

TÜRKİYE 6. KÖMÜR KONGRESİ  
The sixth coal congress of TURKEY

ZONGULDAK'TA ÜRETİLMEKTE OLAN TEMİZ KÖMÜR İÇİN  
OPTİMAL KÜL ORANININ SAPTANMASI

THE DETERMINATION OF OPTIMUM ASH CONTENT IN CLEAN COAL  
PRODUCED IN ZONGULDAK

Meulüt KEMAL\*

Orhan SEMERKANT\*\*

Udat ARSLAN\*\*\*

**ÖZET**

Su çalışmada halen Zonguldak'ta üretilmekte olan koklaşabilir taşkömürlerinin optimal bir şekilde değerlendirilebilirlikleri, kömür yıkama ve yüksek fırın şartları da gözönüne alınarak araştırılmış ve sıvı demir üretiminde kullanılacak en uygun külünün tesbitine çalışılmıştır.

**ABSTRACT**

In this study, optimum beneficiated caking coals currently produced in Zonguldak has been investigated by taking into account coal washing and blast furnace conditions.

An attempt has been made to determine the optimum ash content in coke which affects the hot metal production in steel industry.

(\*) Doç.Dr., D.E.Ü. Müh.-Mim. Fak. Maden Müh. Böl., Bornova-İZMİR

(\*\*) Dr., D.E.Ü. Müh.-Mim. Fak. Maden Müh. Böl., Bornova-İZMİR

(\*\*\*) Maden Müh., D.E.Ü. Müh.-Mim. Fak. Maden Müh. Böl., Bornova

## 1. GİRİŞ

Kömür yıkenabilme özelliklerinin tesbiti amacıyla yapılan yüzdürme-batırma testleri, kurulması *planlanan bir* kömür yıkama tesisinin tasarımı için gerekli çalışmaların ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu testler kömürün farklı yoğunluk fraksiyonlarındaki dağılımı hakkında bilgi vermesi yanında, sözkonusu kömürün yıkama işlemine tabi tutulması sonucunda elde edilebilecek ürünlerin miktarları ve kül oranları hakkında kaba bir bilgi vermektedir. Ancak bu bilgiler tamamen teorik olmakta ve uygulamada elde edilebilecek sonuçlarla büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Özellikle tesis *planlama aşamasında, kurulacak* tesiste elde edilmesi düşünülen ürünlerin miktarları ve kül oranlarını yüzdürme-batırma testleri sonuçlarına göre gerçeğe uygun bir biçimde tahmin etmek mümkün olmamaktadır. Halbuki tesiste kullanılması planlanan yıkama cihazlarının ayırma performanslarının bilinmesi halinde, yıkanması düşünülen kömürden elde edilecek ürünlerin ağırlık ve kül oranlarını önceden gerçeğe yakın değerlerde tahmin etmek mümkün olabilmektedir (1).

Kömür yıkama sonuçlarının hesap yoluyla bulunması yöntemi, kurulması planlanan bir yıkama tesisinden elde edilecek yıkama sonuçlarının, gerçeğe yakın bir biçimde verebilmesi yanında; kurulu bulunan bir yıkama tesisinde yıkama cihazlarına ait ayırma sınır yoğunluklarının değiştirilmesi durumunda elde edilecek ürünlerin miktar ve kül oranlarını tahmin edebilme imkanını sağlamaktadır. Ancak burada ayırma sınır yoğunluğu değişiminin alet performansını etkilemediğini kabul ederek, belirli bir hatanın önceden kabullenildiğini belirtmek gerekir. Bilindiği gibi, demir-çelik endüstrisinin önemli girdilerinden birisi olan kok, koklaşır taşkömüründen üretilmektedir. Ülkemizde koklaşır taşkömürü sadece Zonguldak havzasında çıkarılmaktadır ve mevcut üretim miktarı, demir-çelik endüstrisinin gereksinimini karşılayamamaktadır. Diğer taraftan, kömür (tüvenan) ocaktan çıkarıldıktan sonra yıkanmaya tabi tutulmakta ve kül oranı düşürülmektedir. Ancak bu işlem esnasında bir kısım kömür, atılmakta veya başka alanlarda kullanılır ürün haline gelmekte, yani metalürji sanayi dışına çıkmaktadır. Bunun yanında, yüksek fırında özgül kok sarfiyatı, kullanılan kokun kül oranı ile değişmekte ve her % 1 kül artışı için özgül kok sarfiyatında % 2 nin üzerinde bir artış olmaktadır (2). Kanu bu şekilde basite indirgenerek ele alındığında, her kömür yatağı için yıkanmış kömürde optimal bir kül oranının olacağı ortaya

çıkılmaktadır. Optimal kül oranında yıkanan kömürde ise, en fazla sıvı demir üretimi sbz konusu olacaktır. Yükselen kok kül oranı ile yüksek fırın kapasitesi (verimi) düştüğü gibi üretilen birim sıvı demir maliyetinin de arttığı ve metalurjistler için asıl gayenin kok kül oranını düşürerek masrafları azaltmak olduğu bilinmekle beraber, yerli kömürle en fazla sıvı demir üretimini sağlayan kömür kül oranını görmek açısından, bu çalışmanın yararlı olacağı düşünülmüştür.

Bu çalışmada, önce merkez lavvarında halen çalışmakta olan kömür yıkama cihazlarının performans değerlerinden yararlanarak, farklı kül oranlarında temiz kömür elde edilmesi durumu incelenmiştir. Daha sonra elde edilen söz konusu temiz kömürlerin koklaştırılarak yüksek fırında kullanılmaları halinde, birim ton tüvenan kömür başına üretilebilecek, sıvı demir miktarları tesbit edilmiş ve Zonguldak kömürünün optimal yıkama derecesi irdelenmeye çalışılmıştır.

## **2. KÖMÜR YIKAMA SONUÇLARININ HESAP YOLUYLA BULUNMASI**

Kömür yıkama cihazlarının ayırma hassasiyetleri,

- Cihazın karakteri ve çalışma şartları,
- Ayırma ortamı,
- Cihaza beslenen kömürün tBne iriliği, tane dağılımı ve tane şekli,
- Besleme miktarı,

gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir (1, 3).

Ancak cihaza beslenen kömürün yoğunluk fraksiyonları dağılımı, aynı cihazda ve aynı çalışma şartlarında, cihazın ayırma hassasiyetini etkilememektedir. Bu özellikten istifade edilerek, ayırma hassasiyeti değerleri bilinen bir yıkama ünitesinde yıkanması planlanan yeni bir kömürden elde edilebilecek ürünlerin ağırlıkça verimlerini ve kül oranlarını hesaplamak mümkün olmaktadır (1). Bu tür hesaplama için, Öncelikle yıkama ünitesine ait ayırma faktörü (performans) değerlerinin bilinmesi ve ayrıca yıkanması planlanan kömürün yoğunluk dağılımının tesbit edilmesi gerekmektedir. Aşağıda Zonguldak kömürü ile yapılan örnek bir hesaplama verilmektedir.

Çizelge 1. Ayırma faktörü değerlen yardımıyla, yeni bir kömür için, konsantre verim ve kül oranının hesaplanması

| BESLENEN K UMUR     |                |       |                                       | /ogunluk Farkı<br>A - d 50 | YIKANMIŞ HOMUR     |                                    |                      |  |
|---------------------|----------------|-------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------|--|
| Yoğunluk<br>(g/cm ) | Ağırlık<br>(90 | Kül   | Bes.Malı<br>Külü<br>(%)<br>IB.C<br>ZB |                            | Dağılım<br>Faktörü | Bes.Mal.<br>gare Ağ.<br>(%)<br>B.F | Kül<br>Faktörü<br>CG | Yık.Köm.<br>Kulu<br>(%)<br>7, H<br>Z G |
| A                   | B              | 0     | D                                     | E                          | F                  | G                                  | H                    | I                                      |
| 1.45 Y              | 31.D4          | 7.59  |                                       | -0.09                      | 76.0               | 23.59                              | 1.79                 |  |
| 1.45 - 1.60         | 3.35           | 27.48 |                                       | +0.08                      | 31.0               | 1.04                               | D.29                 |  |
| 1.6D - 1.75         | 2.32           | 40.51 |                                       | +0.23                      | 8.1                | 0.19                               | 0.08                 |  |
| 1.75 - 1.90         | 2.26           | 50.43 |                                       | +0.38                      | 0.0                | 0.00                               | 0.00                 |  |
| 1.90 B              | 61.03          | 90.72 |                                       | +0.60                      | 0.0                | 0.00                               | 0.00                 |  |
|                     | 100.OD         |       | 60.72                                 |                            |                    | 24.82                              | 2.16                 | 8.70                                   |

Çizelgeden de görüldüğü gibi yıkanması planlanan kömür, yüzdürme-batırma testlerine tabi tutularak, yoğunluk dağılımı ve her yoğunluk fraksiyonundaki malzemenin miktar ve kül oranları tesbit edilmiştir. Bu değerler Çizelgenin B ve 0 sütunlarında yer almaktadır. D sütununda ise kümülatif yüzen malda kül oranı, başka bir deyişle yıkanması planlanan kömürün kül oranı verilmiştir. İlgili Çizelgenin E sütununda fraksiyon ortalama yoğunluklarının, bu örnekte 1.45 gr/cm olarak alman cihaza ait ayırma sınır yoğunluğu ile farkları hesaplanmıştır. F sütunundB ise söz konusu cihaza ait ve E sütunundaki yoğunluk farkıBınB tekabül eden ayırma faktörleri verilmiştir. Bu değerler yıkama ünitesine ait tromp eğrisinden elde edilmiştir. G sütunu yıkanması planlanan kömüre ait her bir yoğunluk fraksiyonundaki malzemenin, söz konusu cihazla yıkanması halinde, elde edilecek temiz kömüre geçebilecek miktarlarını ifade etmektedir. Bu sütundaki değerlerin toplamı, elde edilebilecek temiz kömür miktarını göstermektedir. H sütunundaki değerler, temiz kömürün her bir yoğunluk fraksiyonundaki kül içeriklerini vermektedir. Bu sütundaki değerlerin toplamı temiz kömürün kül içeriğini vermektedir. Bu durumda temiz kömürün ortalama kül Dram, toplam kül içeriğinin, toplam temiz kömür miktarına bölünmesiyle elde edilir (Bak I sütunu).

### 3. ZONGULDAK MERKEZ LAVVARINDAKİ CİHAZLARLA FARKLI AYIRMA SINIR YOĞUNLUKLARINDA ELDE EDİLEBİLECEK TEMİZ KÖMÜR AĞIRLIK VE KÜL ORANLARININ HESAPLANMASI

Zonguldak merkez lavvarında halen kullanılmakta olan yıkama cihazlarına ait performans değerleri kullanılarak, her bir cihaz için farklı ayırma sınır yoğunluklarında elde edilebilecek temiz kömürlerin ağırlık ve kül oranlarının hesaplanması için mevcut akım şeması basite indirgenmiş ve aşağıdaki kabuller yapılmıştır (it).

- Tesis, 1QÜ0 t/gün kapasitelidir.
- Yıkama işlemi, halen Zonguldak lavvarında kurulu Baum Jigi, Ağır Ortam Siklonu, Acca Jigi ve Flotasyon ünitelerinde yapılacaktır.
- Yıkama ünitelerine ait performans değerleri, mevcut yıkama sonuçları ve literatürden yararlanılarak hesaplanmıştır.
- Söz konusu cihazlarda yıkanacak elan tüvenan kömür tane iriliği, kül oranları ve cihazların yıkama kapasiteleri aşağıdaki şekilde kabul edilmiştir.

|                    | Tüvenan Kömür<br>Tane İriliği<br>(mm) | Külü<br>% | Yıkama Kapasitesi<br>t/h |
|--------------------|---------------------------------------|-----------|--------------------------|
| Baum Jigi          | 100 - 6                               | 61.1B     | ^0                       |
| Ağır Ortam Siklonu | 1B - 0.5                              | 5D.30     | 15B                      |
| Acca Jigi          | 6 - 0.5                               | 45.65     | 197                      |
| Flotasyon Ünitesi  | 0.5 - 0.Ü                             | 46.36     | 2D5                      |

Ayrıca tesiste halen çalışmakta olan cihazların performans değerleri hesaplanmış, tromp dağılım eğrileri çizilerek ayırma sınır yoğunlukları tesbit edilmiştir. Yıkama ünitelerinin yoğunluk fraksiyonlarına göre ayırma faktörleri ile ayırma sınır yoğunlukları Çizelge 2 de verilmektedir (Çizelgede verilen cihazların dışında flotasyon ünitesi için temiz kömür külü % 11 ve ağırlıkça kömür yıkama verimi % 3B.46 Dierak alınmıştır).

İlgili çizelge öncelendiğinde, BBUTTI Jigi performansının çok düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun, akım şemasını basitleştirmek için, Baum jiginden çıkan ara ürünün ikinci bir yıkama işlemine tabi tutulma-

sının gözardı edilmesi yanında, Baum Jigi performansının bizzat düşük olmasından da ileri geldiğini söylemek mümkündür.

Çizelge 2. Zonguldak merkez lavvarındaki cihazlara ait performans değerleri

| Yoğunluk<br>gr/cm        | Saum Jigi         |              | Ağır Or.Siklonu   |              | Acca Jigi        |              |
|--------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|------------------|--------------|
|                          | Yoğ.Fas.<br>gr/cm | Ay.Fak.<br>% | Yoğ.Fac.<br>gr/cm | Ay.Fak.<br>% | Yağ.Fas<br>gr/cm | Ay.Fak.<br>% |
| - 1.+5 Y                 | -0.365            | <b>sk.en</b> | -0.195            | 99.70        | -0.205           | 96.20        |
| 1.+5 - 1.6D              | -0.195            | 36.52        | -0.025            | 72.50        | -0.033           | 62.6+        |
| 1.60 - 1.75              | -0.0^5            | 61.31        | +0.125            | if.OD        | +0.115           | 23.99        |
| 1.75 - 1.90              | +0.105            | 22.62        | +0.275            | a.OO         | +Q.265           | 7.32         |
| 1.90 0                   | +0.33             | 1.13         | +0.5              | 0.00         | +0.+9            | 0.80         |
| d <sub>5</sub> g (g/cm ) |                   | 1.72         |                   | 1.55         |                  | 1.56         |
| Temiz kömür külü (9)     |                   | 11.55        |                   | 9.83         |                  | 9.87         |

Hesaplamlarda, tesiste çalışmakta dan yıkama cihazlarının hangi ayırma sınır yoğunlukları kombinasyonlarında çalışmaları gerektiğini saptamak amacıyla,flotasyön Ünitesinin çalışma şartları sabit alınmıştır. Hesaplama yapılırken, tüm cihazlara, kömürün tüv/enan olarak beslendiği varsayılmış ve Çizelge 3 de verilen Zonguldak kömürü yoğunluk analizlerinden yararlanılmıştır.

Çizelge 3. Yıkama aygıtlarına girecek tüvenan kömürlerin yoğunluk analizleri

| Yoğunluk<br>gr/cm | 100 - 6 mm |        | 1B-D 5 mm |        | 6-0 5 mm |        |
|-------------------|------------|--------|-----------|--------|----------|--------|
|                   | % Ağ       | % Kül  | % Ağ      | % Kül  | % Ağ     | % Kül  |
| - 1.^5 Y          | 17.66      | B.66   | 37.96     | 7.99   | +2.62    | 7.51   |
| 1.+5 - 1.60       | 2.76       | 2<*.96 | 5.31      | 25.65  | 5.61     | 25.t*5 |
| 1.6D - 1.75       | 1.+9       | 37.06  | 3.0t.     | 39.19  | 3.25     | 39.3+  |
| 1.75 - 1.90       | 1.DD       | 50.2+  | 2.16      | 50. D1 | 2.30     | 5Ü. 0+ |
| 1.90 B            | 77. D9     | 8+.71  | 51.53     | 85.61  | +6.02    | 83.7+  |
| Toplam            | 100.Ü0     | 63.56  | 100.00    | 50.78  | 100.00   | +5.65  |

Çizelge 3 de verilen yoğunluk analizleri yardımıyla Ağır Ortam Siklonu, Baum Oıgı ve Acco Jlgi için 1.03 gr/cm<sup>3</sup> den, 1.90 gr/cm e kadar Ü.D5 gr/cm<sup>3</sup> aralıklarla, farklı ayırma sınır yoğunluklarında yıkama yapılması durumunda, elde edilebilecek temiz kömür miktarları ve yüzde kül oranları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamaların sonuçları Çizelge 4 de verilmektedir. İlgili çizelge incelendiğinde, ayırma sınır yoğunluğunun artışına bağlı olarak temiz kömür miktarları ve % kül oranlarının arttığı görülmektedir. Ancak bu artışlar her cihaza giren tüvenan kömürlerin yoğunluk fraksiyonu dağılımlarına ve cihazın performans karakterine bağlı olarak, farklılıklar göstermektedir. Belirli bir kül oranına sahip temiz kömür elde edilmek istendiğinde, cihazların hangi ayırma sınır yoğunlukları kombinasyonunda çalıştırılması gerektiğini, tesbit etmek gerekmektedir.

Bu amaçla, bilgisayar yardımıyla, her cihazın farklı ayırma sınır yoğunlukları kombinasyonlarında elde edilebilecek temiz kömür kül oranları ve ağırlıkça yıkama verimleri hesaplanmıştır. Örneğin % 11 küllü temiz kömür üretilmek istendiğinde uygulanması istenen ayırma sınır yoğunluklarının değişik kombinasyonlarında elde edilebilecek ağırlıkça yıkama verimleri hesaplanarak, sonuçları Çizelge 5 de verilmiştir.

Çizelge 4. Yıkama cihazlarının belirli ayırma sınır yoğunluklarında temiz kömür verimi ve kül oranı değerleri

| Ayırma Sınır<br>Yoğunluğu<br>(Cgr/cm <sup>3</sup> ) | T e m i z K ö m ü r |       |         |         |           |       |
|---|---------------------|-------|---------|---------|-----------|-------|
|   | Baum Jigi           |       | Ağ. Or. | Siklonu | Acco Jigi |       |
|   | % Ağ                | % hül | % Ağ    | % Hül   | % Ağ      | % hül |
| 1.4G  | 11.93               | 9.14  | 27.87   | B.07    | 29.17     | 8.33  |
| 1.45  | 13.89               | 9.72  | 34.36   | 8.27    | 35.35     | 8.85  |
| 1.50  | 15.86               | 10.15 | 38.35   | 8.87    | 40.39     | 9.04  |
| 1.55  | 16.37               | 10.75 | 41.60   | 9.57    | 44.21     | 9.50  |
| 1.60  | 18.31               | 11.31 | 42.73   | 10.06   | 47.21     | 10.72 |
| 1.65  | 19.91               | 14.46 | 44.06   | 10.80   | 49.78     | 11.87 |
| 1.70  | 20.85               | 15.15 | 45.47   | 11.50   | 51.66     | 12.95 |
| 1.75  | 21.90               | 16.44 | 45.99   | 11.92   | 53.65     | 14.63 |
| 1.80  | 24.53               | 21.97 | 46.90   | 12.58   | 56.05     | 17.18 |
| 1.85  | 27.80               | 29.17 | 48.12   | 13.92   | 58.48     | 19.53 |
| 1.90  | 43.19               | 35.19 | 49.11   | 14.97   | 60.80     | 22.20 |

Çizelge 5. % 11 küllü temiz kömür üretiminde farklı kombinasyonlarda elde edilebilecek ağırlıkça yıkama verimleri

| <u>Yıkama Ünitesi Ayırma Sınır Yoğunluğu</u> |                  |                  | Temiz Kömür |              |
|--|------------------|------------------|-------------|--------------|
| <u>Ağır Ort.Siklonu</u>                      | <u>Baum Jığı</u> | <u>Acco Jığı</u> | <u>% Ağ</u> | <u>% Kül</u> |
| 1.40   | 1.65             | 1.40             | 26.795      | 11.0B        |
| 1.45   | 1.65             | 1.4G             | 27.820      | 11.Ü1        |
| 1.50   | 1.65             | 1.4G             | 28.450      | 11.Ü7        |
| 1.85   | 1.4G             | 1.55             | 29.446      | 10.98        |
| 1.45   | 1.65             | 1.5G             | 30.030      | 10.99        |
| ;L7D   | 1.45             | 1.65             | 3D.967      | 11.14        |

Çizelge 5 de sonuçları verilen hesaplamalar yapılırken, her kombinasyon için, flotasyon ünitesinden % 11 küllü temiz kömürün % 38.46 ağırlıkça yıkama verimiyle elde edildiği kabul edilmiş ve söz konusu kül ve verim değerleri sabit alınmıştır. İlgili çizelgeden de görüleceği gibi mevcut yıkama ünitelerinin farklı ayırma sınır yoğunlukları kombinasyonunda elde edilecek temiz kömür ağırlıkça yıkama verimi yaklaşık % 27 ile % 31 arasında değişmektedir. Bu durumda yıkama ünitelerinin sadece ayırma sınır yoğunluklarında yapılacak değişimlerle % 11 küllü temiz kömür için yıkama veriminde % 4 lük bir artış sağlanabileceği ortaya çıkmaktadır.

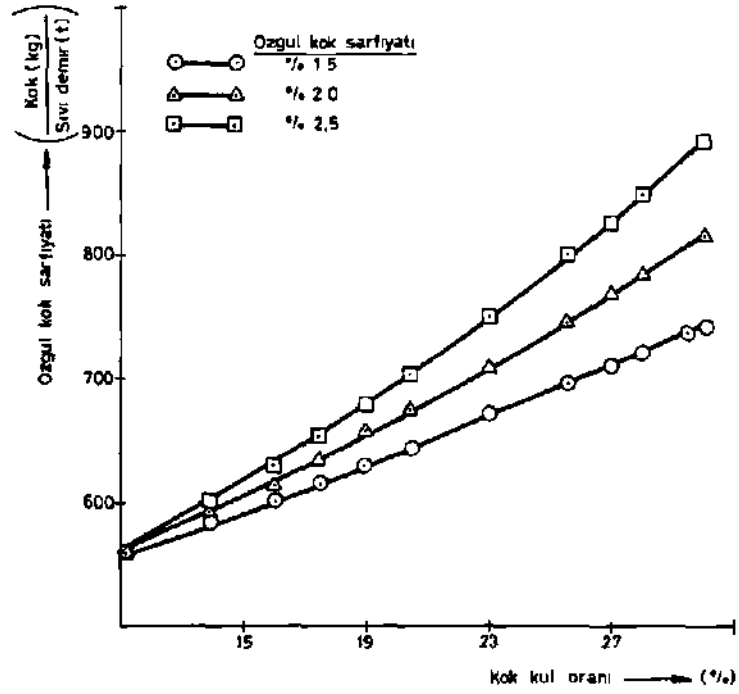
Sonuç olarak yıkama ünitelerine ait ayırma sınır yoğunluklarının optimal bir biçimde seçiminin tesis yıkama verimini büyük ölçüde etkilediğini söylemek mümkündür.

#### it. HESAP YOLUYLA BULUNAN YIKAMA SONUÇLARINDAN SIVI DEMİR ÜRETİMİ İÇİN OPTIMAL KOK KÜLÜ ORANININ TESBİTİ

Yüksek fırında sıvı demir üretimi için kullanılan kokun mümkün olduğu kadar düşük kül oranına sahip olması arzu edilir. Kok kül oranı arttıkça yüksek fırında üretilen sıvı demir miktarı düşmekte dolayısıyla özgül kok sarfiyatı (kg kok/ton sıvı metal) artmaktadır. Literatürde, kok külündeki her % 1 artışa karşılık, özgül kok sarfiyatında % 1.5-3.G arasında bir artış meydana geldiği belirtilmektedir. Kok sarfiyatının artması aynı zamanda yüksek fırın verimini düşürerek işletme maliyetini de arttırmaktadır (2, 5).



İskenderun Demir-Çelik İşletmelerinde % 8.26 kül içeren kömürden koklaştırma sonucunda elde edilen % 11.19 küllü kokun kullanılmasıyla 1 ton sıvı demir için 560 kg kok sarf edilmektedir ( 6 ). İskenderun Demir-Çelik için verilen bu değerlerden yola çıkarak, Zonguldak kömüründen elde edilen kok külünün % 1 artışına karşılık, Özgül kok sarfiyatındaki % 1.5, % 2 ve % 2.5 oranındaki artışlara bağlı olarak, bir ton sıvı demir için tüketilecek kok miktarındaki değişimler hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 1 de grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 1. Kok kül oranındaki % 1 artışa karşılık Özgül kok sarfiyatında % 1.5, % 2 ve % 2.5 oranındaki artışlar durumunda, kok külüyle, Özgül kok sarfiyatı arasındaki ilişki

Şekilde, kok kül oranındaki % 1 lik artışa karşılık özgül kok sarfiyatındaki % 1.5 luk artışı gösteren eğri incelendiğinde, % 11.19 kok kül oranında 560 kg olan özgül kok sarfiyatının % 25 kok kül oranında 732 kg'a

Çizelge fa. Zonguldak lawanndaki mevcut yıkama ünitelerinin farklı ayırma sınır yoğunlukları kombinasyonlarında elde edilebilecek temiz kömür ve bu kömürden üretilecek koka ait randıman, kül ve ağırlıkça verim değerleri

| Ayırma Sınır Yoğunluğu<br>(g/cm ) |              |              | Temiz Kömür |       |       | Kok         |          |
|-----------------------------------|--------------|--------------|-------------|-------|-------|-------------|----------|
| Ağ.Ort.<br>Siklonu                | Baum<br>Jigi | Accc<br>Jigi | % Ağ        | % kül | % R   | <b>% mı</b> | % Ağırlı |
| 1.45                              | 1.40         | 1.40         | 24.3        | 9.3   | 74.0  | 12.6        | 18.0     |
| 1.45                              | 1.45         | 1.50         | 27.3        | 9.6   | 74.1  | 12.9        | 20.3     |
| 1.55                              | 1.50         | 1.60         | 30.7        | 10.4  | 74.3  | 14.0        | 22.B     |
| 1.65                              | 1.55         | 1.65         | 31.B        | 11.1  | 74.4  | 14.9        | 23.7     |
| 1.55                              | 1.60         | 1.75         | 33.0        | 11.9  | 74.6  | 16.0        | 24.7     |
| 1.65                              | 1.75         | 1.65         | 34.2        | 12.7  | 74.8  | 17.0        | 25.7     |
| 1.BD                              | 1.70         | 1.75         | 35.0        | 13.5  | 75.0  | 1B.D        | 26.3     |
| 1.80                              | 1.70         | 1.80         | 35.5        | 14.3  | 75.1  | 19.0        | 26.7     |
| 1.90                              | 1.80         | 1.60         | 35.7        | 15.1  | 75.3  | 2D.D        | 26.9     |
| 1.B5                              | 1.80         | 1.75         | 36.B        | 15.8  | 75.5  | 2D.9        | 27.B     |
| 1.55                              | 1.BG         | 1.B5         | 36.7        | 16.6  | 75.7  | 21.9        | 27.B     |
| 1.65                              | 1.85         | 1.70         | 37.2        | 17.4  | 75.8  | 23.0        | 28.3     |
| 1.85                              | 1.80         | 1.90         | 38.2        | 18.1  | 76. D | 23.9        | 29.1     |
| 1.B5                              | 1.85         | 1.80         | 3B.7        | 19.0  | 76.2  | 25.0        | 29.6     |
| 1.9G                              | 1.85         | 1.85         | 39.3        | 19.9  | 76.4  | 26.0        | 30,1     |
| 1.90                              | 1.85         | 1.9D         | 39.B        | 20.7  | 76.6  | 27.D        | 30.5     |
| 1.50                              | 1.90         | 1.60         | 42.2        | 21.5  | 76.8  | 28.0        | 32.4     |
| 1.B0                              | 1.90         | 1.75         | 44.B        | 22.3  | 76.9  | 29.0        | 34.5     |
| 1.55                              | 1.90         | 1.B5         | 44.9        | 23.1  | 77.1  | 30.0        | 34.7     |
| 1.70                              | 1.90         | 1.9D         | 46.0        | 27.9  | 77.3  | 30.9        | 35.6     |

Çizelgeden de görüldüğü gibi temiz kömür külündeki artış kok külünün artmasına neden almakta, ayrıca temiz kömür yıkama veriminin artışına bağlı olarak elde edilecek kok miktarı da artmaktadır.

Halbuki yüksek küllü kok sıvı demir üretimindeki özgül kok sarfiyatını arttırmaktadır. Bu durumda kak külüne bağlı olarak özgül kok sarfiyatının değişimini inceleme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Daha Önce belirtildiği üzere, kok külündeki her % 1 artış, özgül kok sarfiyatında % 1.5-3.0 arasında değişen artışlar meydana getirmektedir.

Teknolojik nedenlerle kak üretiminde kullanılan kömürün kül oranının, kömür kaybı nedeniyle, belirli bir oranın altına düşürülemediği tüm ülkelerde ekonomik bir kak kül oranının oluşturulmasına neden olmuştur. Örneğin sanayileşmiş ülkelerde bu oran % 10 un altında iken, Hindistan gibi iyi kaklaşabilen kömür rezervi az olan ülkelerde % 23-25 e kadar yükselmektedir (2).

Her ülkenin kendi kömür rezervleri, kömür kaliteleri ve yüksek fırın işletme şartlarına göre ekonomik bir kak kül oranı tesbit edilmesi zorunlu hale gelmektedir.

#### **U.1. Kok Külü Artışının Özgül Kok Sarfiyatına Etkisi**

Çalışmanın bu aşamasında Zonguldak kömürü için, hesaplama yoluyla bulunan yıkama sonuçlarından yararlanarak, kok külü değişiminin sıvı demir üretiminde meydana getireceği değişimler, literatürde verilen bazı değerler yardımıyla tesbit edilmeye çalışılmıştır.

Hesaplamalar esnasında Zonguldak kömürü için aşağıdaki hususlar dikkate alınmıştır.

- Uçucu madde oranı : % *yi.hB*
- Özgül kok sarfiyatı (% 11.19 kok külü için) : 5SD kg kak/ton sıvı demir (6) .
- Temiz kömürden elde edilecek kok miktarının tesbitinde literatürde verilen aşağıdaki formülden yararlanılmıştır (2) .

$$KDK \text{ miktarı } (\%) = 0.69 (FC + A) + 25.4$$

FC : Sabit karbon

A : Temiz kömür külü

Yukarıdaki veriler yardımıyla yıkama ünitelerinin farklı ayırma sınırlarındaki kombinasyonlarında (belirli bir külde en yüksek yıkama verimini sağlayan kombinasyonlarda) tesiste üretilecek temiz kömür kül oranı ve ağırlıkça yıkama verimleri, ayrıca söz konusu temiz kömürden elde edilebilecek kok kül oranları ve miktarları hesaplanmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak Çizelge 6 da verilmektedir.

yükseldiği görülmektedir. Yine % 29 değerindeki kok kül oranında, Özgül kok sarfiyatının % 2 ve % 2.5 luk artışlarında 1 tun sıvı demir için gerekli kak miktarı sırasıyla BDO kg ve 670 kg a kadar yükselmektedir.

#### **K.Z. Sıvı Demir Üretimi Açısından Zonguldak Kömürü Optimal Kül Oranı**

Çalışmanın buraya kadar olan kısmında, Zonguldak kömürünün değişik kül oranlarında yıkanmasıyla elde edilecek temiz kömür verimi, dolayısıyla temiz kömür miktarı ve temiz kömürün koklaştırılmasıyla elde edilecek kokum miktar ve kül oranları saptanmıştır. Ayrıca, kok kül oranı artışıyla, yüksek fırında özgül kok sarfiyatında meydana gelecek artış, üç ayrı artış oranına göre hesaplanmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde ise, en fazla sıvı demir üretimini mümkün kılan Zonguldak kömürü kül oranı ve buna paralel olarak, yüksek fırın kapasitesinde meydana gelecek düşme saptanmıştır. Burada yapılan hesaplamalarda şu kabuller yapılmıştır:

- İskenderun Demir-Çelik İşletmelerindeki özgül kak tüketimi baz alınmıştır. Burada % 11.19 kül içeren koktan bir ton sıvı demir üretimi için 56D kg kullanılmaktadır

- Kok külündeki % 1 artışa karşılık özgül kok sarfiyatı % 2.5 oranında artmaktadır

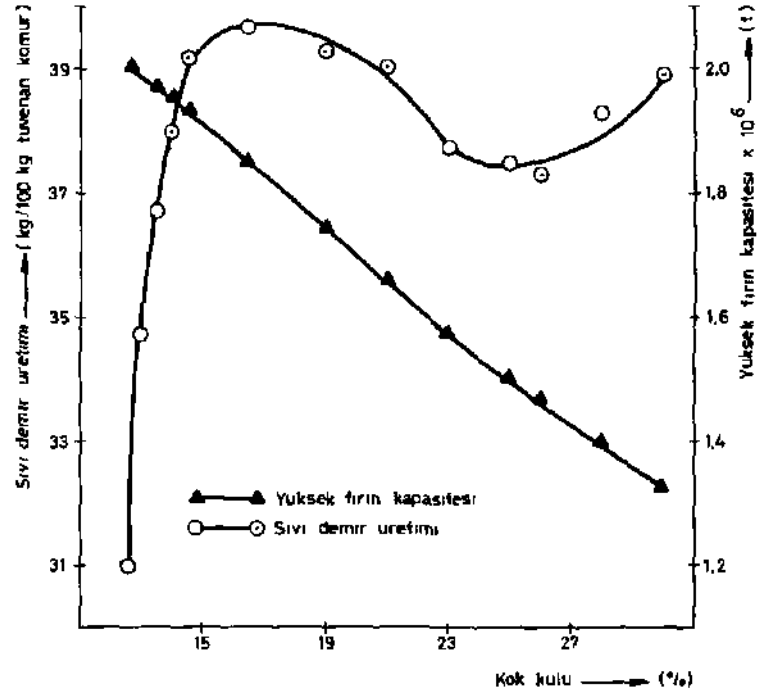
- Yüksek fırın kapasitesi kok külünün % 1 artışına karşılık % 2.k azalmaktadır

- İskenderun Demir-Çeliğin yüksek fırın kapasitesi, % 11.19 küllü kok kullanıldığında, 2 100 000 t/yıl olmaktadır.

Yapılan hesaplamaların sonuçları Şekil 2 de grafiksel olarak verilmektedir.

Şekil incelendiğinde, kok külünün yaklaşık % 12 den % 16 ya artmasıyla, 1D0 kg Zonguldak tüvenan kömüründen elde edilecek kokla üretilen sıvı demir miktarı 31 kg dan yaklaşık 39.5 kg a yükselmektedir. Kak kül oranı % 16 nın üzerine çıktığında ise, birim tüvenan Zonguldak kömürü ile üretilen sıvı demir miktarı, önce azalmakta ve % 30 kül oranında tekrar 39 kg a çıkmaktadır. Burada esas olan, mümkün olduğunca düşük küllü kömür kullanmak ve aynı zamanda birim tüvenan kömür başına fazla miktarda sıvı demir üretmektir. Sonuç bu açıdan değerlendirildiğinde, Zonguldak kömürünün, % 11.95 kül oranına yıkanması gerek-

tigi ortaya çıkmaktadır. Ancak bir hususu burada vurgulamakta fayda vardır. Bu çalışmada, Zonguldak kömürünün yıkandığı ünitelerin ve özellikle Baum Jigının performans değerleri oldukça düşük alınmıştır.



Şekil 2. hDk külü ile sıvı demir üretimi ve yüksek fırın kapasitesi arasındaki ilişki

Ayrıca, Baum Jigi, ara ürününün tekrar yıkanmadığı varsayılmıştır. Yıkama ünitelerinin performansları yükseldiğinde ve ara üründen elde edilen temiz kömür de hesaba dahil edildiğinde yıkama verimi artacak ve Zonguldak kömürü optimal kül oranı daha da düşecektir.

Diğer taraftan yükselen kDk kül oranına paralel olarak, yüksek fırın kapasitesinde devamlı düşme meydana gelmektedir (Bak Şekil 2). Örneğin iskenderun Demir-Çelik fabrikaları için yukarıda yapılan kabuller dahilinde hesap yapıldığında, aşağıdaki değerler elde edilmektedir.

| Tüvenan<br>Kömür<br>(t/yıl) | Temiz hamur<br>(t/yıl) | Kül<br>(% Kül) | Kük<br>(t/yıl) | (% Kül) | Sıvı Demir<br>Üretimi<br>(t/yıl) | Vük.Fırın<br>Kapasitesi<br>(t/yıl) |
|-----------------------------|------------------------|----------------|----------------|---------|----------------------------------|------------------------------------|
| 4 773 71D                   | 1 579 143              | 11.95          | 1 170 998      | 16.DG   | 1 869 037                        | 1 869 037                          |
| 4 773 71D                   | 1 160 489              | 9.36           | 859 690        | 12.63   | 1 481 713                        | 2 027 956                          |

Bu değerlere göre. iskenderun Demir-Çelik fabrikalarında 1 869 037 ton sıvı demir üretimi için 4 773 710 ton tüvenan kömürün yıkanması ile elde edilecek % 11.95 küllü, 1 579 143 ton yıkanmış Zonguldak kömürüne gereksinim vardır. Yine aynı miktar tüvenan kömürden elde edilecek olan % 9.36 küllü yıkanmış Zonguldak kömürüyle ise, bu tesislerdeki sıvı demir üretimi 1 481 713 ton olacaktır. Böylece, sıvı demir üretimi 387 324 ton azalacak, ancak kullanılan külün azalmasına bağlı olarak, yüksek fırın kullanım kapasitesi 2 027 956 ton a yükselecektir.

Bu durumda aşağıdaki alternatiflerden birinin, ekonomik analizler yapılarak, tercih edilmesi gerekmektedir.

- Yüksek fırın kullanım kapasitesinin 15B 919 ton kadar azalmasına karşın, öz kaynakların daha fazla kullanımı söz konusu olacak; ancak meydana gelen kapasite düşüşü nedeniyle pik demir ithali gerekecektir.

- Düşük küllü (% 9.36) kömür kullanıldığı takdirde, sıvı demir üretiminde meydana gelecek 387 324 ton luk açığı kapatmak için 327 249 ton, ayrıca yüksek fırın kullanım kapasitesinde doğacak 158 919 ton luk kapasite artışını karşılamak için 134 27D ton olmak üzere toplam 456 519 ton % 9.36 küllü kömür ithali gerekecektir.

##### 5. SONUÇLAR

Zonguldak kömürü değişik kül oranlarına yıkandığında elde edilecek temiz kömür verimini ve yüksek fırında birim tüvenan kömür için en fazla sıvı demir üretimini mümkün kılacak temiz kömür kül oranını, yani Zonguldak kömürü optimal kül oranını saptamak amacıyla yapılan bu çalışma sonunda şu hususlar ortaya çıkmıştır:

- Zonguldak kömürü, düşük kül oranına yıkandığında, yıkama verimi çok düşüktür. Temiz kömür kül oranı arttıkça beklendiği gibi verim artmaktadır. Kül oranının % 9.3 den % 12.7'ye yükselmesi halinde temiz kö-

mür yıkama verimi % 2H.3 den % 3<sup>^</sup>.2'ye ulaşarak, yaklaşık % 1G luk bir artış sağlanmaktadır. Ancak verim artış hızı, 12.7 kül değerinden itibaren yavaşlamakta ve % 1D luk bir verim artışı için yaklaşık % 1D luk bir kül artışı gerekmektedir. Bu durumda % 12.7 lik kül değeri, temiz kömürde verim artış hızının maksimumuna ulaştığı değer olmaktadır.

- Belirli kabuller çerçevesinde yapılan hesaplar sonunda, birim tüvenan kömür başına en fazla sıvı demir elde edilebilmesi için, Zonguldak kömürünün % 11.95 kül oranına yıkanması gerektiği saptanmıştır. Ancak, yıkama ünitelerinin performansları iyileştirildiğinde ve Baum Jığı ara ürününün yıkanma sonuçları da hesaba katıldığında, bu kül oranı biraz daha düşecektir.

- Yine bu çalışmada yapılan kabuller çerçevesinde, iskenderun Demir-Çelik fabrikalarında % 11.95 ve % 9.3G kül oranlarına yıkanmış Zonguldak kömürü kullanıldığında, düşük kül oranında, yıkama verimindeki azalma nedeniyle; aynı tüvenan kömür miktarı ile % 11.95 küllü temiz kömüre göre 387 **3ZU** ton daha az sıvı demir üretilebilecektir. Ancak bu durumda yüksek fırın kapasitesinde 158 919 ton/yıl sıvı demir üretim kapasitesi artışı olacağı saptanmaktadır. Düşük küllü kömürle elde edilen sıvı demir miktarını, % 11.95 küllü kömürle elde edilenin seviyesine çıkarabilmek için ise, 327 **Zk3** ton % 9.36 küllü ilave kömür temin edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Bazı basitleştirici kabuller çerçevesinde yapılan bu çalışma göstermektedir ki, Zonguldak kömürünün yıkanacağı optimal bir kül oranı vardır. Çeşitli faktörlere bağlı olan bu optimal kül oranı, kömür ve demir-çelik işletmelerinde yapılacak daha ayrıntılı bir çalışma ile kesin olarak ortaya çıkabilecektir.

#### KAYNAKLAR

1. Coal Preparation, 4th Edition, The American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. , Neu York, 1979.
2. PERCH, Michael., Solid Product of Pyrolysis, Chemistry of Coal Utilization, John Wiley and Sons, New York, 1981, Chapter 15.
3. KEMAL, Mevlüt., Kömür Teknolojisi, D.E.Ü. Müh.-Mim. Fak., Maden Muh. Böl., Izmir, 1987.
- 4\*. Zonguldak Lavvarı Yüzdürme Analizleri, EKİ Merkez Laboratuvarları, Kömür Yüzdürme Lab. Raporları, 1985.
5. DÜRTER, İhsan., Zonguldak Taşkömürünün Muhtelif Küllerde Hazırlanması, TKİ Ftüd-Proje Dairesi, 1975.
6. ERGİN, Özden., İskenderun Demir-Çelik Tesisleri Tanıtım Semineri, D.E.Ü. Müh.-Mim. Fak. Maden Müh. Böl., izmir, 1987.