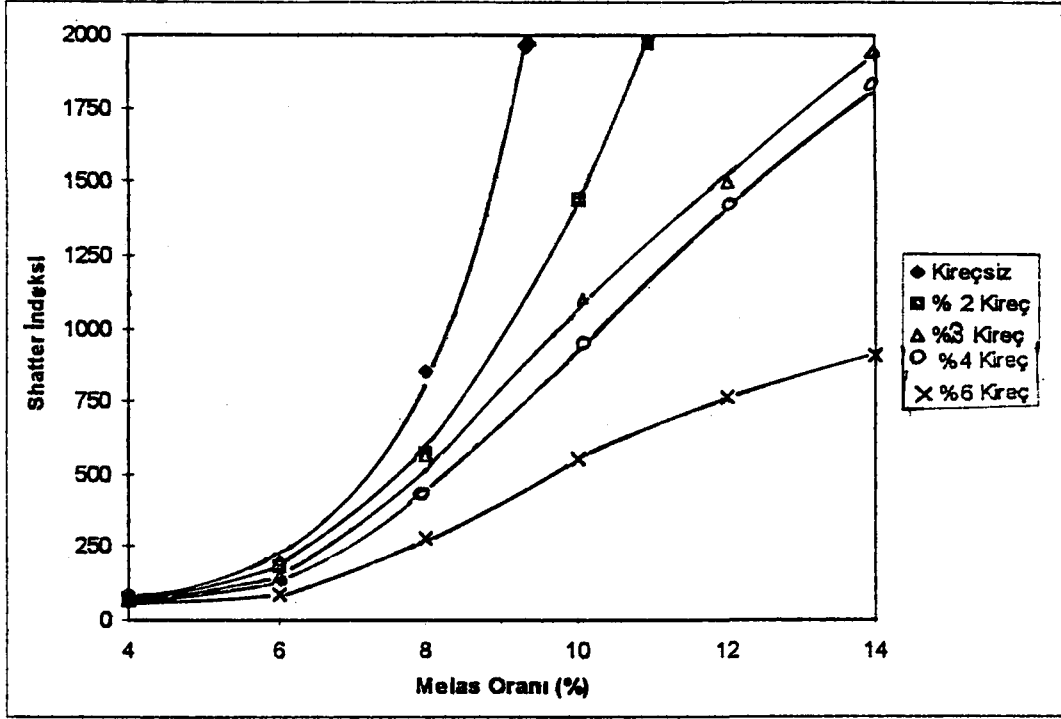
Şekil 3.21 -3.36 mm boyutundaki semikokun 30 ton basınç altında melas ve melas + kireç karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları



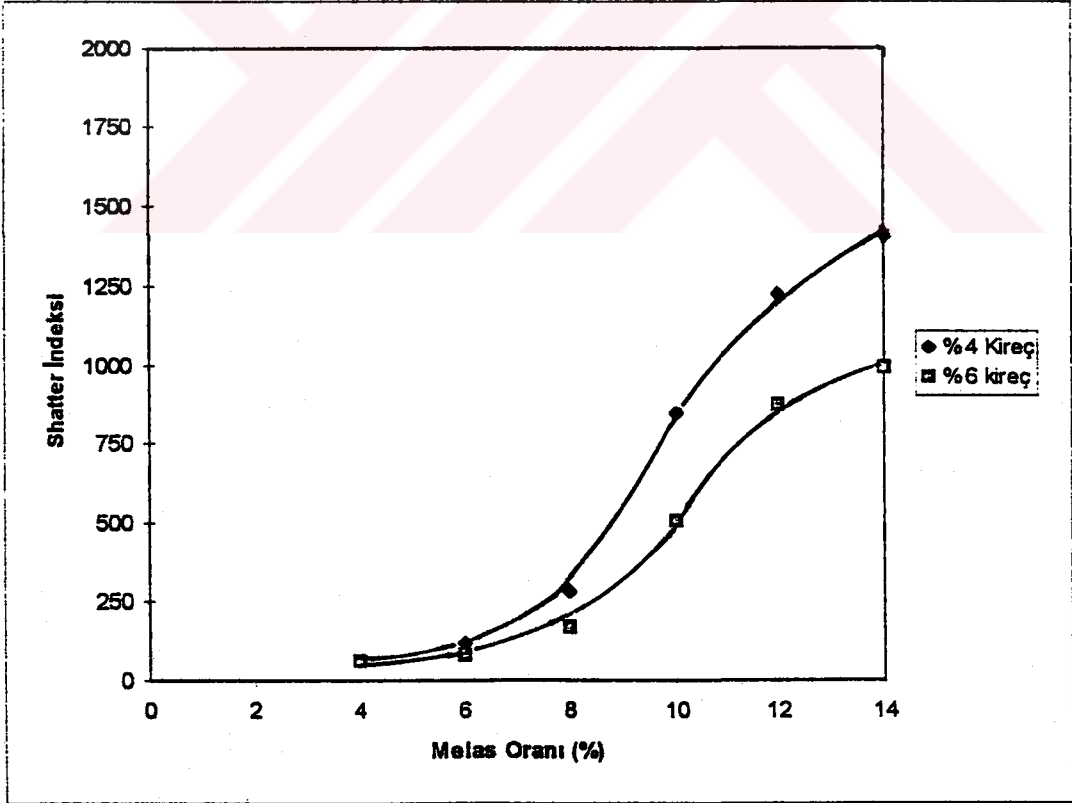
Şekil 3.22 -3.36 mm boyutundaki semikokun 40 ton basınç altında melas ve melas + kirec karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları



Şekil 3.23 -1 mm boyutundaki semikokun 20 ton basınç altında melas ve melas + kirec karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları



Şekil 3.24 -1 mm boyutundaki semikokun 30 ton basınç altında melas ve melas + kireç Karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları



Şekil 3.25 -1 mm boyutundaki semikokun 40 ton basınç altında melas ve melas + kireç karışımı ile yapılan briketleme deneylerinin sonuçları

Şekillerden de görüldüğü gibi, iki farklı boyuttaki kömür ile yapılan deneylerde, ince boyut grubundaki (-1 mm) kömür biriketin shatter indeksi daha yüksek olmuştur. Örneğin, 30 ton basınç altında %10 melas ve %2 kireç ilavesiyle yapılan biriketleme deneyleri sonucu, iri boyuttaki (-3.36 mm) kömürün shatter indeksi 820 iken, ince boyuttaki kömürde bu değer 1441'e çıkmaktadır.

Üç farklı presleme yükü altında yapılan deneyler sonucunda, yükün önemli bir etken olduğu sonucuna varılmıştır. - 1 mm boyutundaki kömüre %10 melas ve %4 kireç ilavesiyle yapılan biriketleme deneyi sonucunda; 20 ton basınç altında elde edilen biriketin shatter indeksi 1185 iken, 30 ton basınç altında 1301'e yükselmiş, 40 ton basınç altında ise 848'e düşmüştür. Bu değerlerden, en uygun biriketleme sonuçlarına 30 ton basınç altında ulaşılabileceği anlaşılmıştır.

Tüm biriketleme deneylerinde en önemli parametrelerden birinin de melas oranı olduğu saptanmıştır. Yapılan biriketleme deneyleri sonucunda %10 - 12 melas oranlarında en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin, -1 mm boyutundaki kömür 30 ton basınç altında biriketlendiğinde; bu briketin shatter indeksi %4 melas için 90 iken, %8 melas için 845'e, %10 melas için ise 2200'e çıkmıştır. %10 melas oranında yapılan biriketin basınç dayanımı yetersiz olduğundan, kullanım için pek uygun değildir. Ayrıca, melas oranı arttıkça briketin suya karşı dayanımı da artmıştır.

Yüksek melas oranlarında yapılan briketin shatter indeksi yüksek olmasına karşın, plastik bir özellik gösterdiği görülmüştür. - 1 mm boyutundaki kömür 30 ton yük altında, %12 melas oranı ile biriketlendiğinde, plastik bir yapıda bir briket elde edilirken; bu birikete %3 kireç katılarak yapılan deneyde, sağlam, rijit bir yapıda ve shatter indeksi 1505 olan bir briket elde edilmiştir. Ayrıca, kireç, briketin şeklini sağlamlaştırdığı gibi, kömürde bulunan yanabilir kükürdü de  $\text{CaSO}_4$  şeklinde tutmaktadır [1, 5, 33].

-1 mm boyutundaki semikoktan, 30 ton basınç altında %12 melas + %3 kireç ilavesiyle elde edilen biriketin suya karşı ortalama mukavemeti 92 dak olmuştur. Aynı şartlarda, %10 melas oranı ile yapılan deneyde bu değer 73 dakikaya, %8 melas

oranında 42 dakikaya ve %6 melas oranında ise 33 dakikaya inmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde, semikoktan elde edilen biriketin suya karşı dayanımının nisbeten az olduğu belirlenmiştir.

-10 mm boyutundaki semikokun briketlenmesinde en iyi koşulların; bu kömürü -1 mm altına indirdikten sonra, %12 melas + %3 kireç ilavesi ve 30 ton basınç altında briketlenmesiyle elde edilebileceği anlaşılmıştır. Bu koşullarda yapılan briketleme deneyi sonucu elde edilen biriketin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.44’de verilmiştir.

Tablodan da görüldüğü gibi, biriket numunesinin %8.46 rutubet, %19.98 kül, %20.49 uçucu madde, %59.53 sabit karbon, %0.11 yanabilir kükürt içerdiği ve üst ısı değerinin ise 6101 Kcal/kg olduğu saptanmıştır.

Tablo 3.16 En iyi briketleme koşullarında elde edilen biriketin fiziksel ve kimyasal özellikleri (kuru baza göre)

| ELEMAN                      | BİRİKET |
|-----------------------------|---------|
| Rutubet (%)                 | 8.46    |
| Kül (%)                     | 19.98   |
| Uçucu Madde (%)             | 20.49   |
| Sabit Karbon (%)            | 59.53   |
| Toplam Kükürt (%)           | 1.35    |
| Yanabilir Kükürt (%)        | 0.11    |
| Üst Isıl Değer (Kcal/kg)    | 6101    |
| ASTM Tambur Testi           | 93.22   |
| Tutuşma Sıcaklığı (C°)      | 330     |
| Suya Karşı Mukavemeti (dak) | 92      |
| Shatter İndeksi             | 1505    |

#### BÖLÜM 4 DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinden en önemli parametrenin koklaştırma sıcaklığı olduğu anlaşılmıştır. Örneğin, 700 °C, 20 dak. sürede elde edilen semikok ürünündeki sabit karbon ve uzaklaştırılan toplam kükürt miktarına 400 °C, 120 dakikada bile ulaşılammıştır. Bütün boyut gruplarında 400 °C hatta 500 °C sıcaklığın koklaştırma için yetersiz olduğu anlaşılmıştır. İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürleri için koklaştırma 600 - 700 °C sıcaklıkta ve 50 - 76 dak. sürede tamamlanmaktadır.

Tesis kurulması aşamasında, koklaştırma süre ve sıcaklığın saptanması için kullanılacak fırın türünün yanısıra işletme maliyetlerini etkileyici olan enerji giderleride dikkate alınmalıdır. Çünkü, düşük sıcaklık koklaştırmasında koklaştırma sıcaklığı ile süre birbiryle ters orantılıdır. Örneğin, 700 °C ve 40 dak. sürede elde edilen semikokun özellikleriyle 600 °C ve 80 dak. elde edilen semikokun özellikleri birbirine çok yakındır.

Yapılan deneyler sırasında havayı kirleten ve kanserojen etkisi olan kömürdeki katranın tamamen uzaklaştırılması dikkate alınmış ve bu bölge kömürleri için semikokta en çok %15 dolaylarında uçucu madde kalıncaya kadar koklaşmanın devam etmesiyle kömürdeki katranın <sup>1</sup> uzaklaştırılabileceği anlaşılmıştır.

-10 + 1 mm boyut grubu kömürde, koklaştırma süresinin artması, koklaştırmanın sabit yataklı fırında yapılmasından kaynaklanmıştır. Deneylerde elde edilen sonuçlara aşağıda belirtilen görüşün katkıda bulunması mümkündür. Koklaşmanın gerçekleştirildiği retort içerisindeki iri boyutlu kömürler; taneler arasındaki boşluk nedeniyle, direkt olarak ısı ile temas halindedir. Bunun sonucu iri kömürler kısa sürede koklaşabilmektedir. Fakat, ufak boyutlu kömürlerin arasında yeterli boşluk bulunmadığından ısı difüzyonu yetersiz olabilmekte; önce retortun dış kısmındaki kömür parçacıkları koklaşmakta, daha sonra iç kısımdaki parçalar koklaşabilmektedir. Bu şekilde kademeli olarak koklaşmanın merkeze doğru ilerlediği tahmin

edilmektedir. Koklaştırma kademeli olduğundan, ufak boyutlu kömürün koklaşması daha uzun sürede (76 dak.) gerçekleşebilmektedir.

Düşük sıcaklık koklaştırması ile  $-50 + 1$  mm boyutlu harman kömüründen %53.4 dolaylarında toplam kükürt uzaklaştırabilmiştir. İstanbul bölgesi gibi genç ve yüksek uçucu madde içerikli kömürlerden, yüksek sayılabilecek düzeyde kükürt uzaklaştırılabileceği anlaşılmıştır.

İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürleri gibi genç kömürlerin düşük sıcaklık koklaştırmasında uygulanacak sıcaklık ile koklaştırma süresinin büyük bir oranda fırın içinde koklaştırmaya tabi tutulan kömür tabakasının boyutlarına ve kömürün sabit yatakta bulunmasına yada hareketli davranmasına bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, koklaştırmının yapıldığı ortam için geçerlidir. Bu çalışmada, beklenenin aksine, tane boyutu küçüldükçe kömürün koklaşma süresi uzamıştır. Bu durum, sabit bir yatak ve retortun kömür ile yaklaşık  $2/3$ 'nün doldurulması ile elde edilmiştir.  $-10 + 1$  mm boyut grubu kömürün  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta, 60 dak. süreyle koklaştırılmasıyla elde edilen sonuca, aynı boyutlu kömürün retorta bir sıra halinde konulması sonucu (500 gr yerine 50 gr)  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve 10 dak. sürede ulaşılmıştır. Benzer şekilde, aynı kömür sabit bir yatak yerine, akışkan bir yatakta koklaştırılrsa, sürenin kısılması beklenen sonuç olacaktır.

İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürlerine düşük sıcaklık koklaştırması uygulanması ile kömürden hava kirliliği yaratan rutubet, uçucu madde ve kükürt uzaklaştırılabilmesine karşın; elde edilen semikok tanecikleri dayanıksız olup, çok kolay dağılabilmektedir. Bu durum, düşük sıcaklık koklaştırmasının en olumsuz yanını oluşturmaktadır.

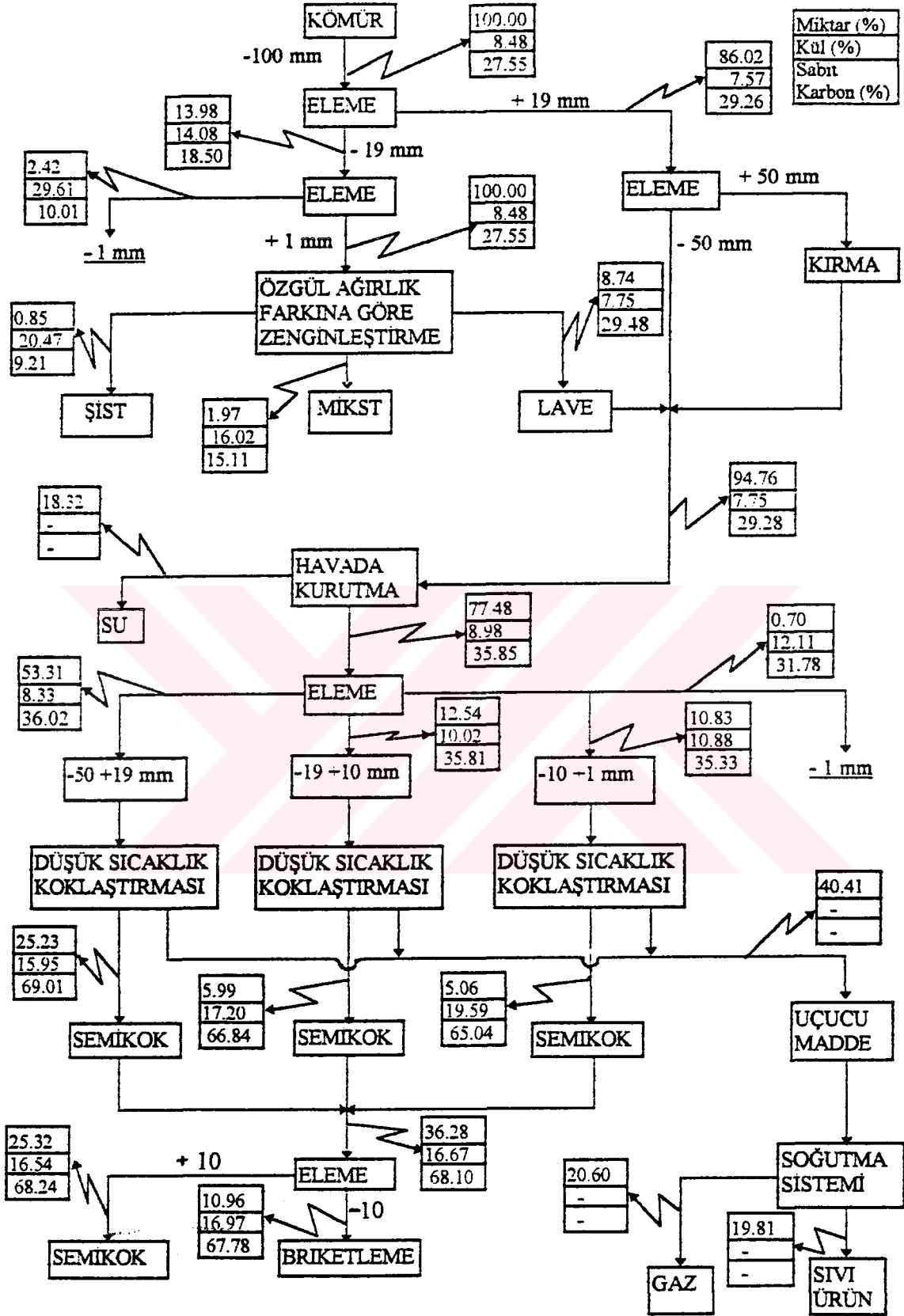
Günümüzde, İstanbul'un en önemli problemlerinden birini oluşturan hava kirliliği, büyük oranda bilinçsizce yakılan İstanbul kömürlerinden kaynaklanmaktadır. İstanbul'da hava kirliliğinin giderilmesi için uygulanabilecek önlemlerden birini düşük sıcaklık koklaştırmasının oluşturduğunu bu çalışma ortaya koymuştur.



Deneysel çalışmalar sırasında İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürlerine uygulanan prosesin akım şeması ve malzeme balansı Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu proseste elde edilen +10 mm boyutundaki semikokun doğrudan, -10 mm boyutundaki kömürün ise briketlendikten sonra ev yakıtı olarak kullanılması söz konusudur. Ayrıca, -10 mm boyutundaki semikok çeşitli sanayi kuruluşları (tuğla, seramik, çimento, şeker v.s.) tarafından olduğu gibi de kullanılabilir.

İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürlerine düşük sıcaklık koklaştırması uygulanması düşünüldüğü takdirde, pilot tesis çalışmalarının gerektiğini ve koklaştırma fırını tipinin koklaştırmada önemli rol oynadığını dikkate almak gerekir.





Şekil 4.1 İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda oluşturulan prosesin akım şeması ve malzeme balansı

## BÖLÜM 5 GENEL SONUÇLAR

1) Düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde kullanılan İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürünün kuru baza göre % 32.50 rutubet, %12.30 kül, 46.57, %40.82 sabit karbon, %1.88 toplam kükürt, %1.05 yanabilir kükürt içerdiği ve üst ısı değeri 5426 Kcal/kg olduğu saptanmıştır.

2) Kömürün yıkanabilme özelliğini belirlemek amacı ile yapılan yüzdürme - batırma deneyleri sonucunda, kömürün -100 + 19 mm aralığındaki kısmının zenginleştirilmesinin çok zor olduğu; ancak -19 + 1 mm boyut grubundaki kömürün ise nisbeten daha kolay zenginleşebileceği belirlenmiştir.

3) -19 + 1 mm boyut grubu kömürün külünün düşük sıcaklık koklaştırması için yüksek olması nedeni ile bu kömür gravite ile zenginleştirmeye tabi tutulmuş ve bu kömürden girene göre %75.78 oranında, %11.49 kül içerikli bir temiz kömür, %79.7 yanabilir verim ile elde edilmiştir.

4) - 50 + 19 mm boyut grubu kömür 400 °C'de 120 dak. süreyle düşük sıcaklık koklaştırmasına tabi tutulduğunda; bu kömürde meydana gelen ağırlık kaybı %35.0 iken -19 + 10 mm boyut grubu için %28.8 ve - 10 + 1 mm boyut grubu için ise %27.2 olmuştur. 700 °C'de, 120 dak. süreyle yapılan deneyde ise ağırlık kaybı iri boyuttan inceye doğru %54.2, %51.4 ve %50.4 olmuştur. 400 °C'de, 120 dak. süreyle yapılan koklaştırma deneylerinde, kömürde meydana gelen ağırlık kaybı değerine, 700 °C'de, 15 dak. sürede ulaşılabilmiştir. Bu değerlerden, düşük sıcaklık koklaştırmasında en önemli parametrenin sıcaklık olduğu sonucuna varılmıştır.

5) - 50 + 19 mm boyut grubu kömürün 400 °C'de, 120 dak. süreyle koklaştırılması sonucu semikokun uçucu madde içeriği %47.82'den %27.82'ye; aynı kömür 700 °C sıcaklıkta 120 dak. süreyle koklaştırıldığında bu değer %9.62'ye inmiştir.

6) 400 °C'de 120 dak. süre ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde -50 + 19 mm boyut grubu için %56.81 sabit karbon içerikli, -19 + 10 mm boyut grubu için %52.11 ve -10 + 1 mm boyut grubu için ise %49,96 sabit karbon içerikli semikok elde edilmiştir. 700 °C'de, 20 dak. süre ile yapılan düşük sıcaklık koklaştırması deneylerinde ise, irisinden incesine doğru sırasıyla %64.01, %61.20 ve %56.84 sabit karbon içerikli semikok ürünler elde edilmiştir.

7) - 50 + 19 mm boyut grubu kömür 400 °C, 20 dak. süreyle düşük sıcaklık koklaştırmasna tabi tutulduğunda, kömürde bulunan kükürt pek uzaklaştırılmaz iken, 120 dak. sürede uzaklaştırılan toplam kükürt miktarı %39.5'e ulaşmıştır. 700 °C'de, 20 dak. süreyle yapılan koklandırmada uzaklaştırılan toplam kükürt miktarı %48.2'ye; 120 dak. sürede ise %69.4'e yükselmiştir. Diğer boyutlarda da bunlara benzer sonuçlar elde edilmiştir.

8) Koklaştırma sırasında sıcaklık ve süreye bağlı olarak, özellikle, iri boyutlarda kömürün boyutu küçülmüştür. -50 + 19 mm boyut grubundaki kömürün 700 °C sıcaklıkta, 120 dak. süreyle koklaştırılması sonucu, semikok ürünün %56.8'i 19 mm altına geçmiştir. Aynı şartlarda, - 10 + 1 mm boyut grubu kömür için yapılan deneyde ise 1 mm altına geçen kömür miktarı %8.0 olmuştur.

9) İstanbul - Yeniköy bölgesi kömürleri için deneylerin yapıldığı ortamda, en iyi koklaştırma sıcaklığı olarak 650 °C seçilmiştir. Sürenin belirlenmesinde kömürdeki katranın tamamen uzaklaştırılması dikkate alınmıştır. Buna göre; -50 + 19 mm boyut grubu için 50 dak., -19 + 10 mm için 56 dak. ve -10 + 1 mm boyut grubu için de 76 dak. koklaştırma süresi olarak saptanmıştır.

10) En iyi koklaştırma koşullarında elde edilen semikokun %16.67 kül, %15.24 uçucu madde, %68.09 sabit karbon, %1.45 toplam kükürt, %0.40 yanabilir kükürt içerdiği, üst ısı değeri ise 6404 Kcal/kg olduğu saptanmıştır. Ayrıca, elde edilen semikokun tutuşma sıcaklığı 321 °C, nokta yük dayanımının ise olmadığı belirlenmiştir.

11) Optimum koşullarda yapılan koklaştırma deneyi sonucunda, kuru baza göre giren kömürün %60.2'sini semikok, %20.3'n gaz ve %19.5'ini de sıvı ürünlerin oluşturduğu tesbit edilmiştir. Ayrıca, sıvı ürünün %45.5'ini ise amonyaklı suyu (bozunma suyu) oluşturduğu belirlenmiştir.

12) Koklaştırma sırasında açığa çıkan katranı, yağlar ve katı maddelerin oluşturduğu belirlenmiştir. Yağların alifatik, aromatik ve polar gruplarını içerdiği; katı kısmın ise asfaltan ve piroasfaltanları içerdiği tesbit edilmiştir.

13) En iyi koşullarda yapılan koklaştırma sırasında kömürden açığa çıkan gazın % 37.1'n  $CH_4$ , %17.3'ini  $CO$ , %15.8'ini  $CO_2$ , %16.8'sini  $H_2$ , %4.7'sini de sülfürlü gazların ( $H_2S$  ve  $SO_2$ ) onuşturduğu belirlenmiştir.

14) Briketleme deneylerinde kullanılan -10 mm boyutundaki semikokun kuru baza göre % 16.47 kl, %15.75 uçucu madde, %67.78 sabit karbon, % 1.42 toplam kükürt, %0.40 yanabilir kükürt içerdiği ve st ısı değerinin 6261 Kcal/kg olduğu tesbit edilmiştir.

15) Briketleme çalışmalarında, tane boyutunun ve presleme yükünün birikete olan etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde en iyi shatter indeksinin (1505) -1 mm boyutlu kömürün 30 ton basınç altında briketlenmesiyle elde edilebileceği belirlenmiştir.

16) Katkı maddesinin, briketlemeye olan etkisini belirlemek amacı ile yapılan deneyler sonucunda, en iyi karışım oranının %12 melas + %3 kireç karışımı olduğu saptanmıştır.

17) Optimum koşullarda elde edilen briketin %19.98 kl, %20.49 uçucu madde, %59.53 sabit karbon, %1.35 toplam kükürt, %0.11 yanabilir kükürt içerdiği ve st ısı değerin 6101 Kcal/kg olduğu saptanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] KURAL O., (Editör) “Kömür” Kutış Matbaası, Şubat (1990)
- [2] ATEŞOK G., “Kömür Hazırlama”, Kurtış Matbaası”, (1986)
- [3] KEMAL M., “Kömür Teknolojisi”, Geliştirilmiş II.Baskı D.E.Ü. Mühendislik Mühendislik Fak., İZMİR, (1987)
- [4] BOYABAT N., “Değişik Gaz Ortamlarında Pirit Minerallerinin Termal Bozunma Kinetiği”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S. 1 - 20, ERZURUM, (1994)
- [5] ÖNAL G., ATEŞOK G., (Editörler) “Kömür Teknolojisi ve Kullanım Semineri”, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, 16 - 18 Ekim, (1991)
- [6] ÖNAL G., ATEŞOK G., (Editörler) “Kömür Teknolojisi ve Kullanım Semineri”, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, 7 - 8 Ekim, (1993)
- [7] ..... “4. Balkan Ülkeleri Cevher Hazırlama Kongresi”, B.7, İSTANBUL 11 - 13 Eylül, (1984)
- [8] ÖNAL G., ALEŞOK G., “Cevher Hazırlama El Kıkabı”, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, Haziran, (1994)
- [9] ..... “Türkiye 2. Madencilik Şurası”, S. 359 - 378, ANKARA 11 - 13 Ekim (1993)
- [10] ..... “2000’li Yıllara Doğru Linyit Sektörümüz Sempozyumu”, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, ANKARA, 14 - 15 Kasım, (1993)
- [11] ..... “III. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Makaleleri”, İSTANBUL, 11 - 13 Eylül, (1990 )
- [12] KEMAL M., “Tunçbilek Kömürünün Metalurjik Kok Üretiminde Kullanılma Olanakları”, Doçentlik Tezi, S. 1 - 22, E. Ü. Makina Fak., İZMİR Eylül, (1990)
- [13] AKGÜN H., KURAL O., EKİNCİ E., “Briqueting of Konya - Ermenet lignite of Turkey”, Fuel Processing Technology, Elsevier Science Publishers B. V., Printed in The Netherlands, (1989)
- [14] ..... “Uluslararası Kömür Teknolojisi Semineri”, B. İTÜ Maden Fak. Maden Müh., İSTANBUL, (1983)

- [15] ÖNAL G., MUSTAFAEV İ., ASMATÜLÜ R., YILDIRIM İ., ACARKAN N., ÇELİK M.S., "Desulphurization of Turkish Lignites to Control Air Pollution" ECOS, ANKARA, Haziran, (1995)
- [16] YILDIRIM İ., "Stripa Ağır Ortam Aygıtı ile Kömürün Zenginleştirilmesi", Yük. Lisans Tezi, S. 10 - 60, İTÜ Fen Bilimleri Ens., Haziran, (1993)
- [17] VON HANE H., "Thermische Veredelung Der Khol Ausnahm Von Kokereine", P. 117 - 128, 75. Jahrgang Heft, Februar/Marz, (1975)
- [18] KURTZ R., "Koksherstellung Aus Braunkohle" P. 352 - 356, KÖLN, (1982)
- [19] VON HERMANN W. "Heibbiikettienrung - Formkokserzeugung Technische Mitteilunge", P. 131 - 137, 75. Jahrgang Heft 2/3, Februar/Marz, (1982)
- [20] BERK H.F., "Türkiye Linyit ve Taşkömürlerinden Metalurjik Kok Üretimi" P. 1 - 29, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık, (1983)
- [21] CİVELEKOĞLU H., AKSOY A., "Sınai Kimyası" İTÜ Kimya - Metalurji Fak., Ofset Atölyesi, İSTANBUL, (1985)
- [22] TEKİN A., EKİNCİ E., "Sulphure in Turkish Lignites and Possible Remedies" Gordon and Breach Science Publishers Inc. Printed in The U.K., (1989)
- [23] LOWARY H.H., "Chemistry of Coal Utalization, Volume I" P. 773- 795. Jhon Wily and Sons Inc., NEV YORK, (1945)
- [24] LOWARY H.H., "Chemistry of Coal Utalization, Volume II", P. 804 - 845. Jhon Wily and Sons Inc., NEV YORK, (1945)
- [25] ..... "Türkiye 9. Kömür Kongresi" TMMOB Maden Müh. Odası Birliği Zonguldak Şubesi, ZONGULDAK, 2 - 5 Mayıs, (1994)
- [26] ÖNAL G., DOĞAN Z., ATAK S., ATEŞOK G., "Kömürün Zenginleştirilmesi ve Lavvar Tesislerinin Çalıştırılması., İTÜ YBYK Uyg - Ar Merkezi, İSTANBUL, (1986)
- [27] MUSTAFAEV İ., "Bağımsız Devletler Topluluğunda Kömür Kullanımı ve Bu Konudaki Teknolojik Araştırmalar", İTÜ Maden Fak. Meslek İçi Eğitim Semineri, (1994)
- [28] ATAK S., "Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması" İTÜ Vakfı, İSTANBUL, (1990)
- [29] ÖNAL G., "Coal Technology Ders Notları",
- [30] ARIOĞLU E., (Editör), "Dünya ve Türkiye'de Özelleştirme" B. 6., (1994)

- [31] ..... "SEGES (Ege Bölgesi Maden Potasyeli ve Değerlendirilmesi"  
İZMİR, (1993)
- [32] ASMATÜLÜ R., ACARKAN N., ÖNAL G., ÇELİK M.S. " Upgrainding of  
Low - Rank Coals By Low Temperature", Technologies For Mineral  
Processing of Refractory Raw Meterials and Environment Protection in  
Areas With Extractive Industry, BALA MARE - ROMANIA,  
17 - 19 May, (1995)
- [33] YÖRÜKER E., "Marmara Linyitleri İşletmesine Ait Toz Kömürlerin  
Kullanılabilme İmkanlarının Araştırılması", Lisans Tezi, İTÜ Maden  
Fak., Şubat, (1994)
- [34] ÜÇÖZ S., "İstanbul - Yeniköy Linyit Kömürlerinden Semikok Elde Etme  
Olanaklarının Araştırılması", Lisans Tezi, İTÜ Maden Fak., (1994)
- [35] EKİNCİ E., OKUTAN H., ATAÜL., YARDIM M. F., "Bir Ağaçlı  
Kömürünün Yanma Açısından Karakterizasyonu", Üçüncü Yanma  
Sempozyumu", BURSA, 19 - 21 Temmuz, (1993)
- [36] ..... "Mil - Ten Haf. Ltd. Şti. ile İstanbul - Yeniköy kömürleri hakkında  
Yapılan Sözlü Görüşmeler"
- [37] ..... " Seyitömer Dumansız Yakıt Tesisleri Hakkında Genel Bir Papor", (1982)
- [38] ..... "TSE . TS.5788/Nisan, UDK 622332
- [39] ..... "International Symposium On Coal - Fired Power Generation,  
The Environment and Public Acceptance" P. 175 - 184  
Ankara - Turkey, May 30 - June 1, (1995)
- [40] ZIMMERMAN, R.E., "Evaluating and Testing The Coking of Coal"  
USA, (1979)
- [41] ..... "STANDART METOT of TUMBELER TEST FOR COAL"  
ASTM Designation D441 - 45, USA, July, (1958)



## **ÖZGEÇMİŞ**

1968 yılında K. Maraş'ın Andırın ilçesinde doğdu. Osmaniye Endüstri Meslek Lisesi Tesviye Bölümünü 1986 yılında bitirdi. İki yıl çalıştıktan sonra, 1988 yılında üniversite sınavını kazanarak üniversite öğrenimine başladı ve 1992 yılında İTÜ Maden Fakültesinden Maden Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İTÜ Fenbilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Cevher Hazırlama Programında yüksek lisans eğitime başladı. Ayrıca, 1994 yılından beri İÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Anabilim Dalında Araş. Gör. olarak çalışmaktadır.



