



**KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLERİN
METALURJİK KOK KALİTESİ VE VERİMİNE
ETKİSİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Mehmet ATAY

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN**

**KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLERİN METALURJİK KOK KALİTESİ VE
VERİMİNE ETKİSİ**

Mehmet ATAY

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ocak 2023

Mehmet ATAY tarafından hazırlanan “KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLERİN METALURJİK KOK KALİTESİ VE VERİMİNE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN
Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 13/01/2023

| <u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u> | <u>İmzası</u> |
|--|---------------|
| Başkan : Doç. Dr. Yüksel AKINAY (YYÜ) | |
| Üye : Doç. Dr. Engin ÇEVİK (KBÜ) | |
| Üye : Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN (KBÜ) | |

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mehmet ATAY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOKLAŞABİLİR KÖMÜRLERİN METALURJİK KOK KALİTESİ VE VERİMİNE ETKİSİ

Mehmet ATAY

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN

Ocak 2023, 40 sayfa

Bu çalışmada metalurjik kok kömürü üretiminde kullanılan koklaşabilir taş kömürlerinin harmanlanıp kok fırınlarına doğrudan şarj edilerek, metalurjik kok kalitesi ve verimi değerlendirilecektir. Örnek Fabrika da satın alınan taşıyıcı kömür menşeleri (TTK, RUS, KOL, AVS) verim, maliyet, kalite vb. parametrelerin optimize edilmesi ve, en uygun kömür harmanının oluşturulması amaçlanmıştır.

Sahada stoklanan kömürlerden (TTK, RUS, KOL, AVS) numuneler alınmış ve fiziksel/kimyasal özellikleri tespit edilmiştir. Denemelerin her safhasında 200 ton kömür, 10 ayrı kok fırınına şarj edilip 18-20 saat koklaşmaya tabi tutulmuştur. Oluşturulan kok kömürlerinin her birinden numuneler alınarak kok analizleri yapılmıştır.

Analiz sonuçları incelendiğinde en uygun kömür harmanının %15 TTK, %25 RUS, %20 KOL, %40 AVS olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Koklaşabilir Kömürler, Kok Kömürü, Kok Bataryaları.

Bilim Kodu : 91530

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF COKING COALS ON METALLURGICAL COKE QUALITY AND YIELD

Mehmet ATAY

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Assoc.Prof. Dr. Muhammet Emre TURAN

January 2023, 40 pages

In this study, coking coals used in metallurgical coke production will be blended and directly charged to coke ovens, and the quality and efficiency of metallurgical coke will be evaluated. The main coal origins (TTK, RUS, KOL, AVS) purchased in the model plant are based on yield, cost, quality, etc. It is aimed to optimize the parameters and to create the most suitable coal blend.

Samples were taken from the coals (TTK, RUS, KOL, AVS) stored in the field and their physical/chemical properties were determined. At each stage of the trials, 200 tons of coal was charged to 10 different coke ovens and subjected to coking for 18-20 hours. Coke analyzes were made by taking samples from each of the coke produced.

When the analysis results were examined, it was concluded that the most suitable coal blend was 15% TTK, 25% RUS, 20% KOL, 40% AVS.

Key Word : Coking Coals, Coke Coal, Coke Batteries

Science Code : 91530

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Harman denemelerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Kok Fabrikaları Müdürü Sayın Ömer ÖZDEMİR ve Kok Fabrikaları Bataryalar İşletme Başmühendisi Sayın Cüneyt USLU'ya teşekkür ederim.

Ayrıca, her zaman desteęini hissettiren eőim Özlem ATAY'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---------------------------------------|--------------|
| KABUL..... | ii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vi |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xiii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xiv |
| | |
| BÖLÜM 1 | 1 |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 | 3 |
| DEMİR ÇELİK ENDÜSTRİSİ TANITIMI..... | 3 |
| 2.1. DEMİR ÇELİK ÜRETİMİ..... | 4 |
| 2.1.1. Kok Fabrikaları..... | 5 |
| 2.1.2. Sinter Tesisleri..... | 5 |
| 2.1.3. Yüksek Fırın Bölümleri..... | 6 |
| 2.1.4. Çelikhane Prosesleri | 6 |
| 2.1.5. Haddehaneler | 6 |
| 2.1.6. Enerji Birimleri..... | 6 |
| 2.2. KOK FABRİKALARI | 6 |
| 2.2.1. Kömür Hazırlama Tesisleri..... | 6 |
| 2.2.2. Kok Fırınları | 7 |
| 2.2.3. Kırma-Eleme Tesisleri..... | 8 |
| 2.2.4. Yan Ürünler Tesisleri..... | 9 |
| 2.3. KOKLAŞMA | 9 |
| 2.4. METALURJİK KOK ÜRETİMİ..... | 10 |

Sayfa

| | |
|--|----|
| BÖLÜM 3 | 13 |
| HAZIRLIK..... | 13 |
| 3.1. KÖMÜR HARMANLANMASI | 13 |
| 3.2. KÖMÜR VE KOK NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI..... | 14 |
| 3.2.1. Taş Kömürü Numunesinin Hazırlanması..... | 14 |
| 3.2.2. Metalurjik Kok Numunesinin Hazırlanması | 15 |
| | |
| BÖLÜM 4 | 16 |
| ANALİZLER | 16 |
| 4.1. KOKLAŞABİLİR KÖMÜR ANALİZLERİ..... | 17 |
| 4.1.1. Nem Analizi | 17 |
| 4.1.2. Kül Analizi | 18 |
| 4.1.3. Külde Alkali Analizi | 18 |
| 4.1.4. Uçucu Madde Oranı | 20 |
| 4.1.5. Tane Boyutu Dağılımı..... | 21 |
| 4.1.6. Kükürt Analizi..... | 22 |
| 4.1.7. Serbest Şişme İndeksi, FSI..... | 22 |
| 4.1.8. Maksimum Akışkanlık (Plastometre) | 23 |
| 4.1.9. Oksidasyon..... | 25 |
| 4.1.10. Dilatasyon..... | 26 |
| 4.1.11. Kalori..... | 27 |
| 4.2. KOK KÖMÜR ANALİZLERİ | 28 |
| 4.2.1. Nem Analizi | 28 |
| 4.2.2. Kül Analizi | 29 |
| 4.2.3. Külde Alkali Analizi | 29 |
| 4.2.4. Uçucu Madde Oranı | 29 |
| 4.2.5. Tane Boyuru Dağılımı..... | 30 |
| 4.2.6. Kükürt Analizi..... | 30 |
| 4.2.7. Kalori Analizi..... | 31 |
| 4.2.8. M40 ve M10 Analizi | 31 |
| 4.2.9. Reaktivite Testi (CRI-CSR)..... | 33 |

| | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------|---------------------|
| BÖLÜM 5 | 34 |
| SONUÇ VE ÖNERİLER | 34 |
| KAYNAKLAR | 37 |
| ÖZGEÇMİŞ | 40 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Kömür çeşitleri ve kullanım alanları | 1 |
| Şekil 2.1. Ham çelik üretim proses şeması | 5 |
| Şekil 2.2. Kömür hazırlama tesisi genel görünümü | 7 |
| Şekil 2.3. Kok bataryaları görünümü | 8 |
| Şekil 2.4. Koklaşma süreci..... | 10 |
| Şekil 2.5. Kok kömürü fırın içi görünümü..... | 11 |
| Şekil 2.6. Bataryaların şematik görünümü..... | 12 |
| Şekil 3.1 Konileme dörtleme yöntemi | 15 |
| Şekil 4.1. Etüv cihazı | 17 |
| Şekil 4.2. Kömür ve kok külü numune hazırlama cihazı | 19 |
| Şekil 4.3. Kömür ve kok külünde analiz cihazı (XRF)..... | 19 |
| Şekil 4.4. Taşkömüründe uçucu madde cihazı..... | 20 |
| Şekil 4.5. Tane boyutu dağılımı cihazı..... | 21 |
| Şekil 4.6. Kükürt cihazı..... | 22 |
| Şekil 4.7. Krozede şişme sayısı analizi skalası | 23 |
| Şekil 4.8. Maksimum akışkanlık (Plastometre) cihazı..... | 24 |
| Şekil 4.9. Oksidasyon cihazı | 25 |
| Şekil 4.10. Dilatasyon cihazı..... | 27 |
| Şekil 4.11. Kalori cihazı..... | 28 |
| Şekil 4.12. Micum tambur cihazı | 32 |
| Şekil 4.13. Reaktivite cihazı | 33 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Çizelge 3. 1. Çalışmada kullanılan kömürlerin koklaşma kritereri..... | 14 |
| Çizelge 4.1. Kok kalitesindeki hedeflenen değerler..... | 16 |
| Çizelge 4.2. Nem analiz sonuçları | 18 |
| Çizelge 4.3. Kül analiz sonuçları | 18 |
| Çizelge 4.4. Külde alkali analiz sonuçları..... | 19 |
| Çizelge 4.5. Uçucu madde analiz sonuçları | 20 |
| Çizelge 4. 6. Tane boyutu dağılımı analiz sonuçları..... | 21 |
| Çizelge 4. 7. Kükürt analiz sonuçları..... | 22 |
| Çizelge 4.8. Serbest şişme indeksi, FSI | 23 |
| Çizelge 4. 9. Maksimum akışkanlık (Plastometre) | 24 |
| Çizelge 4. 10. Oksidasyon analiz sonuçları | 25 |
| Çizelge 4. 11. Dilatasyon analiz sonuçları..... | 26 |
| Çizelge 4. 12. Kalori analiz sonuçları | 27 |
| Çizelge 4. 13. Kok kömürü nem analiz sonuçları | 28 |
| Çizelge 4. 14. Kok kömüründe kül analiz sonuçları | 29 |
| Çizelge 4. 15. Kok kömüründe külde alkali analiz sonuçları | 29 |
| Çizelge 4. 16. Kok kömüründe uçucu madde analiz sonuçları | 30 |
| Çizelge 4. 17. Kok kömüründe tane boyutu dağılımı analiz sonuçları | 30 |
| Çizelge 4. 18. Kok kömüründe kükürt analiz sonuçları..... | 31 |
| Çizelge 4. 19. Kok kömüründe kalori analiz sonuçları..... | 31 |
| Çizelge 4. 20. Kok kömüründe M40 ve M10 analiz sonuçları | 32 |
| Çizelge 4. 21. Kok kömüründe reaktivite analiz sonuçları | 34 |
| Çizelge 5.1. Kok kömürü hedef ve sonuç karşılaştırması..... | 36 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

| | |
|----|--------------------------------------|
| °C | : Degrees Celsius (Santigrat derece) |
| CO | : Karbonmonoksit |
| O2 | : Oksijen |
| N | : Azot |
| Ar | : Argon |

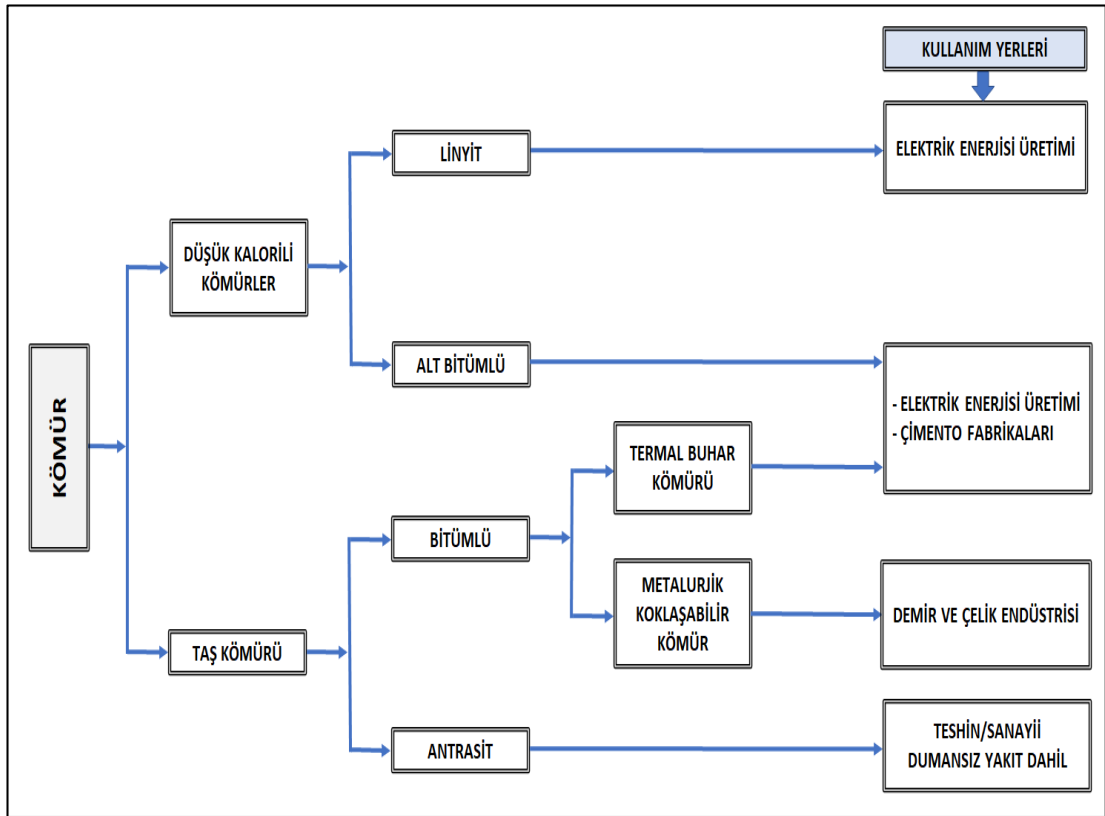
KISALTMALAR

| | |
|---------|--|
| A.S.T.M | : American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu) |
| CSR | : Reaksiyon sonrası kok mukavemeti |
| CRI | : Kok Reaktivite Katsayısı |
| FSI | : Free Swelling Index (Serbest şişme indeksi) |
| TTK | : Türkiye Taşkömürü Kurumu (Zonguldak Kömürleri) |
| RUS | : Rusya |
| KOL | : Kolombiya |
| AVS | : Avusturalya |
| KG | : Coke Gas (Kok gazı) |
| YFG | : Blast Furnace Gas (Yüksek fırın gazı) |
| M40 | : Coke Strength Value (Kok mukavemet değeri) |
| M10 | : Coke Pollution Index (Kok tozlaşma indeksi) |
| PLC | : Programlanabilir Lojik Kontrolör |
| YF | : Yüksek Fırın |
| BOF | : Bazik Oksijen Fırımları |
| EAO | : Elektrik Ark Ocağı |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kömür, karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin farklı bileşimlerde bulunabildiği fosil (organik kalıntı) esaslı bir maddedir. Kömürler hem oluşum süreleri hem de bileşimlerindeki karbon miktarı açısından birbirlerinden farklılık gösterirler.



Şekil 1.1. Kömür çeşitleri ve kullanım alanları [1].

Oluşma süresi uzun olan kömürlerin ısı değeri de o oranda yüksektir. Belirli özelliklere sahip koklaşabilir taş kömürünün oksijensiz kömür kamarasında ısıtılması ve uçucu maddelerin ayrıştırılmasıyla dayanıklı ve gözenekli biçime dönüşen kok, başta demir sanayi olmak üzere birçok sanayide ham demir üretiminin temel girdisi olarak kullanılmaktadır. Ülkelerdeki gelişmeler ve artan çeliğe olan ihtiyaç, üretimin

artması ve sanayileşme ile birlikte kok ve kok üretiminde kullanılan taşkömürüne olan ihtiyaç da artmaktadır.

Ülkemizdeki sınırlı taşkömürü kaynakları, yurt dışından tedarik yolunun açılmasına neden olmaktadır. Yerli kömür fiyatları yurtdışına göre daha düşük olsa da kok kalitesine bakıldığında yurt dışı kömürlerinin daha ekonomik olduğu görülmektedir. Test fırınlarında yapılan çalışmalar ve kullanılan kömür analizleri sonucunda üretilebilecek kok kalitesi belirlenir.

Bu konuda, Simonis ve arkadaşları (1966), kömürün koklaşma niteliği ve koklaştırılma şartlarına göre kok dayanımının hesap edilmesi, Miyazu ve arkadaşlarının (1974) yaptığı analizlerde kömür karışımı refleksiyon değeri ve akışkanlık yardımı ile kömür harmanı belirlenmesi çalışması vardır [2,3].

BÖLÜM 2

DEMİR ÇELİK ENDÜSTRİSİ TANITIMI

Demir-çelik sektörü hemen hemen tüm imalat sektörlerine girdi sağladığı için Türkiye'nin sanayileşmesi ve kalkınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Türk sanayileşmesinin temelleri 1930'larda atıldı. İlk entegre Demir-Çelik İşleri (KARDEMİR) tesisi, Türkiye'nin ilk kez ham çelik ürettiği 1939 yılında Karabük'te faaliyete geçti.

Yassı ürün talebini karşılamak için 1965 yılında ikinci entegre tesis olan Ereğli Demir Çelik Fabrikaları (ERDEMİR) üretime başladı. 1977 yılında Türkiye'nin üçüncü entegre çelik fabrikası İskenderun Demir Çelik Fabrikası (İSDEMİR) devreye girdi. uzun mamul ve yarı mamul talebini karşılamaktadır.

80'li yıllardan sonra elektrik ark ocaklarıyla demir çelik üretimine yönelik yatırımlar başladı. İSDEMİR'in ERDEMİR'in ekonomik faaliyetlerdeki serbestleşme sonucunda yassı ürüne dönüştürülmesi şartıyla devralınması, Türk çelik sektöründeki en önemli ve son gelişme oldu. Son devlete ait tesis olan İSDEMİR'in 2002 yılında özelleştirilmesi, Türk demir çelik sektörünün tamamen özel sektör tarafından işletilmesine yön vermesi açısından da önemlidir.

Demir-çelik sektöründeki gelişmeler, demir veya çelik eşya üretiminin büyümesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Şu anda Türkiye, iç talebin neredeyse tamamını karşılayan çok çeşitli demir ve çelik ürünleri üretmektedir. Demir veya çelik eşyalar arasında döküm ürünleri ve çelik boru ve tüpler büyük önem taşımaktadır. Türkiye mutfak gereçleri ve endüstriyel mutfak ürünlerinde son yıllarda önemli bir kapasite oluşturmuş ve bu ürünlerin ihracatını artırmıştır [4,5].

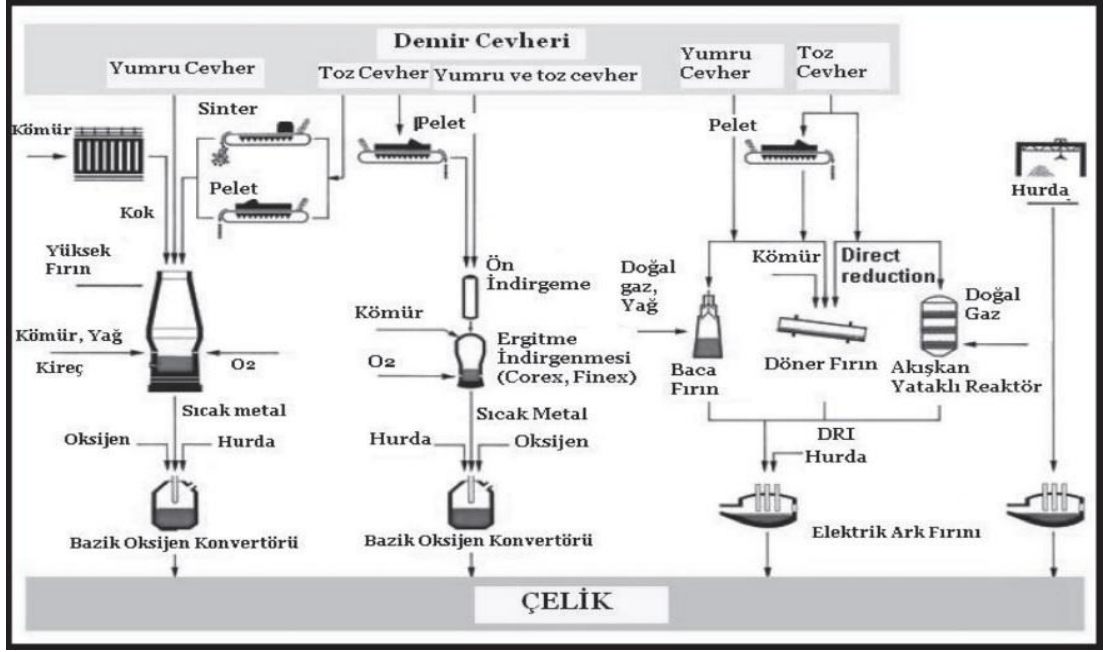
Türk imalat sanayisinin sürekli talebi ile Türkiye döküm ve dövme sanayi hem teknolojide hem de pazarda büyük bir gelişme kaydetmiştir. Her türlü alaşımlı veya alaşımsız demir döküm üretebilen Türk dökümhaneleri, yerli sanayi için döküm parça üretiminde uzmanlaşmıştır. Sektörün coğrafi dağılımına bakıldığında, tamamı özel sektöre ait büyük dökümhaneler İstanbul, Kocaeli, Bursa, Eskişehir, Bilecik, İzmir ve Ankara'da bulunmaktadır. Küçük ölçekli aile şirketi döküm şirketleri Türkiye'nin hemen hemen tüm bölgelerinde yaygın olarak bulunmaktadır.

2.1. DEMİR ÇELİK ÜRETİMİ

Demir ve çelik üretimi genel olarak üç alana ayrılır. 1. alan, demir cevheri, koklaşabilir taş kömürü ve diğer hammaddelerin demir üretiminin entegre bir şekilde gerçekleştirildiği yüksek fırın alanıdır. 2. alan, demir ve çelik hurdalarının ergitilmesi ve safsızlıkların giderilmesi ile çelik üretimi ve çelik ürünlerinin üretildiği elektrikli fırın alanıdır. 3. alan, özel işlevselliğe sahip yüksek kaliteli çeliğin nadir metaller vb. eklenerek üretildiği özel çelik fırın alanıdır [6].

Çelik, demir ile kıyaslandığında kolay şekillenebilen ve bünyesinde ağırlıkça %1'in altında karbon ihtiva eden demir alaşımıdır. Ham çelik üretimi neticesinde ingot döküm ya da sürekli döküm prosesleri uygulanmaktadır.

Yüksek fırınlar fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçmiş demir cevheri ile kok kömürünün reaksiyona girmesi neticesinde demirin indirgenmesi ve sıvı ham demirin üretildiği tesislerdir. Yüksek fırın, demir oksitlerden çelik üretiminin ilk adımıdır. İlk yüksek fırınlar 14. yüzyılda ortaya çıktı ve günde bir ton üretti. Ekipman iyileştirilse ve daha yüksek üretim oranları elde edilebilse de, yüksek fırın içindeki süreçler aynı kalır. Yüksek fırın, pik demir üretmek için kok, demir cevheri ve kireçtaşı kullanır. İlk elektrik ark ocakları (EAO'lar) 19. yüzyılın sonlarında ortaya çıktı. EAO, erimiş çelik üretmek için hurda çeliği, doğrudan indirgenmiş demiri ve/veya pik demiri eritmek için bir elektrik akımı kullanarak çelik ürettiği için yüksek fırından farklıdır [7].



Şekil 2.1. Ham çelik üretim proses şeması.

2.1.1. Kok Fabrikaları

Kok Fabrikaları, yüksek fırınlarda kullanılmak üzere kok kömürü üretmek maksadı ile kurulan tesisler olup, kömür hazırlama, kok fırınları, kırma-eleme tesisleri ve yanürünler tesislerinden oluşur. Metalürjik kok, kok tozu, ceviz kok, döküm kok ve yanürün olarak kok gazı, ham katran, amonyum sülfat, ham benzol ve naftalin elde edilmektedir [8].

2.1.2. Sinter Tesisleri

Sinterleme işlemi 1100-1200 °C sıcaklıkta toz demir cevherleri ile birlikte kok tozu ve diğer ilaveler ile pişirilmesi neticesinde Yüksek Fırınların yarı mamulü olan ürünleri üretmektir. Sinter prosesinde kullanılan, toz cevherler, katkı maddeleri (kireç, olivin vb.) ve toz haldeki kok kömürünün eklendiği ve sistem çıkışı proseslerinden (yüksek fırın gazı temizlenmesi sonucunda alınan kaba tozlar ve çamur ile sınırlı olmayan hadde tufalı içeren) demir-taşıyıcı malzemelerin bir karışımından oluşturulmaktadır.

2.1.3. Yüksek Fırın Bölümleri

Yüksek fırınlarda oksitli demir cevherinin, CO ile redüksiyonu esasına dayalı bir prosesle sıvı ham demir elde edilip, bazik oksijen konvertörüyle de sıvı ham demirden çelik imal edildiği için birçok birimin entegre çalışması gereken bir tesis modelidir [9].

2.1.4. Çelikhane Prosesleri

Yüksek fırınlardan potalar ile çelikhane tesislerine sevk edilen sıvı ham demiri, BOF tesislerinde sıvı çelik haline getirilip, sürekli döküm makinelerinde aktararak kütük, blum vb. yarı mamullerin üretildiği tesislerdir.

2.1.5. Haddehaneler

Kütük, blum vb. ürünlerin istenilen kalınlık, genişlik ve uzunluğa ebatlandırıldığı tesislerdir.

2.1.6. Enerji Birimleri

Enerji Tesisleri; elektrik enerjisi, buhar, yüksek fırınların ihtiyaç duyduğu yakma havası, çelikhane vb. tesisler için O₂, N ve Ar gereksinimlerini karşılamaktadır [10].

2.2. KOK FABRİKALARI

Kok Fabrikaları, koklaşma özelliğine sahip taş kömürlerinin, yüksek fırınların enerji ihtiyacını karşılama amacı ile metalürjik kok'a dönüştürüldüğü tesislerdir.

2.2.1. Kömür Hazırlama Tesisi

Kömür hazırlama tesisi, koklaşabilir kömürlerin kömür stok sahalarına menşei ve kalitesine göre boşaltıldığı, stoklandığı daha sonra dozajlama tesisi ile harmanlanıp gerekli kırma ve karıştırma işlemi ardından konveyörler vasıtası ile kok bataryalarının kullanımı için bataryaların üzerinde bulunan bömür şarj silolarına aktarımın yapıldığı

tesistir. Zonguldak bölgesindeki yerli koklaşabilir kömür kaynaklarının dışında tüketimin yaklaşık %90 kadarı ithal kömür olarak (RUS, AVS, KOL, vs.) deniz yolu vasıtası temin edilmektedir.



Şekil 2.2. Kömür hazırlama tesisi genel görünümü.

2.2.2. Kok Fırımları

Koklaştırma prosesi, kömürün 18 – 20 saat boyunca oksijensiz ortamda, 1.100 – 1300 °C' ye ısıtılmasına dayanır. Bu süre zarfında kömür haznesinde meydana gelen kimyasal tepkimeler sonucunda Ham kok gazı açığa çıkar. Sıvı metal üretiminde en önemli indirgenlerden biri olan kok, metal eriyiğin içinde bulunan oksijeni, karbon dioksit meydana getirerek dolaylı olarak giderdiği gibi, karbon içeriğini de doğrudan giderir. Aynı zamanda kokun gazifikasyonu indirgenme için gerekli olan ısıyı sağlar [10].



Şekil 2.3. Kok bataryaları görünümü.

2.2.3. Kırma-Eleme Tesisi

Kırma-Eleme tesisi, üretim sonrası bataryalardan çıkan kokun eleme ve kırma işlemleri ile ebatlandırılıp yüksek fırınlar, sinter tesisi ve çelikhane ünitelerine sevkini sağlayan tesistir. Bataryalardan çıkan kok, söndürülme aşamasından sonra rampalara dökülür, gerekli dinlenme sonrası rampa koku aşamasındaki malzeme konveyörler ile kırma eleme tesislerine aktararak ebatlandırılır. İhtiyaca göre döküm kok, metalürjik kok, ceviz kok ve kok tozu üretimi gerçekleştirilmektedir. Yüksek fırın ihtiyacı olan 25-75 mm ebat aralığındaki metalürjik kok, konveyörler ile yüksek fırınlara -25 mm

altındaki kısım Kok tozu olarak bunkerlere alınır ve oradanda Sinter ve Çelik üretim tesislerine gönderilebilmektedir.

2.2.4. Yan Ürünler Tesisi

Yan ürün tesisleri koklaşma sürecinde oluşan ham kok gazının işlenerek, kullanılabilir hale getirildiği tesislerdir.

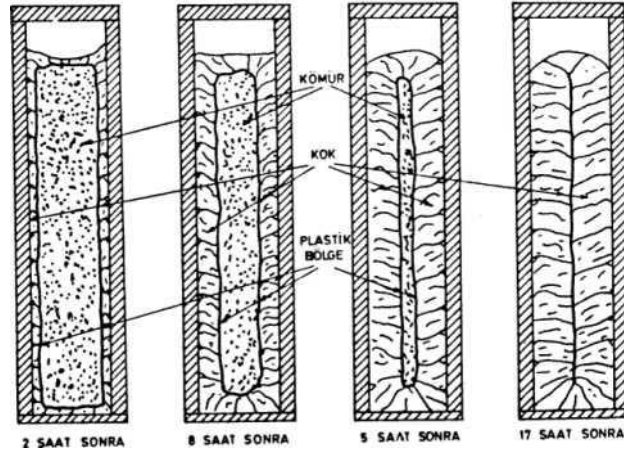
Koklaşma boyunca açığa çıkan uçucu maddeler, ana gaz toplama borularına amonyaklı su ile soğutularak gönderilir. Yoğunlaşan kısım dekanterlerden alınırken, gaz kısım ise ana gaz toplama borularından egzoster ile emilir/basılır. Ham gaz sırasıyla ön soğutucular, elektrofiltreler, egzosterler, amonyum sülfat satüratörleri, son soğutma kuleleri ve benzol kulelerinden geçer. Yine sırasıyla kok gazı; katran, naftalin, amonyak ve aromatik hidrokarbonlardan temizlenir.

Yan ürünlerinden arındırılmış kok gazı daha sonra gaz dağıtım birimine gönderilir. Kok gazı elektrik üretiminde kullanılabildiği gibi diğer ünitelerde yakıt olarak kullanılmaktadır.

2.3. KOKLAŞMA

Kok kömürü, endüstride olduğu gibi demir çelik bünyesinde de sıvı ham demir üretimi için temel girdi olarak kullanılmaktadır [11].

Belirli sıcaklıklarda oksijensiz kömür haznesinde ısıtılarak koklaşmaya tabi tutulan kömür molekülleri parçalanmaya başlar ve kömür bünyesindeki uçucu madde olarak tanımlanan hidrokarbonlar kömür yapısından ayrıldıktan sonra elde edilen yüksek karbon oranlı, gözenekli ve dayanımı yüksek maddeye kok kömürü, gerçekleşen bu kimyasal tepkimeler serisine ise koklaşma denir.



Şekil 2.4. Koklaşma süreci [11].

Karbonizasyon işlemi çoğunlukla yüksek ve orta uçuculu kömürlerde yapılmaktadır. Antrasit ve alt bitümlü kömürler koklaşma için tercih edilmezler. Linyit kömürleri duvar basıncı önemsenmeyen kok fırınlarında kullanılabilir [12].

Piroliz işlemi süresince, kömür moleküllerinin parçalanması sıra ile olmaktadır. Kömür molekülleri bünyesinden çıkan ilk ürünler, ortamın sürekli sıcak olması nedeniyle birçok kimyasal tepkimenin etkisinde kalarak yan ürünleri açığa çıkarırlar.

Kok prosesi göz önüne alındığında koklaşma özelliğine sahip kömürlerin kimyasal analiz sonuçları büyük önem arz etmektedir. Kömür seçiminde yapılacak yanlış bir seçim fırın duvar yapısı ve dolayısıyla ömrüne etki edebilmektedir. Koklaşabilen kömür sınıflarında olan tüm kömürlerde istenen kalitede kok elde edilemeyebilir. Bu nedendir ki koklaşabilir kömürlerin harmanlama yapılarak koklaştırılması en uygundur.

2.4. METALURJİK KOK ÜRETİMİ

Koklaşma prosesi, kömürün yan ısıtma kamaraları vasıtasıyla havasız ortamda ısıtılması ile kömür bünyesindeki uçucu maddelerin uzaklaştırılmasıyla karbon oranı yüksek kok elde etme işlemidir. Kok kamaraları, yapımında silika tuğlalar kullanılmış dar ve uzun fırınlardır. Yan ısıtma kamaralarında yanma, karışımın oluşturulması, sıcaklık ile tutuşması ve yanma işleminin tamamlanması olmak üzere üç temel etmenin

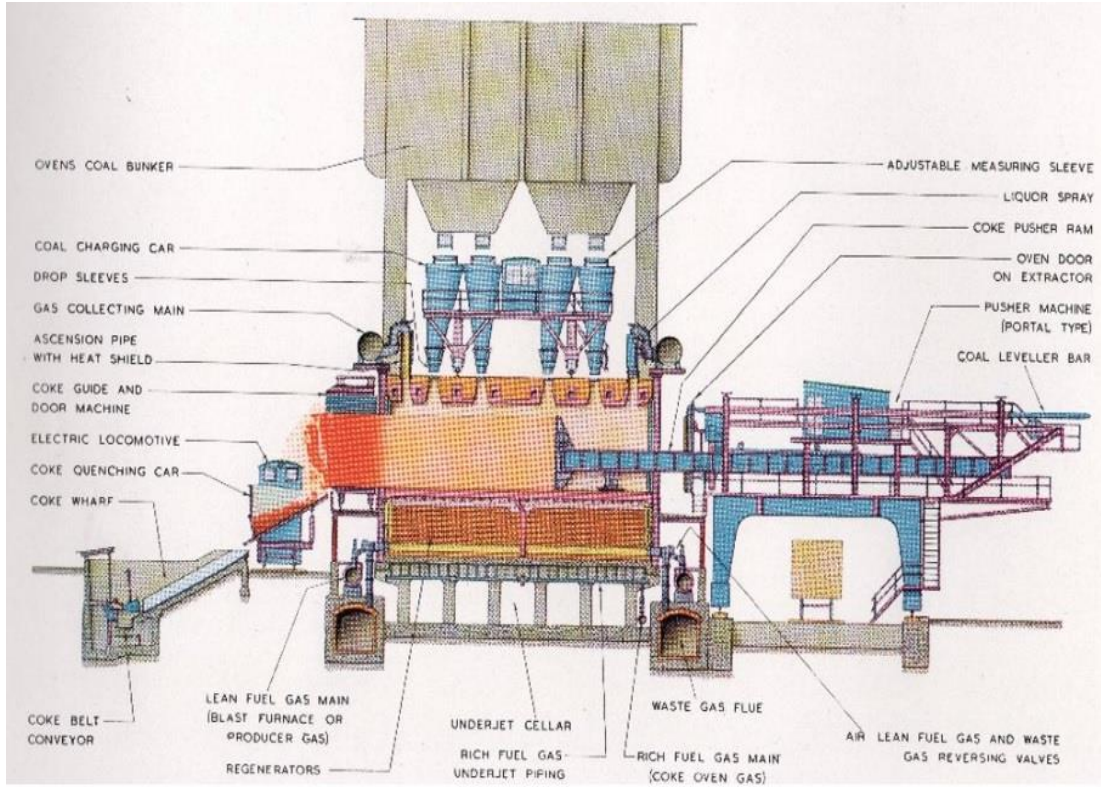
oluşumu ile olmaktadır. Bu kriterlerin karşılanması ve yanma olayının gerçekleşmesi için, yakıtın ve havanın karıştırılmasının yanı sıra optimum sıcaklıkta yanma reaksiyonları gerçekleştirilmelidir. Ayrıca yanma süresince yakıtın, tutuşma sıcaklığından yüksek olan yanma kamarasında kalması gerekmektedir [13–15].



Şekil 2.5. Kok kömürü fırın içi görünümü.

Fırınlara şarj edilecek koklaşabilir taş kömürü $-0,5\text{mm} / +3,15\text{mm}$ mm çap aralığında kırılıp harmanlama yapılan kömür, kömür hazırlama tesislerinden bataryalara uzanan konveyör bantlar ile şarj silolarına gönderilir. Sonrasında şarj arabaları ile kok fırınlarına doldurulması/şarjı yapılır.

Koklaşması biten fırın Şekil 2.6'da bataryaların şematik gösteriminde görüldüğü üzere, itici arabası, kılavuz arabası ve söndürme arabası ile itme işlemi yapılır. Söndürme kulesinde su ile soğutulduktan sonra ve altında bant konveyör sistemi olan rampaya dökülür. Son işlem olarak kırma-eleme tesislerinde ebatlandırılan metalürjik kok yüksek fırınlara konveyör hattı ile sevk edilir.



Şekil 2.6. Bataryaların şematik görünümü [16].

BÖLÜM 3

HAZIRLIK

3.1. KÖMÜR HARMANLANMASI

Numune analizi yapılacak 200 tonluk kömür karışımının harmanlanması, kömür hazırlama tesisinde yapılarak şarj silosuna gönderilmiştir. Çalışmada kullanılan 200 ton kömür karışımı, daha önceden belirlenen 10 adet fırına şarj edilmiştir. Çalışmada kullanılan kömürler TTK, RUS, KOL ve AVS ayrı günlerinde harmanlamadaki silo bölmesine alınmış ve PLC sistemiyle kok fırınlarına gönderilmiştir. Sonrasında %15 TTK + %25 RUS + %20 KOL + %40 AVS, %15 TTK + %15 RUS + %30 KOL + %40 AVS, %10 TTK + %10 RUS + %40 KOL + %40 AVS harman oranlarında harmanlanmıştır. Çalışmalar süresince fırınlardaki koklaştırma şartları aynı düzeyde tutulmuştur. Fırınlarda ısıtmada KG ve YFG+KG karışım gazı kullanılıp, 18 saat koklaşmanın süresi boyunca fırın ısısı 1250°C olarak çalışılmıştır. Çizelge 3.1’de denemede kullanılmış kömürlerin harman oranları ve koklaşma ölçüleri görülebilmektedir.

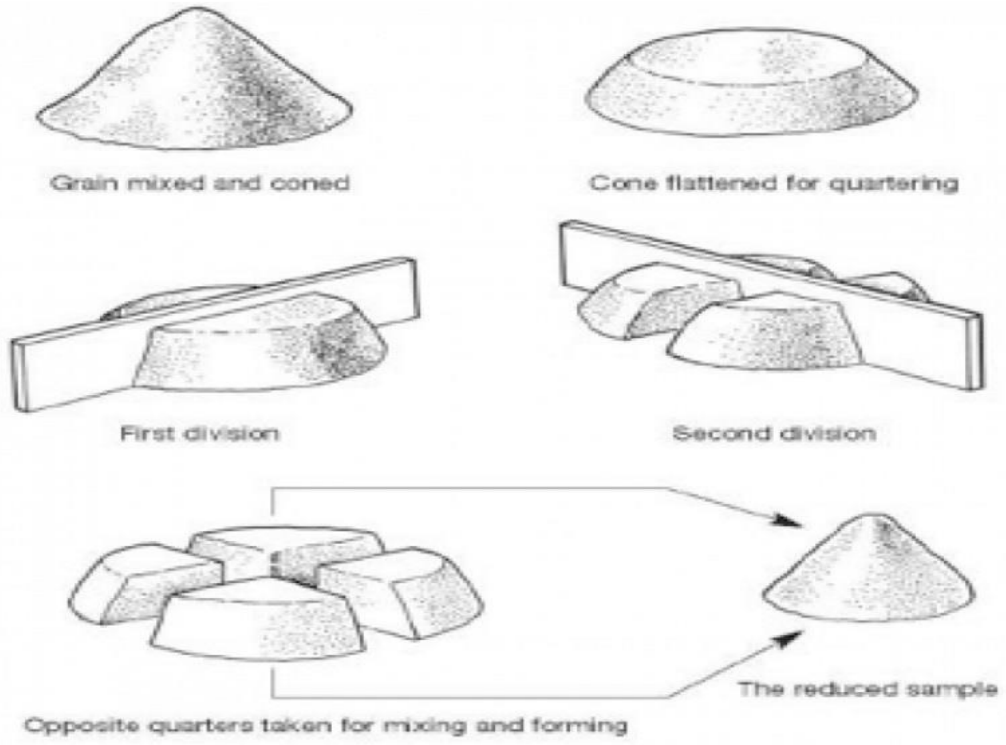
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan kömürlerin koklaşma kriterleri

| Harman % | Şarj Fırın Sayısı | Şarj Miktarı (Ton) | Koklaşma Süresi | Koklaşma Sıcaklığı | Isıtma Gazı |
|--|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-------------|
| % 100 TTK | 10 | 200 | 18 saat | 1250 °C | YFG + KG |
| % 100 RUS | 10 | 200 | 18 saat | 1250 °C | YFG + KG |
| % 100 KOL | 10 | 200 | 18 saat | 1250 °C | YFG + KG |
| % 100 AVS | 10 | 200 | 18 saat | 1250 °C | YFG + KG |
| % 15 TTK % 25 RUS % 20 KOL % 40 AVS | 10 | 200 | 18 saat | 1250 °C | YFG + KG |
| % 15 TTK % 15 RUS % 30 KOL % 40 AVS | 10 | 200 | 18 saat | 1250 °C | YFG + KG |
| % 10 TTK % 10 RUS % 40 KOL | 10 | 200 | 18 saat | 1250 °C | YFG + KG |

3.2. KÖMÜR VE KOK NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

3.2.1. Taş Kömürü Numunesinin Hazırlanması

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D2013 standardına uygun olarak yapılmıştır [17]. Herbir kömür numunesi sahadan mevcut stoğu yansıtacak biçimde alınmıştır. Harmanlanan taş kömürü numuneleri harmanlandıktan sonra kırıcıda kırılıp otomatik numune alıcı ile alınmıştır. Alınan numuneler karıştırılıp içinden nem analizi için 1000 gr kömür örneği alınıp hemen nem analizi yapılmıştır. Kalan numune ile konileme dörtleme yöntemiyle Şekil 3.1’de gösterildiği gibi ortalama 3 kg’a azaltılmıştır. 1,5 kg’ı elek testi için ayrılıp etüv cihazına kurutmak üzere konulmuştur. 1,5 kg’ı ise -10 mm ebatına kadar kırılıp, 0,5 kg numune kimyasal analiz için etüv cihazında 2 saat kurutma sonrasında içinden 0,5 kg 0,2 mm’lik elekten geçirilecek biçimde öğütülmüştür.



Şekil 3.1. Konileme dörtleme yöntemi

3.2.2. Metalurjik Kok Numunesinin Hazırlanması

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D346 standardına uygun olarak yapılmıştır [18]. Analizler, herbir kömür analizinde kullanılmak üzere kırma-eleme tesisi numune kabından 100'er kg kömür örneği alınarak yapılmıştır. Kimyasal analizde kullanılacak olan 15'er kg'lık numuneler alınıp kırıcı ile 20 mm ebatında kırıldı. Kırılan numunelerden 5'er kg ayrıldı ve 1 kg numuneye etüv cihazında nem analizi yapıldı. 4'er kg'lık numuneler, -10 mm incelikte kırılıp karıştırıldı. 0,5'er kg.'ı etüvde kurutulup içinden 50'şer gr, 0,200 mm elekten geçecek şekilde öğütülerek kavanoza alındı.

BÖLÜM 4

ANALİZLER

Yüksek fırında geçirgenliği ve şarja mekanik destek sağlayan kok kömürünün kalitesi ve yapısı yüksek fırın verimine doğrudan etki eder. Bünyesindeki karbon miktarı ile demirin indirgenmesini sağladığı gibi nem, kül, alkali miktarı, kok stabilitesi, CSR, CRI değerleri kalite özellikleri ile de sıvı madenin kalite ve veriminde etki etmektedir. Yüksek fırında ekonomik ve katma değeri yüksek üretimin yapılabilmesi için kok kömüründeki değerlerin belirli bir dengede olması gerekir[19].

Çizelge 4. 1. Kok kalitesindeki hedeflenen değerler

| | | HEDEF (%) |
|-------------------------|-------------|-----------|
| Nem | | 5,00 |
| Kül (kuru baz) | | 12,6 |
| Top. Alkali (külde) | | 2,2 |
| Uçucu madde (kuru baz) | | 1,00 |
| Sabit Karbon (kuru baz) | | 86,00 |
| Kükürt (kuru baz) | | 0,5 |
| M 40 | | 75 |
| M 10 | | 9 |
| CRI | | 25,0-30,0 |
| CSR | | 55,0-60,0 |
| Kalori (kcal/kg) | | 6.700 |
| EBAT | + 75 mm (%) | 10 |
| | + 50 mm (%) | 50 |
| | +25 mm (%) | 35 |
| | - 5 mm (%) | 5 |

Çizelge 4.1'de Kok kalitesinde hedeflenen değerler verilmiştir. Koklaşabilir kömürlerin analizleri sonucunda elde edilen veriler ile 3 ayrı harman oranına sahip 4'lü harman yapılmıştır.

4.1. KOKLAŞABİLİR KÖMÜR ANALİZLERİ

4.1.1. Nem Analizi

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D3302 standardına uygun olarak yapılmıştır [20]. Kömürlerde Toplam Nem Analizi Şekil 4.1'de görülen Etüv cihazlarında yapılmaktadır.



Şekil 4.1. Etüv cihazı

Kömürlerde nem analizi, kömürün yapısında olan uçucu maddeleri kaybetmemesi adına havada kurutma yapılmıştır. Standart gereği max: 40 °C dir. Etüvler bu belirtilen sıcaklıkta tutularak kömür numuneleri sabit tartıma gelene kadar (Sabit tartıma gelinceye kadar kurutma işlemi yapıldı. Tartım farkı % 0,1 den düşük olana kadar saatte bir tartımı alınır.) etüv cihazında bekletilmiştir.

Toplam nem analizi; kaba nem ve bünyesel nemlerin (105°C) bulunup hesap yöntemi ile geçilmesi sonucu bulunur.

Çizelge 4. 2. Nem analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | %15 TTK %25 RUS %20 KOL %40 AVS | %15 TTK %15 RUS %30 KOL %40 AVS | %10 TTK %10 RUS %40 KOL %40 AVS |
|--------|------|------|------|-------|--|--|--|
| Nem | 5,65 | 8,14 | 8,95 | 10,81 | 11,30 | 11,01 | 11,61 |

4.1.2. Kül Analizi

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D3174/ASTM D7582 standardına uygun olarak yapılmıştır [21,22]. Analizde kullanılacak porselen kül krozelere, çalışılacak sıcaklıkta şartlandırma yapılmıştır. Desikatörde soğutulan krozelerin boş tartımları yapıp ve $1 \text{ g} \pm 0,1 \text{ mg}$ yaklaşımlı numune porselen krozeyle tartılmıştır. Taşkömürü numunelerinde, fırın sıcaklığı $500 \pm 15^\circ\text{C}$ ' den $750 \pm 15^\circ\text{C}$ ' ye 1 saatte yükseltilecek son sıcaklık olan sırasıyla 750 ve 950°C ' de 2 saat yakılmıştır. Krozeler fırından çıkartılmış ve desikatöre soğuması için alınmıştır. Soğuduktan sonra porselen krozeler tartılmıştır.

Çizelge 4. 3. Kül analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | %15 TTK %25 RUS %20 KOL %40 AVS | %15 TTK %15 RUS %30 KOL %40 AVS | %10 TTK %10 RUS %40 KOL %40 AVS |
|--------|-------|-------|-------|------|--|--|--|
| Kül | 11,22 | 11,42 | 12,19 | 9,56 | 10,43 | 10,61 | 10,62 |

4.1.3. Külde Alkali Analizi

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D4326 standardına uygun olarak yapılmıştır [23]. 750°C de kömür fırınlarda tamamen kül olana kadar yakma işlemi yapılmıştır. Sonrasında X-Ray SPEKTROMETRESİ cihazında elementel analizi yapılarak eser elementler tayin edilmiştir.

Çizelge 4. 4. Külde alkali analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | % 15 TTK | % 15 TTK | % 10 TTK |
|--------|------|------|------|------|----------|----------|----------|
| | | | | | % 25 RUS | % 15 RUS | % 10 RUS |
| | | | | | % 20 KOL | % 30 KOL | % 40 KOL |
| | | | | | % 40 AVS | % 40 AVS | % 40 AVS |
| Kül | 2,08 | 1,33 | 1,46 | 1,49 | 1,68 | 1,58 | 1,53 |



Şekil 4.2. Kömür ve kok külü numune hazırlama cihazı



Şekil 4.3. Kömür ve kok külünde analiz cihazı (XRF)

4.1.4. Uçucu Madde Oranı

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D3175/ASTM D7582 standardına uygun olarak yapılmıştır [22,24]. Analizde kullanılacak uçucu madde krozeleri, boş iken $950 \pm 20^{\circ}\text{C}$ 'de 7 dakika bekletilerek şartlandırma yapılmıştır. Desikatörde soğutulan krozelerin tartımları yapılarak 1 g. numune krozeyle tartılmıştır. $950 \pm 20^{\circ}\text{C}$ 'de 7 dk. bekletildikten sonra, fırından çıkartılıp desikatöre soğuması için alınmıştır. Desikatörde soğuyan krozelerin tartımı alınıp numunedeki ağırlık kaybı hesaplanmıştır. Uçucu madde miktarı için analitik nemin bulunması gereklidir. Kimyasal analiz için hazırlanan numuneden 1 g kapaklı krozeyle tartılıp 1 saat 105°C 'lik etüvde bekletilmiştir. Tartım farkı, analiz numunesinin % analitik nem değeridir.

Çizelge 4. 5. Uçucu madde analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | % 15 TTK % 25 RUS % 20 KOL % 40 AVS | % 15 TTK % 15 RUS % 30 KOL % 40 AVS | % 10 TTK % 10 RUS % 40 KOL % 40 AVS |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| Uçucu Madde Oranı | 25,71 | 26,74 | 27,72 | 22,11 | 27,42 | 27,60 | 27,82 |



Şekil 4.4. Taşkömüründe uçucu madde cihazı

4.1.5. Tane Boyutu Dağılımı

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D4749 standardına uygun yapılmıştır [25]. Koklaşabilir kömür numuneleri analize başlanmadan önce etüvde kurutulmuş ve kurutma işleminden sonra, numuneden 500 gr homojen örnek alınmıştır. İstenilen elek göz açıklıkları büyükten küçüğe doğru yerleştirilip en üst eleğe numune koyularak elek sarsma makinasına bağlanmıştır. Bu işlem 80 devirde 5 dakika periyotlar halinde iki kez yapıldıktan sonra elekler makinadan çıkarılarak her elek üstünde kalan numune, ayrı ayrı hassas terazide tartılmış ve her biri için % hesabı yapılmıştır.

% Her elek aralığı için $= (\text{Elek üzerinde kalan gr} \times 100) / \text{alınan numune gr}$.

Çizelge 4. 6. Tane boyutu dağılımı analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | %15 TTK %25 RUS %20 KOL %40 AVS | %15 TTK %15 RUS %30 KOL %40 AVS | %10 TTK %10 RUS %40 KOL %40 AVS |
|----------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| +3,15 mm | 13,39 | 15,73 | 17,60 | 9,24 | 14,51 | 20,96 | 18,02 |
| +2,00 mm | 10,28 | 11,98 | 9,74 | 6,22 | 8,82 | 11,05 | 9,78 |
| +1,00 mm | 19,68 | 24,18 | 17,66 | 15,54 | 18,63 | 19,89 | 20,66 |
| +0,5 mm | 20,44 | 25,48 | 18,56 | 19,78 | 19,39 | 20,13 | 21,56 |
| -0,5 mm | 36,24 | 22,63 | 36,44 | 49,22 | 38,65 | 27,97 | 29,98 |



Şekil 4.5. Tane boyutu dağılımı cihazı

4.1.6. Kükürt Analizi

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D 4239 standardına uygun olarak yapılmıştır [26]. Kömür için 0,25g. numune; kok için 0,20 g, sıvı yakıtlarda 0,35 g numune tartılarak teraziden ölçülen ağırlık bilgisayara aktarılmıştır. Numunedeki kütleli bazlı %kükürt değerleri (havada kuru) cihaz tarafından hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Kükürt analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | % 15 TTK %25 RUS %20 KOL %40 AVS | % 15 TTK % 15 RUS %30 KOL %40 AVS | % 10 TTK % 10 RUS %40 KOL %40 AVS |
|--------|------|------|------|------|---|--|--|
| Kükürt | 0,50 | 0,53 | 0,91 | 0,60 | 0,63 | 0,64 | 0,72 |



Şekil 4.6. Kükürt cihazı

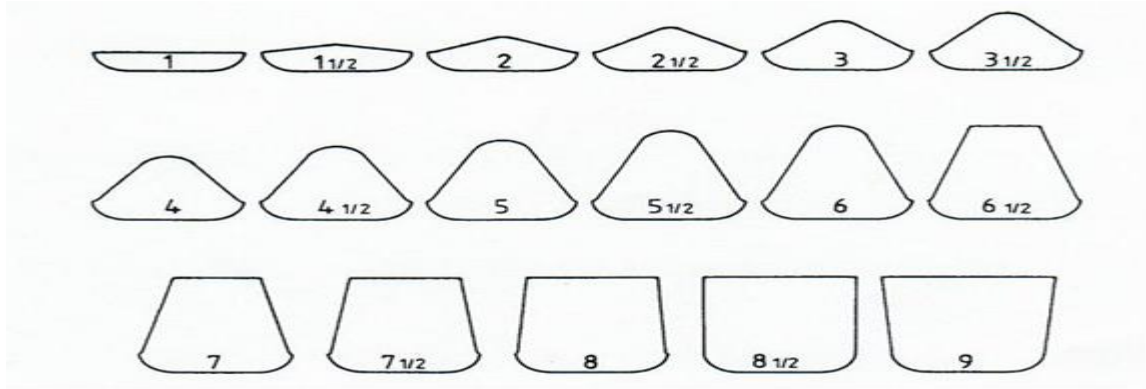
4.1.7. Serbest Şişme İndeksi, FSI

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D720 standardına uygun olarak yapılmıştır [27]. Kömür numunesi, 250 µm göz açıklığı elekten geçecek şekilde öğütülmüştür. Kömürün çok ince öğütülmesi ve öğütülmüş kömürün atmosfere gereksiz mazuriyeti önlenmiştir. Numune öğütüldükten sonra en fazla 2 saat içinde çalışılmalıdır. FSI

krozesi özeldir ve krozenin ebatları standartta tanımlıdır. Yeni öğütülmüş numuneden 1g tartılarak kömürün yüzeyini düzleştirmek için kroze, tezgah üzerinde yaklaşık 12 defa hafifçe vurulmuş ve kroze deliksiz kapak ile kapatılıp cihaza yerleştirilmiştir. Isısı $820 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ' ye ayarlanarak fırının içine kroze yerleştirilip fırın kapağı kapatılmıştır. 2,5 dakikadan az olmamak koşuluyla uçucu madde çıkışı duruncaya kadar, fırında ısıtıldıktan sonra fırından tutucusu yardımıyla alınan kroze soğumaya bırakılmıştır. Kalıntı krozeden dikkatlice çıkartılmıştır. Kömür numunesi, Şekil4.6'da gösterilen standart numaralı profiller ile kıyaslanarak kömürün şişme sayısı (FSI değeri) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Serbest şişme indeksi, FSI

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | %15 TTK %25 RUS %20 KOL %40 AVS | %15 TTK %15 RUS %30 KOL %40 AVS | %10 TTK %10 RUS %40 KOL %40 AVS |
|--------|------|------|------|------|--|--|--|
| FSI | 7,50 | 7,00 | 7,50 | 8,00 | 7,5 | 7,5 | 7,5 |



Şekil 4.7. Krozede şişme sayısı analizi skalası

4.1.8. Maksimum Akışkanlık (Plastometre)

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D2639 standardına uygun olarak yapılmıştır [28]. Plastometre için alınan numune oda sıcaklığında nem kaybı % 0,1-0,2 olacak şekilde kurutulup %100'ü 0,4 mm'lik elekten geçecek şekilde havanda öğütülmüştür.

Öğütülen numuneden 5 gr. tartım yapılmıştır. Karıştırma çubuğunu krozeeye oturtulup, numunenin bir kısmını krozeeye koyulmuş ve karıştırma çubuğu ile karıştırılmıştır. 5 g. numunenin tamamı krozeeye konulup piston aşağıya indirilerek ağırlık üzerine koyulmuştur. Çekici 12 kez ağırlığın üzerine düşürülmüş, karıştırıcı çubuğu, gaz çıkış borusuna bağlanmıştır. Karıştırıcı eksenini cihazın gövdesine bağlı döndürme milindeki yuvasına oturtulmuş ve somunu sıkılarak numune örneği analize hazırlanmıştır. Analiz bittikten sonra cihaz kendiliğinden (ALM) şekline geçer yazıcıdan neticeleri alınmaktadır. Çıktıda, başlama sıcaklığından bitiş sıcaklığına kadar olan plastikleşme özelliğine dair tüm veriler görülmüştür.

Çizelge 4.9. Maksimum Akışkanlık (Plastometre)

| Plastometre | TTK | RUS | KOL | AVS |
|--------------------------|------|------|------|------|
| Yumuşama Sıcaklığı (°C) | 398 | 391 | 394 | 404 |
| Max.Akış. Sıcaklığı (°C) | 452 | 435 | 442 | 464 |
| Katılma Sıcaklığı (°C) | 488 | 477 | 484 | 500 |
| Max.Akışkanlık (ddpm) | 2120 | 3182 | 1086 | 1196 |



Şekil 4.8. Maksimum akışkanlık (Plastometre) cihazı

4.1.9. Oksidasyon

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D5263 standardına uygun olarak yapılmıştır [29]. 250 ml 'lik iki behere 0,1 mg hassasiyetle 1'er gr kömür numunesi tartılarak üzerine 100 ml NaOH çözelti ilave edilmiş ve 1 damla Tergitol TMN 6 damlatılıp karıştırılmıştır. Aynı şekilde kör için iki behere (içinde kömür numunesi olmadan) 100 ml'lik NaOH çözeltisi alınıp ve 1 damla Tergitol TMN 6 damlatılıp karıştırma yapılmıştır. Beherler daha önce ısıtılan ısıtıcı plaka üzerine yerleştirilmiş ve termometre ile sıcaklık takibi ile 98°C'ye getirilmiştir. Beheri; sıcaklık 98°C 'ye ulaştığında her bir dakikada en az 5 kez karıştırılarak 3 dakika süreyle kaynatılıp daha sonra beherler ısıtıcı plaka üzerinden alınmış ve ortam koşullarında 30 dakika süreyle soğutulmuştur. Beher içeriğini Siyah Bant üstte, Mavi Bant altta olmak üzere iki filtre kağıdını üst üste koyarak 100 ml' lik bir mezüre süzölmüştür. Süzme işlemi sonunda mezürdeki süzöntüyü destile suyla 80 ml ye tamamlayıp karıştırılarak 10 mm'lik cam küvet içine konulmuş ve cihazın küvetine yerleştirilmiştir.

Çizelge 4.10. Oksidasyon analiz sonuçları

| Kömür | TTK | RUS | KOL | AVS |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Oksidasyon (%) | 99,54 | 97,77 | 98,58 | 95,00 |



Şekil 4.9. Oksidasyon cihazı

4.1.10. Dilatasyon

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D 5515 standardına uygun olarak yapılmıştır [30]. Kömür tipleri oksitlenmeye karşı çok duyarlı olduğu için toplam örneğin azaltılmasından sonra hava ile temasını en aza indirmek gerekir. Numune kırıcıda kırılarak %100'ü 0,2 mm'lik elekten geçecek şekilde öğütme cihazında öğütülmüştür. 10 g. kömür örneği 1-1,5 ml su ile nemlendirilip hızlıca karıştırılmıştır. Kömür kalıbı sıkıştırma cihazına huni şeklindeki (geniş) ağzı yukarı gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Kömür numune hazırlama kabına azar azar eklenerek numune sıkıştırma çubuğuyla kalıp içine sıkıştırılıp kayar çekici düşürülüp, sıkıştırma iğnesi daha fazla hareket etmeyinceye kadar sıkıştırılmıştır. Kalıp sıkıştırılmış kömür ile doluncaya kadar bu işlem tekrarlanmıştır. Sonrasında kalıp çıkarılıp, itme kılavuzu ile birlikte hidrolik iticiye yerleştirilmiştir. Ana silindir üzerindeki kolla yavaşça pompalanıp, itici piston kömür kaleminin tabanına dokunduğunda aşamalı olarak kuvvet uygulanmış ve hidrolik pompa üzerindeki valf açılarak kalıp çıkartılmıştır. Kömür kalemi 60 mm boyunda olacak şekilde kesilmiştir. Temiz bir dilatometre tüpünün içine koyulup analize hazır hale getirilmiştir.

Çizelge 4.11. Dilatasyon analiz sonuçları

| Dilatometre | TTK | RUS | KOL | AVS |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Yumuşama Sıcaklığı (°C) | 378 | 378 | 364 | 400 |
| Max.Kontraksiyon Sıcaklığı (°C) | 428 | 417 | 424 | 431 |
| Max.Dilatasyon Sıcaklığı (°C) | 478 | 467 | 467 | 488 |
| Kontraksiyon (%) | 24 | 18 | 19 | 20 |
| Dilatasyon (%) | 137 | 64 | 94 | 162 |



Şekil 4.10. Dilatasyon cihazı

4.1.11. Kalori

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D 5865/ISO 1928 standardına uygun olarak yapılmıştır [31,32]. Yakma krozesine 0.8-1.2 g. arasında ± 0.0001 g hassasiyetle kömür numunesi terazide tartılan değer teraziden otomatik cihaza gönderilir. Yakma teli aparata, yakma kabına temas etmeyip sadece numuneye temas edecek şekilde bağlanarak bomba kapağı kapatılmıştır. Bomba, analizden sonra 250 ml'lik behere saf su ile yıkanarak alınmıştır. 8 damla metil turuncu ya da metil kırmızısı eklenerek sodyum karbonat ile titrasyon yapılmıştır. Çözelti konsantrasyonu 0.0699 N olunca ve asit titrasyonunda kullanılan çözeltinin 1 ml'si yaklaşık 4,2 J (1 cal) olarak, harcanan 1ml=1 cal olarak alınıp harcanan ml sarfiyatı kayıt altında alınmıştır.

Çizelge 4.12. Kalori analiz sonuçları

| Numune (Kcal/Kg) | TTK | RUS | KOL | AVS | % 15 TTK % 25 RUS % 20 KOL % 40 AVS | % 15 TTK % 15 RUS % 30 KOL % 40 AVS | % 10 TTK % 10 RUS % 40 KOL % 40 AVS |
|------------------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| Kömür | 7.433 | 7.498 | 7.267 | 7.618 | 7.473 | 7.477 | 7.495 |



Şekil 4.11. Kalori cihazı

4.2.KOK KÖMÜR ANALİZLERİ

4.2.1. Nem Analizi

Kömürlerde toplam nem analizi Etüv cihazlarında (Şekil 4.1) yapılmıştır. Kömürlerde nem analizi kömürün yapısında olan uçucu maddeleri kaybetmemesi adına havada kurutma yapılır. Standart gereği max: 40 °C dir. Etüvler bu belirtilen sıcaklıkta tutularak kömür numuneleri sabit tartıma gelene kadar etüv cihazında bekletilmiştir.

Toplam nem analizi; kaba nem ve bünyesel nemlerin (200°C) bulunup hesap yöntemi ile geçilmesi sonucu bulunmuştur.

Çizelge 4.13. Kok kömürü nem analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | %15 TTK %25 RUS %20 KOL %40 AVS | %15 TTK %15 RUS %30 KOL %40 AVS | %10 TTK %10 RUS %40 KOL %40 AVS |
|--------|------|------|------|------|--|--|--|
| Nem | 8,98 | 8,14 | 9,27 | 6,18 | 6,75 | 7,37 | 5,54 |

4.2.2. Kül Analizi

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D3174/ASTM D7582 standardına uygun olarak yapılmıştır [18]. Çizelge 4.14'te kok kömüründeki kül analiz sonuçları paylaşılmıştır.

Çizelge 4.14. Kok kömüründe kül analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | % 15 TTK % 25 RUS % 20 KOL % 40 AVS | % 15 TTK % 15 RUS % 30 KOL % 40 AVS | % 10 TTK % 10 RUS % 40 KOL % 40 AVS |
|---------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| Kül (%) | 13,74 | 11,40 | 13,95 | 11,55 | 12,57 | 13,03 | 12,84 |

4.2.3. Külde Alkali Analizi

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D4326 standardına uygun olarak yapılmıştır [23]. Çizelge 4.15'te kok kömüründe külde alkali analiz sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 4.15. Kok kömüründe külde alkali analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | % 15 TTK % 25 RUS % 20 KOL % 40 AVS | % 15 TTK % 15 RUS % 30 KOL % 40 AVS | % 10 TTK % 10 RUS % 40 KOL % 40 AVS |
|------------|------|------|------|------|--|--|--|
| Alkali (%) | 2,08 | 1,37 | 1,58 | 1,51 | 1,66 | 1,65 | 1,71 |

4.2.4. Uçucu Madde Oranı

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D3175/ASTM D7582 standardına uygun olarak yapılmıştır [22,23]. Çizelge 4.16'da kok kömüründeki uçucu madde analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.16. Kok kömüründe uçucu madde analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | %15 TTK %25 RUS %20 KOL %40 AVS | %15 TTK %15 RUS %30 KOL %40 AVS | %10 TTK %10 RUS %40 KOL %40 AVS |
|-----------------------|------|------|------|------|--|--|--|
| Uçucu Madde Oranı (%) | 0,75 | 0,73 | 0,71 | 0,79 | 0,66 | 0,66 | 0,67 |

4.2.5. Tane Boyutu Dağılımı

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D4749 standardına uygun yapılmıştır [24]. Çizelge 4.17’de kok kömüründe tane boyutu dağılımı analiz verileri paylaşılmıştır.

Çizelge 4.17. Kok kömüründe tane boyutu dağılımı analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | %15 TTK %25 RUS %20 KOL %40 AVS | %15 TTK %15 RUS %30 KOL %40 AVS | %10 TTK %10 RUS %40 KOL %40 AVS |
|--------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| +75 mm | 6,90 | 7,10 | 4,20 | 20,00 | 6,70 | 8,60 | 7,30 |
| +50 mm | 50,20 | 52,10 | 53,40 | 58,90 | 50,10 | 56,90 | 53,80 |
| +25 mm | 36,80 | 33,60 | 34,90 | 18,10 | 37,30 | 30,30 | 34,00 |
| -5 mm | 6,10 | 7,20 | 7,50 | 3,00 | 5,90 | 4,20 | 4,90 |

4.2.6. Kükürt Analizi

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D 4239 standardına uygun olarak yapılmıştır [25]. Çizelge 4.18’de kok kömüründeki kükürt analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.18. Kok kömüründe kükürt analiz sonuçları

| Numune | TTK | RUS | KOL | AVS | % 15 TTK %25 RUS %20 KOL %40 AVS | % 15 TTK % 15 RUS %30 KOL %40 AVS | % 10 TTK %10 RUS %40 KOL %40 AVS |
|--------|------|------|------|------|---|--|---|
| Kükürt | 0,49 | 0,54 | 0,79 | 0,57 | 0,61 | 0,62 | 0,66 |

4.2.7. Kalori Analizi

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D5865/ISO 1928 standardına uygun olarak yapılmıştır[23,24]. Çizelge 4.19’da kok kömüründeki kalori analiz sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 4.19. Kok kömüründe kalori analiz sonuçları

| Numune (Kcal/Kg) | TTK | RUS | KOL | AVS | % 15 TTK %25 RUS %20 KOL %40 AVS | % 15 TTK % 15 RUS %30 KOL %40 AVS | % 10 TTK %10 RUS %40 KOL %40 AVS |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|---|--|---|
| Kok | 6.500 | 6.856 | 6.594 | 6.795 | 6.751 | 6.700 | 6.672 |

4.2.8. M40 ve M10 Analizi

Toplam numune olarak, en az 200 kg kok alınmış ve analiz için 20 mm elek üstü numunesi Micum indeksi testinde kullanılmıştır. 110 mm’lik elekten başlayarak, Kok numunesi toplam kütlelerinin % 5’inden daha az kısmı en büyük elek açıklığında kalasıya kadar fraksiyonlara ayırma işlemi yapılmıştır. Kullanılan alt elekler, 100 mm, 90 mm, 80 mm, 75 mm, 60 mm, 50 mm, 40 mm, 25 mm, 20 mm’dir. Tane büyüklüğü 20 mm’den büyük 50 kg± 0,5 kg met. kok alındıktan sonra terazinin üzerindeki F tuşuna basılarak tartılan 50kg kömürden % hesabı yapılmıştır. 50kg’lık kömür örneği, özenle boş ve temiz olan tambura yüklenmiştir. Deney numunesinin tambura yüklenmesi sırasında, kokun kırılmaması için, numuneyi tamburun içine elle yükleme yapılmıştır. Tamburun kapağı sıkıca kapatılıp sabit bir frekansla ve 25±1 devir/dk. Süratle 100 devir döndürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Tambur durunca tozun

çökmesi için 1 dakika beklendikten sonra kapak açılıp kok tepsiye boşaltılmıştır. Tambur sonrası çıkan kok, sarsak elekten (40 mm ve 10 mm' lik) elenmiştir. 40 mm' lik elek üstünde kalan kok gözlemlenmiş ve kantar sonucu % **M₄₀** değeridir. 10 mm' lik elek üzerindeki kok tartılmıştır. Kantarda ki değer 40 mm + 10 mm elek üstü toplam % sidir.

% **M₁₀** = 100 - (40 mm + 10 mm) 'dir.

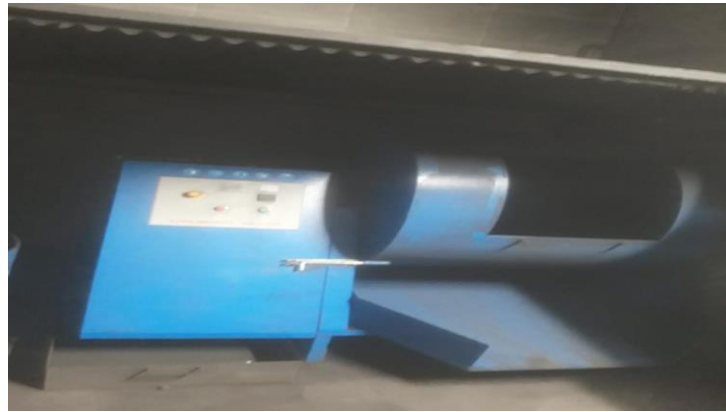
M₄₀ indeksi: Tamburun 100 devir yaptıktan sonra delik açıklığı 40 mm ve daha büyük deney elekleri üzerinde kalan deney numunesi kısmının yüzdesidir.

M₁₀ indeksi: Tamburun 100 devir yaptıktan sonra delik açıklığı 10 mm olan deney eleklerinden geçen deney numunesi kısmının yüzdesidir. Bu yüzde tane büyüklüğü 10 mm'den daha az fraksiyon kütlelerinden elde edilir.

Çizelge 4.20'de kok kömüründeki M40 ve M10 analiz sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 4.20. Kok kömüründe M40 ve M10 analiz sonuçları

| Numune (Kcal/Kg) | TTK | RUS | KOL | AVS | % 15 TTK % 25 RUS % 20 KOL % 40 AVS | % 15 TTK % 15 RUS % 30 KOL % 40 AVS | % 10 TTK % 10 RUS % 40 KOL % 40 AVS |
|------------------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| M40 | 65,40 | 67,40 | 68,20 | 82,40 | 72,70 | 76,50 | 76,00 |
| M10 | 5,60 | 6,10 | 7,60 | 5,80 | 6,50 | 6,50 | 6,30 |



Şekil 4.12. Micum Tambur Cihazı

4.2.9. Reaktivite Testi (CRI-CSR)

Ulusal/Uluslararası test metodu ASTM D 5341 standardına uygun olarak yapılmıştır [33].

CRI (Coke Reactivity Index) ölçümü için;

200 gr kok numunesi tartılıp test tüpüne yerleştirilmiştir. Analiz Reaktivite cihazında 2 saat süreyle CO₂ gazı geçişi ile reaksiyona uğramaktadır. Soğuma sonrasında tartım yapılmış ve %'lik kayıp reaktivite indeksi olmak üzere not alınmıştır.

CSR (Coke Strength After Reaction) ölçümü için;

Tambur 600 deviri 30dk 'da tamamlamaktadır. +9,5mm elekten elenip elek üstü tartılmıştır. Elek üstünün reaktivite sonrası tartıma oranı % CSR olarak kaydedilmiştir. Çizelge 4.2.1'de kok kömüründe reaktivite analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.21. Kok kömüründe reaktivite analiz sonuçları

| Numune (%) | TTK | RUS | KOL | AVS | % 15 TTK % 25 RUS % 20 KOL % 40 AVS | % 15 TTK % 15 RUS % 30 KOL % 40 AVS | % 10 TTK % 10 RUS % 40 KOL % 40 AVS |
|------------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|
| CRI | 32,44 | 29,35 | 20,44 | 16,09 | 24,95 | 24,33 | 23,19 |
| CSR | 55,45 | 50,11 | 68,20 | 70,00 | 63,43 | 62,15 | 61,56 |



Şekil 4.13. Reaktivite Cihazı

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma için kullanılan herbir kömür için ayrı ayrı analizler yapılmış olup elde edilen analiz sonuçları incelenmiştir.

Kok kömürü üretiminde fırın duvarlarının deformasyona uğramaması adına önemli bir parametre olan duvar basıncı, kullanılan taş kömüründe genel olarak uçucu madde oranına bağlıdır. Uçucu maddeler düşük, orta ve yüksek olmak üzere tabir edilmektedir. Kok fabrikalarına orta uçuculu kömür tercih edilmesinin sebebi hem üretilecek olan ham kok gazı dengesi hemde fırın duvarlarında oluşacak basınçtır. Bu nedenle yapılan harmanlardan elde edilen kok kömüründeki en uygun uçucu madde oranı % 0,66 seçilmiştir.

Koktaki kükürt üretilen demir ve çeliğin kırılabilirliğini artırıp kalitesinde düşüşe neden olmaktadır. Kok bünyesindeki kükürtte meydana gelen artış kullanılacak kok miktarını da arttırmaktadır. Bu nedenle yapılan harmanlardan elde edilen kok kömüründeki en uygun kükürt oranı % 0,61 seçilmiştir.

Kok bünyesinde olan kül miktarının artması karbon miktarını azaltmakta ve kalorifik değerini düşürmektedir. Aynı zamanda kül miktarının artması mevcut külün uzaklaştırılması için ilave enerji ihtiyacı oluşturmaktadır. Kok külündeki %1' lik artış, yüksek fırında kullanılan kok miktarını 10kg/ton sıvı ham demir artırmaktadır. Bu nedenlerle yapılan harmanlardan elde edilen kok kömüründeki en uygun kül oranı % 12,57 seçilmiştir.

Kok reaktivite indeksi (CRI) %25 üzerinde olursa her bir %1'lik artış yüksek fırında 1ton sıvı ham demir üretimi için kullanılan kok miktarını 1,5 kg artırır. Reaksiyon sonrası kok mukavemeti (CSR) için alt sınır değer %57,5'tur. Bu değer altındaki her

%1 puanlık artış yüksek fırında 1ton sıvı ham demir üretimi için kullanılan kok miktarını 1,45 kg artırır. %57,5 üzeindeki CSR değerlerinde ise kok miktarını 0,3 kg azaltmaktadır. Bu nedenle yapılan harmanlardan elde edilen kok kömüründeki en uygun uçucu madde oranı CRI % 24,95, CSR oranı % 63,43 seçilmiştir.

AVS kömürleri koklaştırma (piroliz) işleminde en kararlı (kok kalitesi ve fırın duvar basıncı açısından) kömürlerden bir tanesi olduğu için harman yüzdesi sabit tutulmuş, diğer kömürlerin yüzdeleri değiştirilerek harman oluşturulmuştur.

KOL kömürleri koklaştırma (piroliz) işleminde %20 oranında kullanılma sebebi uçucu madde, kükürt ve kül oranının değerlerinin yüksek (istenmeyen) olmasıdır.

TTK kömürleri koklaştırma (piroliz) işleminde %15 oranda kullanılma sebebi alkali oranının yüksek olması (istenmeyen) olmasıdır.

RUS kömürleri koklaştırma (piroliz) işleminde %25 oranda kullanılma sebebi alkali değerinin TTK ve KOL kömürlerinden düşük olmasıdır.

Çizelge 5.1. de verilen hedef değerlerine göre kullanılabilen en uygun kömür harmanının %15 TTK, %25 RUS, %20 KOL, %40 AVS olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.1. Kok kömürü hedef ve sonuç karşılaştırması

| | | HEDEF (%) | SONUÇ (%) | | |
|---------------------|--------|-----------|---|---|---|
| | | | % 15 TTK %25 RUS %20 KOL %40 AVS | % 15 TTK %15 RUS %30 KOL %40 AVS | % 10 TTK %10 RUS %40 KOL %40 AVS |
| Nem | (max.) | 6,00 | 6,75 | 7,37 | 5,54 |
| Kül (kb) | (max.) | 12,00 | 12,57 | 13,03 | 12,84 |
| Top. Alkali (külde) | (max.) | 2,00 | 1,66 | 1,65 | 1,71 |
| Uçucu madde (kb) | (max.) | 1,00 | 0,66 | 0,66 | 0,67 |
| Sabit Karbon (kb) | (min.) | 86,00 | 86,77 | 86,30 | 86,49 |
| Kükürt (kuru baz) | (max.) | 0,70 | 0,61 | 0,62 | 0,66 |
| M 40 | (min.) | 75 | 72,70 | 76,50 | 76,00 |
| M 10 | (min.) | 9 | 6,50 | 6,50 | 6,30 |
| CRI | | 25,0-30,0 | 24,95 | 24,33 | 23,19 |
| CSR | | 55,0-60,0 | 63,43 | 62,15 | 61,56 |
| Kalori (kcal/kg) | (min.) | 6.700 | 6.751 | 6.700 | 6.672 |
| EBAT | +75 mm | 10 | 6,70 | 8,60 | 7,30 |
| | +50 mm | 50 | 50,10 | 56,90 | 53,80 |
| | +25 mm | 35 | 37,30 | 30,30 | 34,00 |
| | -5 mm | 5 | 5,90 | 4,20 | 4,90 |

KAYNAKLAR

1. "Kömür Nedir? Çeşitleri Nelerdir? - Enerji Portalı", <https://www.enerjiportali.com/komur-nedir-cesitleri-nelerdir/> (2023).
2. Simonis, W., Gnuschke, G., and Beck, K.-G., "Der Einfluß Des Koksbildungsvermögens Auf Die Koksfestigkeit", *Steinkohlenbergbauverein*, (1966).
3. Miyazu, T., Okuyama, Y., and KOIZUMI, T., "The evaluation and design of blends using many kinds of coal for coke making", (1974).
4. Yaşar, O., "Türk imalat sanayinde lokomotif bir sektör: Demir çelik sanayi", *Marmara Coğrafya Dergisi*, (20): 42–78 (2009).
5. Müdürlüğü, İ. G., Maden, M., and Dairesi, O. Ü., "Demir-çelik, demir-çelikten eşya sektör raporu", *Ankara: TC Ekonomi Bakanlığı, Maden, Metal Ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı*, (2018).
6. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Sektörel Atık Kılavuzları Demir Çelik Sanayi", https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/Demir_celik_Sanayi_Kilavuzu.pdf, (2020).
7. Proctor, D. M., Fehling, K. A., Shay, E. C., Wittenborn, J. L., Green, J. J., Avent, C., Bigham, R. D., Connolly, M., Lee, B., and Shepker, T. O., "Physical and chemical characteristics of blast furnace, basic oxygen furnace, and electric arc furnace steel industry slags", *Environmental Science & Technology*, 34 (8): 1576–1582 (2000).
8. Ballı, M. F., "Tav Firinlarında Kok Gazı Yerine Doğalgaz Kullanımının Ekonomik Ve Çevresel Sürdürülebilirlik Analizi", **Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi**, (2021).
9. Bugayev, K. and Tretyakov, E., "Iron and Steel Production", *The Minerva Group, Inc.*, (2001).
10. Ergül, M., "Kok Firinlarında Enerji Analizi", **Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi** (2020).
11. Babich, A. and Senk, D., "Coke in the iron and steel industry", *New Trends in Coal Conversion, Elsevier*, 367–404 (2019).
12. Kural, O., "Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri", *Özgün Ofset Matbaacılık AŞ*, 785: (1998).

13. Çakır, A. M., "'Kok Fırın Gazı Prosesleri ve Ek Tesisleri", *Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2006).
14. Yılmaz, İ., "Sıvı Yakıtlı Yakma Sistemlerinde Yanma ve Emisyon Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 4-7*, (2001).
15. Jones, J. C., "Combustion Science: Principles and Practice", *Millennium Books*, (1993).
16. "The Wonder of Coal and Its Products - Continued - ChemEng Evolution", <https://www.chemengevolution.org/energy/coal/the-wonder-of-coal-and-its-products-continued> (2023).
17. "Standard Practice for Preparing Coal Samples for Analysis", <https://www.astm.org/d2013-07.html> (2023).
18. "Standard Practice for Collection and Preparation of Coke Samples for Laboratory Analysis", https://www.astm.org/d0346_d0346m-11r19e01.html (2023).
19. Zimmerman, R. E., "Evaluating and testing the coking properties of coal. ", (1979).
20. "Standard Test Method for Total Moisture in Coal", <https://www.astm.org/standards/d3302> (2023).
21. "Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal", <https://www.astm.org/d3174-12r18.html> (2023).
22. "Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis", <https://www.astm.org/d7582-15.html> (2023).
23. "Standard Test Method for Major and Minor Elements in Coal Ash By X-Ray Fluorescence", <https://www.astm.org/d4326-21.html> (2023).
24. "Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke", <https://www.astm.org/d3175-20.html> (2023).
25. "Standard Test Method for Performing the Sieve Analysis of Coal and Designating Coal Size", <https://www.astm.org/d4749-87r12.html> (2023).
26. "Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion", <https://www.astm.org/d4239-18e01.html> (2023).
27. "Standard Test Method for Free-Swelling Index of Coal", <https://www.astm.org/d0720-91r10.html> (2023).
28. "Standard Test Method for Plastic Properties of Coal by the Constant-Torque Gieseler Plastometer", https://www.astm.org/d2639_d2639m-21a.html (2023).

29. "Standard Test Method for Determining the Relative Degree of Oxidation in Bituminous Coal by Alkali Extraction", <https://www.astm.org/d5263-21.html> (2023).
30. "Standard Test Method for Determination of the Swelling Properties of Bituminous Coal Using a Dilatometer", <https://www.astm.org/d5515-22.html> (2023).
31. "Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke", https://www.astm.org/d5865_d5865m-19.html (2023).
32. Internet: 14:00-17:00, "ISO 1928:2020", <https://www.iso.org/standard/75883.html> (2023).
33. "Standard Test Method for Measuring Coke Reactivity Index (CRI) and Coke Strength After Reaction (CSR)", https://www.astm.org/d5341_d5341m-19.html (2023).

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet ATAY ilk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Safranbolu Lisesi Sayısal Bölümü'nden mezun oldu. Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde okudu. 2015 yılında Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları Bataryalar İşletme Mühendisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir