

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak BULUT

**YÜKSEK FIRINLARDA VERİM ARTIRMAK AMACIYLA
KOKLAŞABİLİR YERLİ ve İTHAL KÖMÜRLERİN OPTİMUM
HARMANLAMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2010

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK FIRINLARDA VERİM ARTIRMAK AMACIYLA
KOKLAŞABİLİR YERLİ ve İTHAL KÖMÜRLERİN OPTİMUM
HARMANLAMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Burak BULUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 09/02/2010 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

.....

Yrd.Doç.Dr.Hüseyin VAPUR
Danışman

.....

Prof.Dr.Oktay BAYAT
Üye

.....

Doç.Dr.Mehmet YILDIRIM
Üye

.....

Öğr.Gör.Dr.Nil YAPICI
Üye

.....

Öğr.Gör.Dr.Arif HESENOV
Üye

Bu tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

☐ **Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK FIRINLARDA VERİM ARTIRMAK AMACIYLA KOKLAŞABİLİR YERLİ ve İTHAL KÖMÜRLERİN OPTİMUM HARMANLAMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Burak BULUT

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin VAPUR

Yıl : 2010, **Sayfa:** 87

Jüri : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin VAPUR

Prof. Dr. Oktay BAYAT

Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

Öğr. Gör. Dr. Nil YAPICI

Öğr. Gör. Dr. Arif HASENOV

Bu çalışmada ithal taşkömürleri kok fırınlarına doğrudan şarj edilerek ve TTK taşkömürleriyle harmanlanması sonucu elde edilen kok kalitesinin değerlendirilmesi ve optimum harmanlama oranının bulunarak bunun Yüksek Fırınlardaki teorik olarak yansımaları hesaplanmıştır. Ayrıca ithal kömürlerin tek başlarına işletme şartlarında koklaşma kriterlerinin ne olduğunu da ortaya konulmuştur.

Stok sahasından her kömür (TTK, ABD, Ukrayna ve Kanada kaynaklı) için ayrı ayrı numuneler alınmış ve kömürlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada tek kaynak kömürlerin koklaştırılmasının yanısıra TTK kömürleriyle yapılan harmanlarda kullanılmıştır. Çalışmanın her aşamasında yaklaşık 200 ton kömür belirlenen 10 adet kok fırınına şarj edilerek 18–20 saat koklaşma süresi beklenmiş, oluşan koktan numune alınarak kok analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları incelenerek üçlü harman için en uygun karışımın %20 TTK, %20 Ukrayna, %60 Kanada olduğu sonucuna varılmış ve mevcut stok durumu değerlendirilerek bu harman prostele kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kok Fabrikası, Koklaşabilir Kömür, Kok, Yüksek Fırın, Harmanlama

ABSTRACT

MSc THESIS

DETERMINATION OF OPTIMUM BLENDING CHARACTERISTICS OF COKING DOMESTIC AND IMPORTED COALS TO INCREASE PRODUCTIVITY AT BLAST FURNACES
--

Burak BULUT

**DEPARMENT OF MINING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY ÇUKUROVA**

Supervizor : Assist. Prof. Dr. Hüseyin VAPUR

Year : 2010, **Pages:** 87

Jury : Assist. Prof. Dr. Hüseyin VAPUR
Prof. Dr. Oktay BAYAT
Assoc. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM
Lecturer Dr. Nil YAPICI
Lecturer Dr. Arif HESENOV

In this study, the quality of coke produced by using the direct charge of imported coal or blended coal (TTK and imported coal) to the coke ovens was determined, and the effect of the optimum blending rate for the Blast Furnaces were evaluated. Also, this study demonstrates the coking criterion of just imported coals at operating conditions. The coal samples (From TTK, USA, Ukraine and Canada) were taken from the stock zone separately and the physical and chemical properties of these samples were determined.

In this study, not only one sourced coals but also coal blend with TTK were used for coking process. In all stages of the study, approximately 200 tones of coal were charged to designate 10 coke ovens and after coking time of 18 – 20 hours, the coke samples were analyzed. Then, the result of this analyze was examined and the optimum blend structure was chosen as 20 % TTK, 20 % Ukraine, 50 % Canada coals. This blend was used in production up to the evaluation of the coal stock.

Keywords: Coking plant, Coking Coal, Coke, Blast Furnace, Blending

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresi boyunca gerek aldığım dersler gerekse tez çalışmalarım ile ilgili bilgi derlemelerinde ve çalışma verilerinin olgunlaştırılmasında yardımını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin VAPUR'a, Kok Fabrikaları ve Yüksek Fırın prosesleri konusunda bilgilerini benimle paylaşan, Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları Müdürü Sayın Mehmet AĞUŞ'a ve Yüksek Fırınlar Müdürü Sayın Abdolvahap ÇELEBİ'ye, Laboratuvar çalışma ve dokümanlarında yardımcı olan Kalite Yönetim Başmühendisi Ümit UZUN'a, kullanılan kaynakları hazırlayan tüm editör, yazar ve adı geçenlere ve çalışmalarım da manevi desteğini eksik etmeyen çok değerli eşim Saadet BULUT'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGE ve KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları.....	2
1.1.1. Kömür Hazırlama Tesisleri.....	4
1.1.2. Kok Fırınları	9
1.1.3. Kok Kırma Eleme Tesisleri.....	10
1.1.4. Yan Ürünler Tesisleri.....	12
1.1.4.1. Kok Gazı tesisleri.....	12
1.1.4.2. Amonyum Sülfat Tesisleri.....	14
1.1.4.3. Benzol Fabrikası.....	14
1.1.4.4. Katran Fabrikası.....	14
1.1.4.5. Pres Naftalin Fabrikası.....	14
1.2. Kardemir A.Ş. Yüksek Fırınlara	15
1.2.1. Cevher Hazırlama ve Harmanlama.....	15
1.2.2. Sinter Tesisleri.....	16
1.2.3. Şarj Tesisleri.....	17
1.2.4. Sobalar.....	17
1.2.5. Yüksek Fırınlara.....	18
1.2.6. Gaz Temizleme Tesisleri.....	19
1.2.7. Ergimiş Demir Cevheri Oluşumu.....	19
1.3. Kömür.....	21
1.3.1. Kömürün Sınıflandırılması.....	21
1.3.2. Kömürün Kimyasal Bileşenleri.....	24
1.3.3. Maseraller.....	25
1.4. Koklaşma.....	28
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	32

3. MATERYAL ve METOT.....	41
3.1. Materyal.....	41
3.1.1. Kömür Örnekleri.....	41
3.1.2. Kömürün Harmanlanması.....	42
3.2. Metot.....	44
3.2.1. Kömür Analizleri.....	44
3.2.2. Kok Analizleri.....	44
3.2.3. Numunelerin Hazırlanması.....	45
3.2.3.1. Taşkömürü Numunesinin Hazırlanması.....	45
3.2.3.2. Metalurjik Kok Numunelerinin Hazırlanması.....	45
3.2.4. Kısa Analizler.....	46
3.2.4.1. Taşkömüründe Nem Tayini.....	46
3.2.4.2. Kokta Nem tayini.....	46
3.2.4.3. Taşkömüründe Kül Tayini.....	46
3.2.4.4. Kokta Kül Tayini.....	47
3.2.4.5. Uçucu Madde Oranı.....	47
3.2.5. Tane Boyu Dağılımı.....	48
3.2.6. Kükürt Tayini.....	48
3.2.7. Serbest Şişme İndeksi, FSI	49
3.2.8. Maksimum Akışkanlık.....	49
3.2.9. Kömür ve Kok Külünde Alkali Tayini.....	51
3.2.10. Oksitlenme.....	51
3.2.11. Dilatasyon.....	52
3.2.12. Kalori.....	53
3.2.13. Aşınma (Micum)Testi.....	54
3.2.14. Kok Reaktivite Analizleri.....	55
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	57
4.1. Kısa Analizler.....	58
4.2. Tane Boyutu Dağılımı.....	60
4.3. Kükürt Tayini.....	62
4.4. Serbest Şişme İndeksi, FSI	62
4.5. Maksimum Akışkanlık.....	63
4.6. Dilatasyon.....	64
4.7. Kömür ve Kok Külünde Alkali Tayini.....	65
4.8. Kömürde Oksidasyon.....	67
4.9. Vitrit Yansıma.....	68
4.10. Kalori.....	70

4.11. Aşınma (Micum)Testi.....	70
4.12. Kokta Reaktivite	71
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	73
5.1. Farklı Kok Numunelerinin Yüksek Fırın Proses Verimine Etkileri.....	73
5.1.1. Nem Miktarının Etkisi.....	73
5.1.2. Kül Miktarı Etkisi.....	74
5.1.3. Kükürt Miktarı Etkisi.....	75
5.1.4. Alkali Değeri Etkisi.....	76
5.1.5. Stabilitenin Etkisi (M40-Micum).....	77
5.1.6. Koklaşma Sonrası Stabilite (CSR) Etkisi.....	78
5.2. Öneriler.....	79
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları kapasite değerleri (Ağuş, 2008)	3
Çizelge 1.2. Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları üretim çeşit ve miktarları (Ağuş, 2008).....	4
Çizelge 1.3. Kömür Hazırlama Tesisi kapasite değerleri (Ağuş, 2008)	5
Çizelge 1.4. Kok Kırma Eleme Tesisi kapasite değerleri (Ağuş, 2008).....	11
Çizelge 1.5. Kırma Eleme Tesisi ürün ebat, verim ve kullanım alanları (Ağuş, 2008).....	12
Çizelge 1.6. Yan Ürün Tesisi gaz hattı kapasite verileri (Ağuş, 2008)	13
Çizelge 1.7. Yüksek Fırın Tesisleri Soba özellikleri (Çelebi, 2007).....	17
Çizelge 1.8. Yüksek Fırın 2004 yılı ortalama gaz analiz değerleri	19
Çizelge 1.9. Bazı kömürlerin ölçülmüş %yansıma değerleri, Paleo sıcaklık değerleri ve karşılık geldiği kömürleşme değerleri (Boggs, 1987).....	22
Çizelge 1.10. Uluslararası Genel Kömür Sınıflaması (Coal Information Report, OECD/IEA, Paris 1983)	23
Çizelge 1.11. Kömürlerin ASTM' ye Göre Sınıflandırılması (ASTM, 1995)	24
Çizelge 1.12. Farklı Ranklardaki Kömürlere ait Kimyasal Analiz Sonuçları (Wen, 1979)	25
Çizelge 1.13. Maseraller ve Alt Grupları	27
Çizelge 2.1. Petrografik çalışmalarda bulunan maseral analizler (Toroğlu, 1999).....	32
Çizelge 2.2. Karışımların koklaştırılmasından elde edilen koklara ait analizler (Toroğlu, 1999)	32
Çizelge 2.3. Karışımların koklaştırılmasından elde edilen koklara ait analizler	34
Çizelge 2.4. Karışımların koklaştırılmasından elde edilen koklara ait analizler	35
Çizelge 2.5. Zonguldak ve İthal Taşkömürlerinin Kimyasal Analiz Sonuçları (Ateşok, 1994).....	36
Çizelge 2.6. Optimal Harmanların ve Karabük Kok Fabrikası Parametrelerinin Karşılaştırılması (Ateşok ve ark., 1994).....	38

Çizelge 2.7. Biriketlemede kullanılan kömürlerin özellikleri (Özden ve Gencer, 1983).....	39
Çizelge 3.1. Kok Fabrikalarının 2006 yılı TTK'dan alınan kömür analizleri.....	41
Çizelge 3.2. Kanada kömürlerinin tipik kalite değerleri (http://www.mining-technology.com/projects/fording/)	42
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan kömürlerin koklaşma kriterleri	44
Çizelge 4.1. Kardemir A.Ş. Kok Kalite Değerleri.....	57
Çizelge 4.2. Taşkömürlerinin kısa analiz sonuçları.....	58
Çizelge 4.3. Taşkömürü numunelerinden elde edilen kokun kısa analiz sonuçları.....	59
Çizelge 4.4. Taşkömürü ve harman numunelerinden elde edilen kokun kısa analiz sonuçları.....	60
Çizelge 4.5. Taşkömürü ve kok örneklerinin sabit karbon karşılaştırması	60
Çizelge 4.6. Taşkömürü örneklerinin elek analizleri	61
Çizelge 4.7. Metalurjik kok örneklerinin elek analizleri	62
Çizelge 4.8. Taşkömürü ve kok örneklerinin kükürt (S) değerleri.....	62
Çizelge 4.9. Taşkömürü örneklerinde yapılan serbest şişme indeksi (FSI) değerleri	63
Çizelge 4.10. Taşkömürü örnekleri plastometre analiz değerleri.....	64
Çizelge 4.11. Taşkömürü örnekleri dilatasyon analiz değerleri	65
Çizelge 4.12. Tek kaynak taşkömürü ve kok külü analizleri	66
Çizelge 4.13. Harman taşkömürü ve kok külü analizleri	67
Çizelge 4.14. Taşkömürü örneklerinin oksidasyon değerleri.....	67
Çizelge 4.15. Taşkömürü örneklerinin vitrinit yansıma değerleri.....	68
Çizelge 4.16. Taşkömürü ve kok örneklerinin kalori değerleri.....	70
Çizelge 4.17. Kok örneklerinden yapılan micum test sonuçları.....	71
Çizelge 4.18. Kok örneklerinin CRI ve CSR test sonuçları	72
Çizelge 5.1. Kok nem değeri	74
Çizelge 5.2. Kok kül değerleri.....	74
Çizelge 5.3. Taşkömürü ve kok örneklerinin kükürt (S) değerleri.....	75
Çizelge 5.4. Kok külü alkali değerleri	77

Çizelge 5.5. Kok örneklerinin M40 değerleri.....	78
Çizelge 5.6. Kok örneklerinin CSR değerleri.....	79
Çizelge 5.7. Çalışma sonucu elde edilen üçlü harman kömür ve kok analiz değerleri	81
Çizelge 5.8. Hedef kok kalite değerleri ile optimum 3'lü harman değerlerinin karşılaştırılması	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Kardemir A.Ş. Kok bataryalarının görünüşü	3
Şekil 1.2. Kömür Hazırlama Tesisi.....	5
Şekil 1.3. Kömür Boşaltma ve Stoklama ekranı.....	6
Şekil 1.4. Kömür Boşaltma ve Stoklama ekranı.....	7
Şekil 1.5. PLC kontrollü dozaj bantları ve K10A harman bandı.....	7
Şekil 1.6. Nakil Tesisi Komut ekranı.....	8
Şekil 1.7. Çekiç kollu kırıcı, iç yapısı	9
Şekil 1.8. Kok fırınlarından kokun söndürme arabasına alınışı	10
Şekil 1.9. Silindirik kırıcı iç yapısı	11
Şekil 1.10. Yüksek Fırın bölümleri (www.wikipedia.org).....	18
Şekil 1.11. Yüksek Fırın ürünü sıvı madenin potaya alınışı	20
Şekil 1.12. Kömürleşme Sürecinin Şematik Gösterimi (Speiht, 1983)	21
Şekil 1.13. Bir Bitümlü Kömürdeki Maserale Grupları (Stansberry, 2004).....	28
Şekil 1.14. Plastik bölgenin fırın içindeki davranışı (Kural, 1988).....	30
Şekil 3.1. Harmanlama bilgi giriş ekranı	43
Şekil 3.2. Lecco kükürt ölçüm cihazı.....	48
Şekil 3.3. Serbest şişme indeksi (FSI) kroze, ısıtma beki ve karşılaştırma tablosu.....	49
Şekil 3.4. Plastometre kroze ve çekici	50
Şekil 3.5. Plastometre ölçüm cihazı.....	51
Şekil 3.6. Oksidasyon ölçüm cihazı.....	52
Şekil 3.7. Dilatasyon ölçüm cihazı	53
Şekil 3.8. Kalorimetre cihazı	54
Şekil 3.9. Micum Tambur Testi tambur ölçüleri	55
Şekil 3.10. Kok reaktivite cihazı ve tamburu	56
Şekil 4.1. Dilatasyon ve kontraksiyon grafiği (Zimmerman,1979).....	64
Şekil 4.2. TTK-ABD taşkömürü harmanında vitrinit yansıma grafiği	69
Şekil 4.3. TTK-UKR taşkömürü harmanında vitrinit yansıma grafiği	69
Şekil 4.4. TTK-KAN taşkömürü harmanında vitrinit yansıma grafiği	69

SİMGELER ve KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
A.S.T.M	: The American Society for Testing and Materials
CSR	: Reaksiyon sonrası kok mukavemeti
CRI	: Kok Reaktivite Katsayısı
°C	: Santigrat derece
FSI	: Serbest şişme indeksi
ICCP	: Uluslararası Kömür Petrolojisi Komitesi
KAN	: Kanada
kb	: Kuru baz
kkb	: Kuru külsüz baz
KG	: Kok gazı
M40	: Kok mukavemet değeri
M10	: Kok tozlaşma indeksi
PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrolör.
T.D.Ç.İ.	: Türkiye Demir Çelik İşletmeleri
TSHD	: Ton sıvı ham demir
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu (Zonguldak Kömürleri)
UKR	: Ukrayna
YFG	: Yüksek fırın gazı

1. GİRİŞ

Kömür organik madde içeren ve genellikle sedimanter kayalar içerisinde sıcaklık, basınç ve bozuma gibi etkiler sebebiyle değişime uğrayan önemli bir hammaddestir. Belirli özelliklerdeki (koklaşabilir) kömürün havasız bir ortamda ısıtılması ile uçucu maddelerini kaybederek sert ve iyi pişmiş katı bir ürün bırakmasıyla oluşan kok, birçok endüstri kolunda ve özellikle demir çelik sektöründeki ham demir üretiminin temel girdisi olarak kullanılmaktadır. Gelişen ülkelerde gelişmeye paralel olarak artan çelik ihtiyacı ve bunu tetikleyen üretim ve sanayileşme sebebiyle kok ve kok üretiminde kullanılan taşkömürü ihtiyacı da o oranda artma göstermektedir. Dünya üzerindeki enerji darboğazı, ihtiyacın artması ve ekonomik krizler sanayicileri yeni hammadde kaynakları aramaya yönlendirmiş ve bunlarla ilgili çalışmaların hızlanmasına sebep olmuştur. Sanayileşmiş ülkelerde kok ihtiyacının artması kaliteli taşkömürü ihtiyacını da artırmaktadır. Ülkemiz gibi taşkömürü kaynakları sınırlı olan ülkeler gereksinimlerinin büyük bir kısmını dış kaynaklardan temin etmektedir. Dış kaynaklardan temin edilen kömürler yerli kömürlere nazaran yüksek fiyatlı olsalar da kaliteli kok eldesi sebebiyle ekonomiktir. Ancak ekonomik sorunların yaşanması, tedarik zincirlerindeki gecikmeler ve kömür üreticilerinde rekabet ortamı oluşturmak için alternatif kömür kaynakları bulma ihtiyacı her zaman söz konusu olmuştur. Alternatif kömür kaynaklarının değerlendirilmesi, kömürün kok kalitesindeki etkilerinin net olarak bilinmemesinden dolayı tereddütlerle yaklaşılan bir konu olmuştur. Kömürler analizleri ve üretilebilecek kok kalitesi çeşitli hesaplamalar ve pilot test fırını çalışmaları ile tespit edilse de çalışma şartlarındaki farklılıklar aynı kaliteye ulaşılamamasına sebep verebilmektedir. Ancak bu test ve hesaplamaların önemini de hiçbir zaman göz ardı etmemek gerekmektedir. Bu konuda, Simonis ve arkadaşları (1966) tarafından yapılan çalışmada, kömür koklaşma özelliği ve koklaştırma koşullarına bağlı olarak kok sağlamlığının hesaplanması, Gray ve arkadaşları (1978) tarafından yapılan çalışmada kömürün petrografik kompozisyonundan, kok sağlamlığının hesaplanması, Miyazu ve arkadaşları (1974) tarafından yapılan çalışmayla da kömür karışımı refleksiyon oranı (ortalama) ve akışkanlığı yardımı ile optimum kömür karışımının

saptanması çalışmaları bulunmaktadır. Kok fabrikalarında kullanılan kömür ve kömür karışımlarının koklaşma özelliğinin tespiti genelde koklaşma test fırınlarında yapılmaktadır. Test fırınlarından elde edilen sonuçlar her ne kadar asıl değerlere yakın olsa da yetersizdir ve işletme şartlarında koklaşma özelliklerinden sapmalar görülebilmektedir (Nakoman, 1971; Kemal, 1984; Kural 1991; Kural, 1998; Ateşok, 1988; Ateşok, 1991; Hıra, 1980; DPT, 2001).

Bu çalışmada, Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları stok sahasında bulunan ABD, Kanada, Ukrayna ve TTK ile ithal kömürlerin TTK kömürleri ile %30 TTK, %70 ithal olarak harmanlanması sonucu elde edilen toplam 7 tip kömür grubunun işletme şartlarında koklaştırılarak koklaşma değerleri incelenmiştir. Çalışma, her kömür grubundan alınan 200 ton kömürün 10'ar adet fırına, günlük üretimle karıştırılmadan 18-20 saat koklaştırılmasıyla elde edilen koklar üzerinde yapılmıştır. Çalışmada ilk önce tek kaynak kömürler daha sonrada hazırlanan kömür harmanları işletme şartlarında koklaştırılmıştır. Çalışmanın tüm aşamalarında kömür ve kok testleri her kömür ve harman grupları için tekrarlanmış ve sonuçlar yüksek fırın prosesi içinde değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen verilerle Kardemir Kok Fabrikaları için ithal taşkömürlerinin işletme şartlarındaki davranışları ve kok kalite değer verileri belirlenmiştir. Konu bütünlüğü, üretim akışı, çalışma şartları ve çalışma sonuçlarının daha anlaşılabilirliğinin sağlanması açısından çalışma yeri ve prosesler hakkında kısa bilgilerle pekiştirilmeye çalışılmıştır.

1.1. Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları

Deneyisel çalışma Türkiye'nin ilk entegre demir çelik fabrikası olan Karabük-Kardemir A.Ş. fabrikalarında yapılmıştır. Türkiye'nin önde gelen kuruluşlarından olan Kardemir A.Ş. bünyesinde Kok Fabrikaları, Yüksek Fırınlar, Çelikhane, Haddehane ve Enerji Tesisleri gibi içi içe beş fabrikayı barındırmaktadır. Bu çalışmayla ilgili olarak kok fabrikaları ve yüksek fırın prosesleri incelenmiştir.

Kok fabrikaları prosesi içinde, kömürden kok üretimi gerçekleşirken koklaşma sırasında uçucu maddelerle kömürden ayrılan Ham Kok Gazının temizlenmesi sırasında çeşitli yan ürün (Kok gazı, Ham Katran, Ham Benzol,

Naftalin ve Amonyum Sülfat) elde edilmektedir. Kok fabrikaları günümüzde, 1968 yılında devreye alınan 1-2 Bataryada 44, 1986 da devreye alınan 3-4 Bataryada 56 fırın olmak üzere, 4 Batarya 100 fırında üretim gerçekleştirilmektedir. Toplam 129 fırın/gün itme kapasitesine sahip fırınlarda faydalı hacim 24,3 m³ tür. 129 Fırın/Gün İtme programı, 2.450 T/G kömür şarjı ve %77 Kok+Kok Tozu verimi düşünüldüğünde 1.900 Ton/Gün Kok + Kok Tozu elde edilmektedir (Ağuş, 2008). Çizelge 1.1’de Kardemir A.Ş. Kok fabrikalarının kok üretim kapasiteleri değerleri, Şekil 1.1’de ise kok bataryalarından bir görünüş verilmiştir.

Çizelge 1. 1. Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları kapasite değerleri (Ağuş, 2008)

Batarya No	Fırın Sayısı	Koklaşma Süresi (saat)	İtme Sayısı (adet)	Nemli Kömür Şarjı	Kok+K.Tozu Üretimi
1/2	44	21	54	380.000 Ton	290.000 Ton
3/4	56	18	75	520.000 Ton	400.000 Ton
Toplam	100	-	129	900.000 Ton	690.000 Ton



Şekil 1. 1. Kardemir A.Ş. kok bataryalarının görünüşü

Üretim prosesine Kömür Hazırlama Tesisleri ile başlayan kok fabrikaları; kok fırınları, kok kırma eleme tesisi ve ham kok gazının işlendiği yan ürünler tesislerinden oluşmaktadır. Çizelge 1.2’de proses içerisindeki hammadde kullanımı ve üretilen kok, kok tozu ve yan ürün üretim miktarları verilmiştir (Ağuş, 2008).

Çizelge 1. 2. Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları üretim çeşit ve miktarları (Ağuş, 2008)

Ürünler	Üretimler		
	Ton / Yıl	Ton / Ay	Ton / Gün
Kömür Şarjı	900.000	75.000	2.450
1 Kok + Kok Tozu	690.000	57.550	1.900
Döküm Kok	5.000	417	14
Metalurjik Kok	595.000	49.600	1.650
Ceviz Kok	15.000	1.250	40
Kok Tozu	75.000	6.250	210
2 Kok Gazı (Nm ³)	297 milyon	24,750 milyon	0,813 milyon
3 Ham Katran	30.000	2.500	82
4 Ham Benzol	5.000	417	14
5 Amonyum Sülfat	5.000	417	14
6 Pres Naftalin	1.000	83	3

1.1.1. Kömür Hazırlama Tesisleri

1963 yılında Dr. C. Otto tarafından inşa edilen tesis, kokun hammaddesi olarak Zonguldak havzası (TTK) ve ithal (ABD, Kanada, Avustralya, Polonya ve Ukrayna) kaynaklardan temin edilen taşkömürünün stoklanması ve harmanlanmasını sağlamaktadır. Zonguldak havzasından temin edilen yerli (TTK) kömürler ile Erdemir ve Zonguldak limanına gelen ithal kömürler daha sonra demiryolu ile kömür stok sahasına ulaşmaktadır. Fabrika sahası içine gelen kömürler, kalite ve geldikleri kaynaklara göre 150.000 ton kapasiteli stok sahasında stoklanmaktadır. Kömürler kalite değerlerine göre harmanlanmak üzere bant konveyörler aracılığı ile harman siloya alınmaktadır. Harman silo 3 ayrı kömürün harmanlanmasına uygun olarak 400 tonluk üç adet (1.200 ton) bunkerden oluşmaktadır. Çizelge 1.3’te Kardemir A.Ş.

Kok fabrikaları kömür hazırlama tesisi kapasite değerleri ve Şekil 1.2’de kömür hazırlama tesisinden bir görünüş verilmiştir.

Çizelge 1. 3. Kömür Hazırlama Tesisi kapasite değerleri (Ağuş, 2008)

Ekipman	Kapasite
Kömür Stok Sahası	100.000 ton
Vagon Boşaltma Bunkeri	450 ton
Kömür Boşaltma Arabaları	2 X 150 ton/s
Titreşimli Besleyiciler (K4+K5)	16 X 100 ton/s
Dozerle kömür besleme	200 ton/s
Kömür Harman Silosu	3 X 400 ton
Harmanlama Besleyicileri	100 ton/s
Kömür Nakil Konveyörleri	300 ton/s
Çekiç Kollu Kırıcı (460 d/dk, 400 d/dk)	2 X 300 ton/s
Karıştırıcı (çift çapraz kollu)	300 ton/s
Kömür Şarj Silosu	2 X 2000 ton

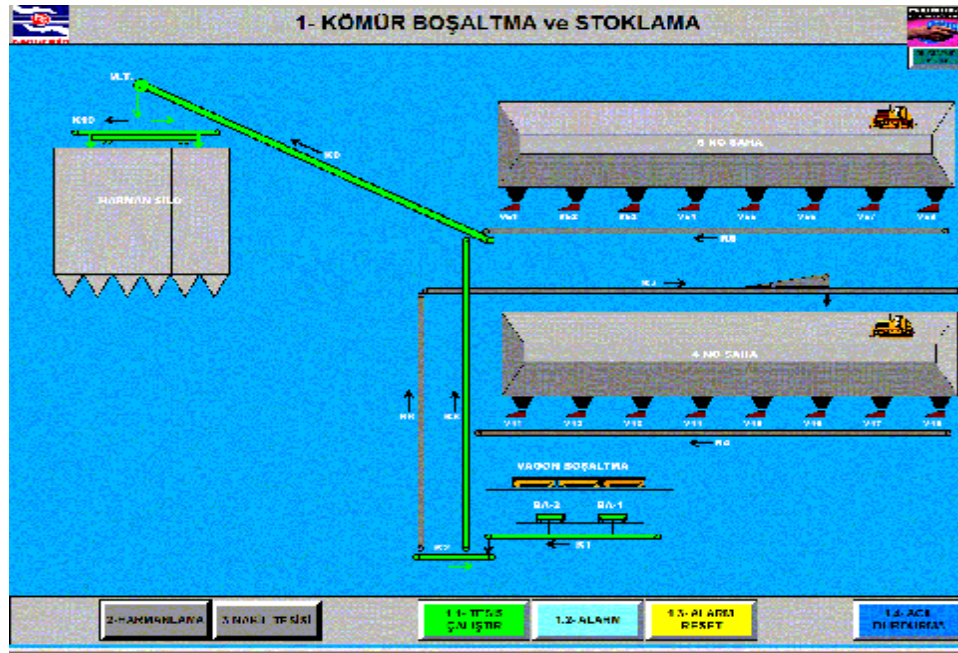


Şekil 1. 2. Kömür Hazırlama Tesisi

Kömür hazırlama tesisinde, tüm konveyör bantların, kırıcıların, yer altı bunker sistemlerinin kontrolünün sağlandığı ve kömürlerin istenen kalitede harmanlanmasının yapılabilirdiği PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) sistemi

mevcuttur. Sistem üzerinden proses gereği istenen tüm konveyörlerin çalışması ve durdurulması sağlanabilmekte, arızalı noktanın tespiti ve arıza anında konveyörlerin durdurulması otomatik olarak yapılabilmektedir. Ayrıca kömür harmanlanması sırasında kullanılan dozaj bantlarının kontrolü de bu sistemden yapılmaktadır. PLC sisteminde üç adet komut ekranı bulunmaktadır.

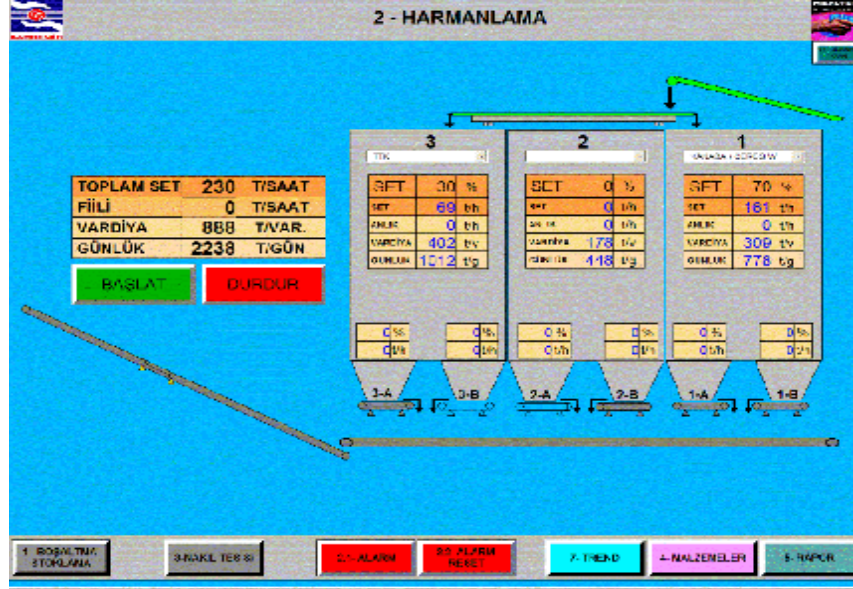
Kömür boşaltma ve stoklama komut ekranı (Şekil 1.3), vagon boşaltma noktasına gelen kömür vagonlarındaki kömür, bant konveyörler aracılığı ile ya stok sahasına yada direkt harman siloya alınmaktadır. Şekil 1.3’de vagon boşaltma tesisinden kömürlerin direk harman siloya alındığı görülmektedir. Ayrıca komut ekranında saha altında bulunan vibratörler (V51, V52, V53, V54, V41, V42, V43, V44 vb) aracılığı ile de 4 ve 5 nolu stok sahalarından harman siloya kömür alınabilmektedir. Sahada ayrı ayrı stoklanan kömürler, harmana katılma durumuna göre harman silonun 3 adet 400 tonluk bunkerinden birine alınmaktadır.



Şekil 1. 3. Kömür Boşaltma ve Stoklama ekranı

Harmanlama komut ekranının (Şekil 1.4.), harman silo gözlerinde bulunan kömür cinslerinin harman oranları, saatte kaç ton kömür harmanlanacağı komut ekranından girilir. Şekil 1.4’de %30 TTK, %70 Kanada kömür harmanı komutları görülmektedir. Sistemden ayrıca anlık, günlük ve aylık harman miktarları da

görülebilmekte ve raporlanabilmektedir. Kok bataryalarında üretilen kokun kalite değerlerinin uygunluğu burada yapılan harmanla direkt bağlantılıdır.



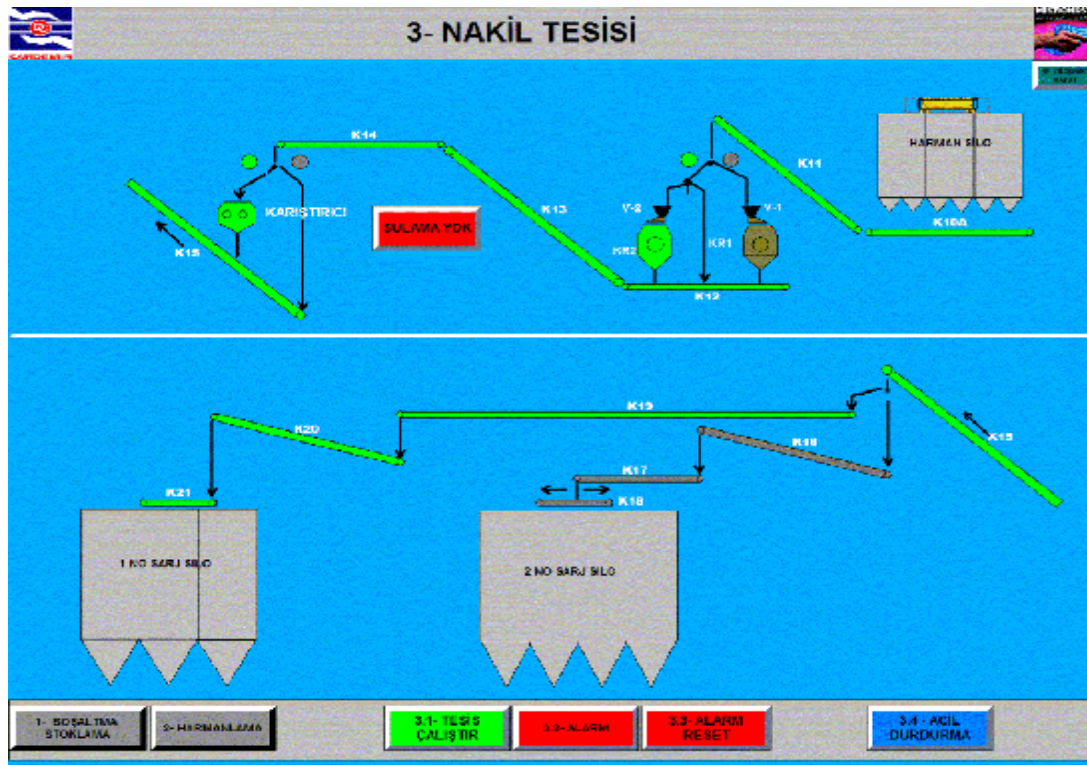
Şekil 1. 4. Kömür Boşaltma ve Stoklama ekranı

Harmanlama, harman silo bunkerleri altına yerleştirilen 6 adet dozaj bandı (A1-2, B1-2, C1-2) ile yapılmaktadır. Girilen % harman oranına göre harman silosu altında bulunan dozajlama bantlarının çalışma hızı belirlenir ve K10A bandına aktarılan kömür, bantlar arasında sevk olurken karıştırılır. Şekil 1.5’de dozaj bantları ve K10A bandı görülmektedir.



Şekil 1. 5. PLC kontrollü dozaj bantları ve K10A harman bandı

Nakil komut ekranı (Şekil 1.6), burada harman siloya alınan ve % harman oranları belirlenmiş kömürlerin konveyörler ile şarj siloya alındığı bölümdür. Harmanlama, dozaj bantlarından akan kömürlerin K10A bantında karışması ile başlar, şarj silosunda tamamlanır. Sistemin çalışması sırasında kırıcıdan geçirilen kömür harmanları konveyörler aracılığı ile kok fırınları üzerinde yer alan ve 1.400 ton ve 600 ton kapasiteli iki bunkere sahip 1 Nolu şarj silosuna alınır. İki No şarj silosu kullanım dışıdır. Burada stoklanan kömürler silo bunkerleri altında bulunan kapaklar aracılığı ile fırın şarj arabalarına alınırlar.



Şekil 1. 6. Nakil Tesisi Komut ekranı

Sistemde harmanlanan kömürler homojen boyutlandırılma ve karışım için çekiç kollu kırıcıdan geçirilerek 3,15 mm altına kırılır. Sistemde 300 Ton/h kapasiteli 400 d/dk ve 460 d/dk'lık iki adet çekiç kollu kırıcı vardır. Kırıcı içinde 84 adet kol bulunmakta ve bu kollar ile kırıcı gövdesinde yer alan karşılama plakaları arasında kalan kömür kırılmakta ve karıştırıcıdan geçirilmektedir. Şekil 1.7'de çekiç kollu kırıcı iç yapısı görülmektedir.



Şekil 1. 7. Çekiç kollu kırıcı, içyapısı

1.1.2. Kok Fırınları

Kok fırınları 1/2 Bataryada 44, 3/4 Batarya da 56 fırın olmak üzere, 4 Batarya 100 fırından oluşmaktadır. Batarya ortak ısıtma gazı ve ana gaz toplama borusuna sahip fırın gruplarından oluşur.

Kok fırınları, kömür hazırlama tesisinin son noktası olan şarj silo altından şarj arabaları vasıtasıyla alınan harmanlanmış kömürler ile şarj edilir. Şarj arabaları yaklaşık 20 ton kömür alabilmekte ve bunu bir fırına şarj etmektedir. Fırına şarj olan miktar yine fırın üstünde yer alan kantar vasıtasıyla tartılmakta ve fırın numarasına göre raporlanmaktadır. Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları kuruluş kapasitesi 129 fırın/gün olduğu için şarj gün içerisinde 129 kez tekrarlanmakta ve günde yaklaşık 2.450 ton kömür şarjı gerçekleşmektedir. Kapasite kullanımı kömür stokuna, çalışma şartlarına ve ihtiyaca göre değişme gösterebilmektedir. Günlük 129 fırına göre hesaplanmış itme programı çerçevesinde 1.250-1.300° C derecede 18-20 saat koklaştırılan kömür itici ve klavuz arabaları aracılığı ile söndürme vagonetine alınır. Fırın içerisinde oksijensiz bir ortamda koklaşan kömür fırından itilmesi sırasında havayla temasa geçtiğinde yanmaya başlar. Kokun yanmasını engellemek için

söndürme kulesi altında yaklaşık 26 ton su kok üzerine boşaltılarak söndürülür. Söndürülen kok, yüksek fırınların istediği metalurjik kok ebatlarına indirilmek, kok tozundan ayrılmasının sağlanması ve ebatlandırılmak için kok rampasına oradan da konveyörler aracılığı ile Kok Kırma eleme Tesisine alınır. Şekil 1.8’de kokun söndürme vagonetine alınışı görülmektedir.



Şekil 1. 8. Kok fırınlarından kokun söndürme arabasına alınışı.

1.1.3. Kok Kırma Eleme Tesis

Üretilen kokun ebatlandırılarak yüksek fırınlara sevkinin sağlandığı tesistir. İlk kuruluş aşamasında +40 mm kok yüksek fırınlara sevk edilirken 1981 yılında işletmeye alınan kırma eleme tesisi ile iri parçaların kırılması ile kokun ebatlandırılması sağlanmıştır. Çizelge 1.4’te tesis kapasite değerleri verilmiştir.

Kırma eleme tesisinde, 2 adet elek çapı 90 mm olan döküm kok, 2 adette elek çapları 20/45 mm ve 25 mm olan ebatlandırma eleği bulunmaktadır. Döküm kok ihtiyacı olmadığı durumlarda 90 mm elek üstü silindirik kırıcıdan geçirilerek kokun 90 mm altına kırılması sağlanır. Silindirik kırıcı, üst bantlardan gelen kok iki silindir arasında sıkıştırılarak kırılmaktadır. Silindirlerin bir tanesi

hareketli olup silindirler arası daraltılıp açılarak istenen ebat genişliğine ayarlanarak istenen ölçüde kırılma sağlanmaktadır. Kırıcı kapasitesi 30 ton/s'tır. Şekil 1.9'da silindirik kırıcı içyapısı görülmektedir. Fırınlarda üretilen kok kırma eleme tesisinde döküm kok, metalurjik kok, ceviz kok ve kok tozu olarak ebatlandırılmaktadır. Metalurjik kok yüksek fırınlarda kullanılırken, kok tozu sinter ve çelikhanede kullanılmaktadır. Metalurjik kok ve kok tozuna göre daha az üretilen döküm kok, döküm firmalarında kullanılırken ceviz kok şeker ve kireç fabrikalarında kullanılmaktadır. Çizelge 1.5' te tesiste üretilen kok ebat, verim ve kullanım alanları verilmiştir.

Çizelge 1. 4. Kok Kırma Eleme Tesisi kapasite değerleri (Ağuş, 2008)

Ekipman	Kapasite
Kok Rampaları (1 ve 2 No)	90+60 = 150 ton
Rampa Bandı	180 ton/s
Kok Eleği	E1 : + 75 mm
Silindirik Kırıcı	30 ton/s
Ceviz / Toz Eleği	E2 : + 48 -20 mm
Metalurjik Kok Bunkeri	6 X 75 = 450 ton
Ceviz Kok Bunkeri	2 X 40 = 80 ton
Kok Tozu Bunkeri	2 X 40 = 80 ton
Döküm Kok Bunkeri	2 X 40 = 80 ton
Rampa Koku Bunkeri	1 X 40 = 40 ton
Konveyör Hattı	180 ton/s



Şekil 1. 9. Silindirik kırıcı iç, yapısı

Çizelge 1. 5. Kırma Eleme Tesisi ürün ebat, verim ve kullanım alanları (Ağuş, 2008)

Kok Cinsi	Ebat Dağılımı	Verim	Kullanım
Rampa Koku	0 - 350 mm	%100 (elenmemiş kok)	Kırma Eleme
Döküm Kok	+ 75 mm	%1	Dökümhaneler
Metalurjik Kok	- 75 + 25 mm	%87	Yüksek Fırın
Ceviz Kok	- 45 + 20 mm	%2	Şeker Fabri.
Kok Tozu	- 25 / -20 mm	%10	Sinter, Çelikhane

1.1.4. Yan Ürün Tesisleri

Yan ürün tesisleri koklaşma sırasında meydana gelen ham kok gazının temizlenerek şebekeye verilecek kaliteye getirildiği ve pazarlanabilir yan ürünlerin elde edildiği tesislerdir. 600.000 m³/gün'lük iki kok gazı hattı mevcuttur (Ağuş, 2008). Çizelge 1.6'da yan ürün tesisi gaz hattı ile ilgili kapasite değerleri verilmiştir.

1.1.4.1. Kok Gazı Tesisleri

Koklaşma sırasında kömürden ayrılan uçucu maddeler fırın içerisinden egzosterler aracılığı ile uzaklaştırılır. Ham kok gazı olarak tabir edilen bu gaz belirli sistemlerden geçerek hem temizlenir hemde yan ürün üretilmesine vesile olur.

Dekanter; kömürün neminden kaynaklanan amonyaklı suyun yoğunluk farkıyla katrandan ayrıldığı bölümdür. Amonyaklı suyun önemli bir kısmı ham gazın direkt olarak soğutulması için kok fırınlarında kullanılır. Dekanter alt fazından alınan ham katran işlenmek üzere katran fabrikalarına gönderilir.

Ön Soğutucular; fırınlardan gelen ham kok gazını indirekt su sistemi ile, su giriş sıcaklığının 5 °C üzerine kadar soğutulduğu birimdir. Soğuma sırasında yoğunlaşarak ayrılan katran ve amonyaklı su dekantere gönderilir.

Elektrofiltreler; kok gazını ihtiva ettiği sis halindeki katrandan temizlenmesini sağlar.

Egzosterler; kok gazını, fırın çıkışından itibaren emerek şebekeye basan tesistir.

Çizelge 1. 6. Yan Ürün Tesisi gaz hattı kapasite verileri

Tesis	Özellikler	Birim	1 No. KG Hattı	2 No. KG Hattı
Kuruluş			Didier / 1952 yapımı	Dr. C. Otto / 1962
Ön Soğutucular	Sayı	adet	3	3
	Tip		Endirekt su soğ.	Endirekt su soğ.
	Kapasite	m ³ /h	25.000	25.000
	Boru ad.		1.208	1.428
	Soğutma yüzeyi	m ²	6.300	7.500
Elektrofiltreler	Sayı	adet	2	2
	Tip		Negatif doğru ak.	Negatif doğ. ak.
	Kapasite	m ³ /h	25.000	25.000
	Elektrod sayısı	adet	168	168
	Çap	mm	3.700	3.700
	Yükseklik	mm	9.000	9.000
	Enerji Giriş	V / A	380/20	380/20
	Enerji Çıkış	V / A	55.000	55.000
Egzosterler	Sayı	adet	1+1	1+1
	Tip		Radyal kompresör	Radyal kompresör
	Kapasite	Nm ³ /h	35.000	35.000
	Motor gücü	kW	280	280
	Buhar tüketimi	kg/h	7.000	7.000
Son Soğutucular	Sayı	adet	1	1+1
	Tip		Direkt su soğ.	Direkt su soğ.
	Kapasite	Nm ³ /h	25.000	25.000
	Çap	mm	3.770	3.770
	Yükseklik	mm	24.000	24.000
	Soğutma Hacmi		268	268
Benzol Kuleleri	Sayı	adet	3	2
	Tip		Dolgulu-döner	Dolgulu-döner
	Kapasite	Nm ³ /h	25.000	25.000
	Çap	mm	4.300	4.300
	Yükseklik	mm	28.000	28.000

Son Soğutucular; gazın, direkt su ile soğutulmasını ve gazda mevcut naftalinin temizlenmesini sağlayan tesislerdir.

Benzol Yıkama Kuleleri; kok gazı içinde bulunan Ham Benzol yıkama yağı ile tutularak gazdan ayrıldığı tesislerdir.

Koklaşma sırasında açığa çıkan kok gazı, Katran, Amonyak, Naftalin ve Benzolü giderilmiş olarak, ısıtma gazı olarak kok bataryaları ve entegre tesislerin diğer ünitelerinde kullanılmak üzere şebekeye verilir. Kok gazının temizlenmesi sırasında elde edilen yan ürünler ve tesisleri aşağıda verilmiştir. Asıl amaç gazın yakıt olarak kullanılmasının sağlanması için temizlenmesi aolmasına karşın bir çok yanürün elde edilmekte ve satışı gerçekleştirilmektedir.

1.1.4.2. Amonyum Sülfat Tesisi

Kok gazı içindeki amonyağın korrozif etkisinden kurtulmak amacı ile sülfürik asit reaksiyonu ile amonyum sülfat gübresinin elde edildiği tesistir. Elde edilen Amonyum sülfat 50 kg'lık polietilen torbalarda piyasaya sunulur.

1.1.4.3. Benzol Fabrikaları

Kok gazı içinde bulunan benzol ve türevlerinin yıkama yağı absorbsiyonu ile gazdan ayrılmasını sağlayan tesislerdir. Benzol kulelerinde yıkama yağı ile tutulmuş olan ham benzol, buhar destilasyonu metodu ile yağından kurtarılarak saf benzol elde edilir. Stoklanan benzol yurt dışına ihracat edilmektedir.

1.1.4.4. Katran Fabrikası

Katran Fabrikalarında çoğunluğu dekanter olmak üzere ön soğutucu ve elektrofiltrelerden gelen ham katran önce susuzlaştırılır daha sonra atmosferik destilasyonla fraksiyonlarına (yol katranı, yıkama yağı, naftalin yağı, karbol yağı ve hafif yağ, kreozot, katran boyası) ayrılır.

1.1.4.5. Pres Naftalin Fabrikası

Katran destilasyonundan elde edilmiş naftalin yağını önce kristalizasyon kulelerinde ham naftalin haline getirilip daha sonra pres kalıplarına alınarak pres naftalin kalıpları elde edilerek satışı yapılır.

1.2. Kardemir A.Ş. Yüksek Fırınlara

Yüksek fırın, demir cevheri içerisindeki demir oksitlerden çelik üretiminin ilk adımıdır. Yüksek fırınlar, demir cevheri, sinter ve pelet gibi demirli malzemelerin cüruf yapıcı katkı malzemeler ile harmanlanarak kok yardımıyla ergitilmesi sonucu sıvı maden elde edildiği tesislerdir. Yüksek Fırın, demir cevherlerinin oksitlerinden çeşitli kimyasal reaksiyonlarla sıvı maden haline getirildiği termo kimyasal bir prosestir. Bu proseste elde edilen sıvı maden kaliteli çelik üretimi için kullanılırken, reaksiyonlar sonucu açığa çıkan atık madde cüruf ta çimento fabrikalarında hammadde olarak kullanılabilir. Ayrıca reaksiyonlar sonucu açığa çıkan gaz temizlenerek kullanılmaktadır.

Yüksek Fırın prosesi içerisinde Cevher Hazırlama ve Harmanlama Tesisi, Sinter Tesisleri, Şarj Tesisleri, Fırınlara ve Gaz temizleme Tesisleri yer almaktadır.

1.2.1. Cevher Hazırlama ve Harmanlama

Cevher Hazırlama ve Harmanlama Tesisleri, yüksek fırınların ihtiyacı olan parça cevherlerin uygun ebatlarda hazırlanması, sinter tesisi için gerekli olan demir cevheri, kireçtaşı tozu (0-3mm) ve kok tozunun (0-3mm) istenilen fiziksel özelliklerde hazırlanmasını sağlar. Harmanlama sahası, toplam kapasitesi 210.000 ton olan dört adet sahadan oluşmaktadır. Tesis 5.500 ton/gün nakil kapasiteye sahiptir. Cevher Hazırlama; Yüksek fırınlarda çok iri taneli cevherler, redükleyici gaz ile olan temas yüzeyinin küçülmesi ve gazların cevher ile tam reaksiyona girmesinin uzaması ve proses hızını düşürdüğünden yüksek fırınlarda istenmemektedir. Bu yüzden iri taneli cevherler elemeye tabi tutularak sinter harmanlarında kullanılacak malzeme haline getirilmektedir. Sinterlik cevherlerde önce kaba kırma elemeye tabi tutularak -50 mm ye sonra ince kırma elemeye alınarak -10 mm boyutuna indirilerek sinterlik malzeme olarak Harmanlama tesisine gönderilir. Aynı ünite içerisinde kok tozu ve kireçtaşı -3 mm arasına kırılarak istenen fiziksel özelliklerde olması sağlanır (Çelebi, 2007).

Harmanlama; Cevher Hazırlama tesisinde uygun boyutlarda hazırlanan sinterlik cevherler konveyörler ve stokerler yardımıyla sahaya alınır. Sahaya alma sırasında harmanlama işlemi de yapılır. Konveyör bant üzerindeki kantarlar ile sahaya alınan cevherlerin istenen miktarlarda harman oluşturmaları sağlanır. Veya alınan cevher miktarlarına göre sahada nasıl bir harman olduğu belirlenir. Farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerde temin edilen sinterlik demir cevherleri harmanlama sahasına 16 adet yığın oluşturacak şekilde serilir. Temin edilen demir cevherleri sinter için uygun boyuta getirildikten sonra çalışılan saha yığınının stoklanır. Harmanlanmış malzemelerin geri alma işlemi reklaymer yardımıyla yapılmaktadır. Alınan sinterlik cevherler konveyörler yardımı ile sinter harmanlama bunkerine (5 adet) alınır (Çelebi, 2007).

1.2.2. Sinter Tesisleri

Sinter Tesisleri, Yüksek Fırınlarda doğrudan kullanılamayacak özellikteki kükürtlü ve toz cevherlerin ergime derecesi altında bir sıcaklıkta ısıtıp kullanıma uygun ebat ve dayanıklılıkta cevherlerin fırınlara hazırlandığı tesislerdir. Sinter, toz cevherleri değerlendirmek, cevher içerisindeki zararlı gazları yakarak yapıdan uzaklaştırmak, cevherde poroz bir yapı oluşturmak, fırının verimli çalışmasını sağlamak ve demirli atıkları değerlendirmek amacı ile kullanılmaktadır (Çelebi, 2007).

Sinter Tesislerinde, 2 adet sinter makinesi mevcuttur. 1 No sinter makinesi 35 m² emiş alanına sahip olup 1953 yılında işletmeye alınmıştır. Kuruluş kapasitesi 200.000 ton/yıl olan makina, 1985 yılı sonunda modernize edilerek yapılarak yerine 90 m² emiş alanına sahip 890.000 ton/yıl yeni sinter makinası kurulmuştur. 2 numaralı sinter makinesi 60 m² emiş alanına sahip 450.000 ton/yıl kapasiteli olup 1962 yılında kurulmuştur (Çelebi, 2007).

1.2.3. Şarj Tesisleri

Yüksek fırınların ihtiyacı olarak primer sahada stoklanan hammadde ve yardımcı hammaddeler ile kokun istenen miktarda ve çeşitte fırınlara tam otomatik olarak şarj edildiği tesislerdir. Şarjlar, malzeme özelliklerine göre, fırının en iyi şekilde çalışmasını sağlayacak ve gaz geçirgenliğini verecek şekilde belirlenir. Yüksek fırınlara şarj edilecek malzemelerin ayrı ayrı stoklandığı 42 adet bunker, 1 adet 35 tonluk aktarma arabası, primer saha üzerinde 10 ve 20 tonluk iki adet köprülü vinci ve fırınlara ait 5 adet şarj arabasından oluşur. Şarj tesislerinde tartım ve şarjlar otomatik olarak yapılır. Katkı ve kireçtaşı bunkerleri hariç diğer bunkerlerde malzemeler elenerek yüksek fırınlara şarj edilir. Elek altı malzeme tekrar harmanlama tesisine bant konveyörler aracılığı ile gönderilir (Çelebi, 2007).

1.2.4. Sobalar

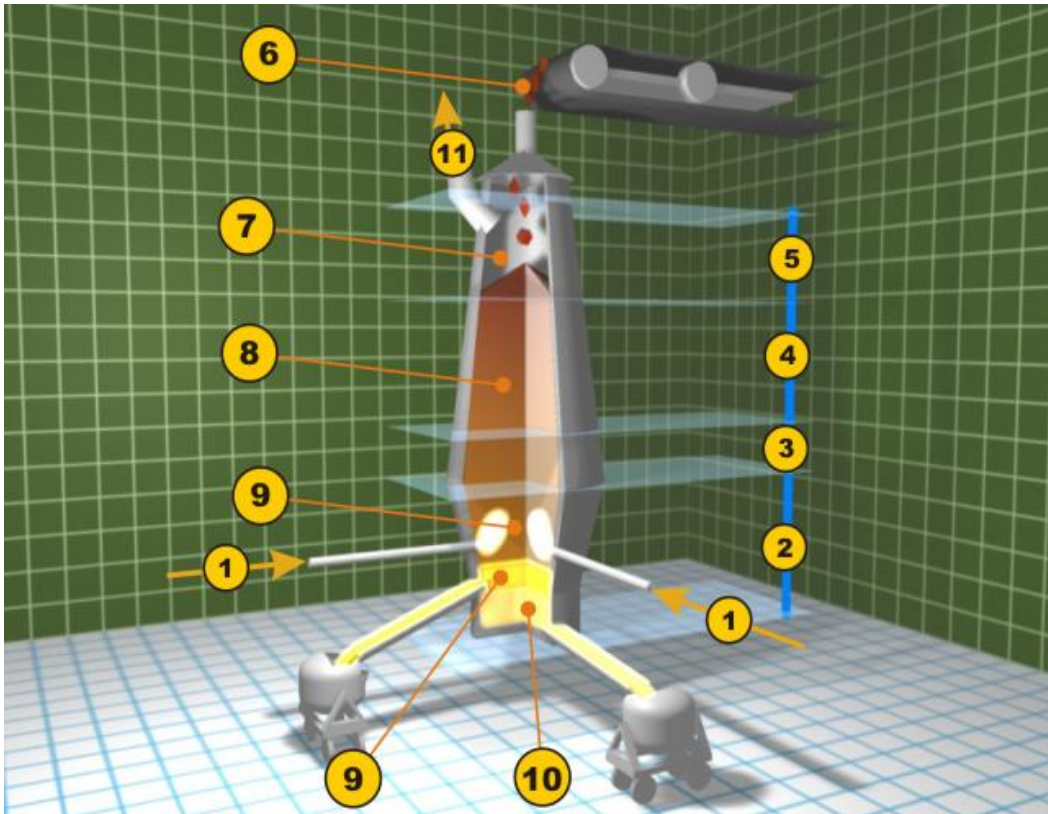
Yüksek fırın içerisindeki koku yanmasını sağlayan ve fırın içerisinde malzemelerin havada asılı kalmasına yardımcı olan havanın ısıtıldığı en önemli yardımcı donanım sobalardır. Yakma havasının ön ısıtılması işleminden geçirilerek fırınlara üflenmesi hem proses açısından hem de enerji tasarrufu açısından önemlidir. Sobalar silindirik şekilli olup iç kısımları özel silika bazlı tuğla ile örülüdür. Sobaların fırın devresi (üfleme), gaz devresi (ısınma) ve bekleme devresi olmak üzere üç devresi vardır (Çelebi, 2007). Çizelge 1.7’de yüksek fırın soba özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1. 7. Yüksek Fırın tesisleri soba özellikleri (Çelebi, 2007)

Parametreler	1+ 2 No YF için	3 No YF için
Soba Adedi	3	3
Soba Yüksekliği (mm)	25.908	32.025
Soba İç Çapı (mm)	5.791	7.930
Soba Isıtma Yüzeyi (m ²)	13.283	34.902
Çeker Tuğla Yüksekliği (mm)	19.863	24.168
Yakma İçin YF gazı miktarı (Nm ³ / saat)	15.677	36.745
Yakma Havası miktarı (Nm ³ / saat)	11.355	39.470
Baca Gazı Miktarı (Nm ³ / saat)	25.500	61.250

1.2.5. Yüksek Fırınlr

Yüksek fırınlarda temel amaç demir cevherinin ergitilerek ham demir elde edilmesidir. Fırın prosesi cevherin indirgenmesi için gerekli reaksiyonlar ve reaksiyon ısısının sağlanması için en uygun şekilde dizayn edilmiştir. Yüksek Fırının (YF) alt bölgesindeki tüyerlerden üflenlen sıcak ve basınçlı havanın oksijeni ile yakıt olarak kullanılan koktaki karbonun reaksiyonunda açığa çıkan karbonmonoksit gazı ile fırın üst bölgesinden şarj edilen demir cevherlerinin oksitlerinden redüksiyonu sonucu haznede sıvı maden ve cüruf elde edilir. Yüksek fırın (Şekil 1.10), sıcak hava girişinin olduğu bölüm (1), ergitme bölgesi (2), ferro oksitlerin redüksiyon bölgesi barrel (3), ferro oksitlerin redüksiyon bölgesi, stack (4), ön ısıtma bölgesi,throat (5), Cevher, kireçtaşı ve kokun beslenmesi (6), reaksiyon sonrası gaz çıkışı (7), fırın haznesinden (8) oluşmaktadır. Yüksek fırın ürünleri ise cüruf (9) ve sıvı maden (10) olarak verilmiştir.



Şekil 1. 10. Yüksek Fırın bölümleri (http://en.wikipedia.org/wiki/Blast_furnace)

Kardemir A.Ş.'de 4 adet Yüksek Fırın mevcuttur. 1 No (Fatma) ve 2 No (Zeynep) Yüksek Fırınlara 351 m³'lük ikiz fırınlar olup, İngiliz H.A. Brassert firması tarafından yapılmışlardır. Kuruluş kapasiteleri 135.000 Ton/yıl olan fırınlar yapılan yenileme ve modernizasyon çalışmaları sonucu kapasiteleri toplam 525.000 ton/yıl çıkarılmıştır. 3 No Yüksek Fırın Alman Salzgitter firması tarafından yapılmış ve 10 Aralık 1962 tarihinde işletmeye alınmıştır. Kuruluş kapasitesi 325.000 ton/yıl olan fırın (818 m³) yenileme ve modernizasyon çalışmalarından sonra 625.000 Ton/yıl kapasiteye çıkarılmıştır. 2008 yılı içerisinde 4 No yüksek fırın (450 m³) devreye alınmıştır.

1.2.6. Gaz Temizleme Tesisi

Yüksek Fırın gazı esas itibarı ile azot, karbondioksit, karbonmonoksit ve su buharından meydana gelmiştir. Yüksek fırın gazı önemli miktarda azot ihtiva ettiği ve uçucu hidrokarbonlardan yoksun olduğu için kalori değeri (750-800 kcal/Nm³) düşüktür. Gaz temizleme ; her fırına bir adet toz tutucu, 5 adet yıkama kulesi ve 5 adet Elektrofiltre olmak üzere 3 basamakta tamamlanmaktadır. Çizelge 1.8'de 2004 yılı yüksek fırın gaz analiz ortalaması verilmiştir.

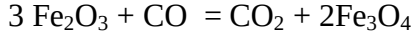
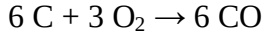
Çizelge 1. 8. 2004 yılı Yüksek Fırın ortalama gaz analiz değerleri

2004 Yılı Ortalama Gaz Analizi				Üst Isı Değeri	Alt Isı Değeri
H ₂	N	CO	CO ₂	Kcal / Nm ³	Kcal / Nm ³
1,92	56,86	22,66	18,57	743	734

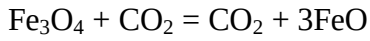
1.2.7. Ergimiş Demir Cevheri Oluşumu

Yüksek fırınlar ters akımlı bir prosestir. Katılar yukarıdan aşağıya inerken gazlarda aşağıdan yukarıya çıkar. Sıvı maden eldesi kısaca, demir oksitlerden (Hematit (Fe₂O₃), magnetit (Fe₃O₄) ve wüstit (FeO) seri reaksiyonlar sonucunda oksijenin uzaklaşmasıyla demirin yalnız kalmasıdır. Fırın içerisinde kok, tüylerden üflenen sıcak havanın oksijeni ile reaksiyona girerek demirli malzemeleri indirgeyen

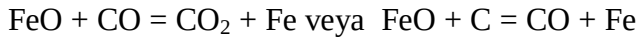
karbon monoksit gazını (CO) oluşturur. Oluşan CO demirli malzemeleri redüklemek için gereklidir.



başlama sıcaklığı 455°C

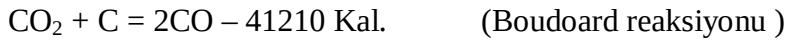


başlama sıcaklığı 594°C



başlama sıcaklığı 705°C

Demir oksit saflaştırma reaksiyonlarından geçer, ilk önce malzemelerin bünyesinde bulunan rutubet gider, bu işlem malzemelerin fırına şarj edildikten sonra fırın üst bölgelerinde fırını terk etmekte olan gazın sıcaklığı ile olur. Sıcaklığın 1000 °C'ı aştığı herhangi bir zonda redüklenmemiş FeO mevcut ise, reaksiyon sonucu açığa çıkan CO₂ aşağıdaki reaksiyon gereği süratle karbon tarafından indirgenir.



Bu procesten sonra malzemelerde yumuşama başlar, bu işlemde fırının orta bölgelerinde oluşur ve sıcak maden ve cüruf oluşmaya başlar. En son olarak sıvılaştıran demir ve cüruf koklar arasından süzülerek hazneye iner. Cüruf, fırın içerisindeki sıcaklıkta erir. Fırının tabanında cüruf, kendinden daha yoğun olan sıvı demirin üzerinde yüzer. Fırının kenarında açılan oluklardan sıvı demir ve cüruf ayrı ayrı alınır. Şekil 1.11'de sıvı madenin potaya alınışı görülmektedir.

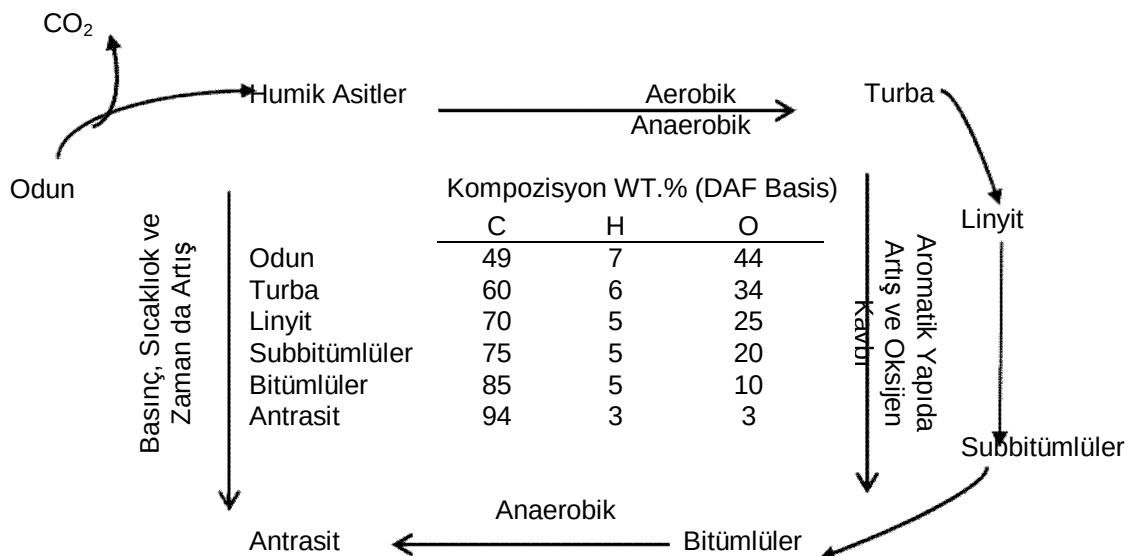


Şekil 1. 11. Yüksek Fırın ürünü sıvı madenin potaya alınışı

1.3. Kömür

1.3.1. Kömürlerin Sınıflandırılması

Kararlı bir element olan karbondan oluşan kömür, bünyesinde çeşitli organik maddeler ve inorganik bileşikler ile kükürt, oksijen, hidrojen ve azot bulunduran bitkisel kökenli, fiziksel ve kimyasal olarak farklı yapıya sahip tortul kayalardır. Kömürleşme derecesi rank olarak ifade edilir. Sıcaklık kömürleşmeyi hızlandırır ve kömürleşme derecesini artırır. Kömürleşme derecesi arttıkça kömürün karbon içeriği artarken, hidrojen ve oksijen içeriği azalır. Kömür belirli miktarda karbon, hidrojen, oksijen ve az miktarlarda azot ile kükürdü belirli oranlarda içeren bir organik maddedir. Bu maddenin karbon iskeleti ve bu iskelete oksijen, hidrojen, azot ve kükürt atomlarının nasıl bağlandığı önemlidir. Kömürdeki varlığı düşünülen molekül tipleri, bunların büyüklükleri, molekül ağırlıkları, ısı, katalizör ve çözücü karşısındaki davranışları çok önemlidir. Kömürleşme derecesine göre kömür türleri düşük kömürleşme olan linyitten başlayarak altbitümlü kömür, yüksek uçuculu altbitümlü kömür, orta uçuculu altbitümlü kömür, düşük uçuculu bitümlü kömür ve antrasit olarak sıralanır (Speight, 1983; Zimmerman, 1979). Şekil 1.12’de kömürleşme prosesi şematik olarak gösterilmiştir (Speight, 1983).



Şekil 1. 12. Kömürleşme Sürecinin Şematik Gösterimi (Speight, 1983)

Kömür rankı, en iyi şekilde yansıma değerleri ile ortaya konulmaktadır. Kömürlerde yansıma değeri havza içerisindeki kömürlerin kömürleşme derecesi ve geçirmiş oldukları diyajenetik ortamları ve geçirdiği olgu sıcaklık değerlerini de yaklaşık olarak bilmemize yardımcı olmaktadır. Yansıma değerleri kömürün yerin altında bulunduğu derinliğe bağlı olarak değişebilmektedir. Daha derinde bulunan kömürlerin daha fazla “ jeotermal gradyan” etkilenmesi yüzünden, daha yüksek kömürleşme değeri göstermesi doğaldır (Hilt Yasası). Çizelge 1.9’da bazı kömürlerin ölçülmüş % yansıma değerleri, Paleo sıcaklık değerleri ve karşılık geldiği kömürleşme değerler verilmiştir (Boggs,1987).

Çizelge 1. 9. Bazı kömürlerin ölçülmüş % yansıma değerleri, Paleo sıcaklık değerleri ve karşılık geldiği kömürleşme değerleri (Boggs, 1987)

Yansıma (Rmax, %)	Paleo Sıcaklık Değeri (°C)	Kömürleşme Derecesi (Rank)
< 0,48	< 100	Alt bitümlü kömür
0,59	125	Alt bitümlü kömür
0,72	145	Yüksek Uçucu Maddeli Taşkömürü
0,86	165	Yüksek Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,00	180	Yüksek Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,16	195	Orta Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,42	210	Orta Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,50	220	Orta Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,70	230	Az Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,92	235	Az Uçucu Maddeli Taşkömürü
2,14	240	Az Uçucu Maddeli Taşkömürü

Kömürler birçok değişik sınıflamalara tabi tutulmuştur. Kömürlerin fiziksel ve kimyasal olarak farklı yapıya sahip olmaları ve her ülkenin sahip olduğu kömürün özellikleri ile kendi ihtiyaçlarını dikkate alarak hazırladığı sınıflandırmalar uluslararası ticaretlerde karışıklıklara sebep olmuştur. Avrupalılar, kömürü "sert kömür (linyit üzerindeki kaliteli kömürler)", "kahverengi kömür" olarak sınıflandırılırlar. Aynı özellik ve birbirine benzer kömürlerin farklı anlatımları kömürlerin karşılaştırılmasında sıkıntılar doğurmuştur. Bu karışıklıkların giderilmesi için bir araya gelen Uluslararası Kömür Kurulu uzun çalışmalar sonucu genel kömür sınıflandırmasını yapmıştır. Çizelge 1.10'da Uluslararası Genel Kömür Sınıflaması verilmiştir.

Çizelge 1.10.Uluslararası Genel Kömür Sınıflaması (Coal Information Report, OECD/IEA, Paris 1983)

A – Sert Kömürler	B – Kahverengi Kömürler
1. Koklaşabilir Kömürler (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kömürler)	1. Alt Bitümlü Kömürler (4.165 – 5.700 Kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez.)
2. Koklaşmayan Kömürler a) Bitümlü Kömürler b) Antrasit	2. Linyit (4.165 Kcal/Kg'ın altında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez.)

En yaygın kullanılan sınıflama A.S.T.M. (The American Society for Testing and Materials, 1983) metoduna göre sınıflamadır. Bu metod yüksek ranklı kömürlerde uçucu maddeye ve düşük ranklı kömürlerde kalorifik değere göre sınıflama yapmaktadır. Bu sınıflamada, altbitümlü kömür bitümlü kömür ayrımı, kömürlerin kekleşme özelliklerinden yararlanılarak yapılmaktadır. Kekleşme göstermeyenler altbitümlü kömür, kekleşme gösterenler ise bitümlü kömür olarak sınıflandırılmaktadır (Kural, 1998).

Çizelge 1. 11. Kömürlerin ASTM’ ye Göre Sınıflandırılması (ASTM, 1995)

	Grup	Sabit Karbon %	Uçucu Madde	Isıl Değer (Btu/lb)	Kekleşme Özelliği
Antrasit	Antrasit Meta antrasit Semi-antrasit	>98 92-98 86-92	<92 2-8 8-14	- - -	Kekleşmez Kekleşmez Kekleşmez
Bitümlü	Düşük Uçuculu Orta Uçuculu Yüksek Uçuculu A Yüksek Uçuculu B Yüksek Uçuculu C	78-86 69-78 <69	14-22 22-31 >31	>14000 13000-14000 10500-13000	İyi Kekleşir İyi Kekleşir İyi Kekleşir İyi Kekleşir Kekleşir
Alt Bitümlü	Alt Bitümlü A Alt Bitümlü B Alt Bitümlü C			10500-11500 9500-10500 8300-9500	Kekleşmez Kekleşmez Kekleşmez
Linyit	Linyit A Linyit B			6300-8300 <6300	Kekleşmez Kekleşmez

1.3.2. Kömürlerin Kimyasal Bileşenleri

Kömürün elementel yapısı, kimyasal analiz yapılarak elde edilir. Kömür içerisindeki oksijen miktarı kömürün derecesine göre değişir. Kömürün kömürleşme derecesi yükseldikçe oksijen içeriği azalır (Mott, 1942–1943). Kömür içerisindeki azot, genellikle aromatik heterosiklik yapılarda, pirolük ve piridinik şekillerde sırasıyla beş halkalı ve altı halkalı yapılar şeklinde bulunur (Van Krevelen, 1961; Berkowitz, 1985; Given, 1984; Burchill ve Welch, 1989).

Kömürde iki tane ana element bulunmaktadır. Bu elementler karbon ve hidrojenidir. Bu iki elementin dışında, oksijen, azot, kükürt gibi heteroatomlar ve kömürün minarel madde içeriğinde bulunan metallerde bulunmaktadır (Bhole, 2002). Bütün kömür çeşitlerinde aynı zamanda mineral madde de bulunmaktadır. Mineral madde, kömürdeki inorganik minarellerin ve elementlerin toplamı olarak değerlendirilir. Çizelge 1.12’ de, değişik ranklardaki kömürlere ait element analiz sonuçları verilmiştir (Wen, 1979).

Çizelge 1. 12. Farklı Ranklardaki Kömürlere ait Kimyasal Analiz Sonuçları (Wen, 1979). Element, %ağırlık (kuru külsüz baza göre)

Örnek	C	H	O	N	S
Meta-antrasit	97,9	0,21	1,7	0,2	-
Antrasit	92,8	2,7	2,9	1,0	0,6
Semi antrasit	90,5	3,9	3,4	1,5	0,7
Düşük Uçuculu Bitümlü	90,8	4,6	3,3	0,7	0,6
Orta Uçuculu Bitümlü	89,1	5,0	3,6	1,7	0,6
Yüksek Uçuculu Bitümlü A	84,9	5,6	6,9	1,6	1,0
Yüksek Uçuculu Bitümlü B	81,9	5,1	10,5	1,9	0,6
Yüksek Uçuculu Bitümlü C	77,3	4,9	14,3	1,2	2,3
Altbitümlü A	78,5	5,3	13,9	1,5	0,8
Altbitümlü B	72,3	4,7	21,0	1,7	0,3
Altbitümlü C	70,6	4,8	23,3	0,7	0,6
Linyit	70,6	4,7	23,4	0,7	0,6

Organik olarak bağ yapan karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt dışındaki tüm elementler mineral madde olarak tanımlanmaktadır (Vorres, 1984). Kömürde bulunan en yaygın mineral maddeler, killer, kuvars, karbonatlar, sülfid mineralleridir. Killer, genel formülü $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$ olan alüminyum silikatlarıdır. Karbonat mineralleri, $CaCO_3$, $FeCO_3$, $MgCO_3$ gibi metal karbonatlardır. FeS_2 gibi demir sülfidler sülfid minerallerini oluştururlar ve kömürdeki inorganik kükürdün ana kaynağıdır (Speight, 1983). Kömür yapıya bağlı önemli miktarda su da içerir. Su içeriği genellikle kömür rankına ve kömür orijinine bağlı olarak değişir, düşük ranklı bir kömür daha yüksek su içeriğine sahiptir (Opaprakasit, 2003).

1.3.3. Maseraller

Kömürler çeşitli bileşiklerden oluşan heterojen bir yapıya sahiptir. Kömürdeki heterojen yapı içerisinde yer alan maseral ve mineraller kömür

cinslerinin tanınmasında yardımcı olmaktadır. Kömür içerisindeki organik bileşenlere maseral (organik yapıcı) adı verilir. Maserale deyimi, kömür içerisinde bulunan farklı yapıda mikroskobik organik maddeleri anlatmak için kullanılır. Maseraller kristal yapıya sahip değilken mineraller kristal yapıdadır ve kimyasal bileşimleri gösterirler. Maserale grupları ancak mikroskop altında tanınabilmektedir. Kömürlerin organik bileşenleri olan maseraller mikroskop altında incelendiklerinde yansıttıkları ışığın miktarına ve fiziksel özelliklerine göre, vitrinit (subbitümlü kömürlerde bazen huminit de denir), liptinit (eksinit) ve inertinit olmak üzere üç ana gruba ayrılır. Mikroskop altında yansıyan ışık yönteminin geliştirilmesi koklaşma özelliklerinin ayrıntılı olarak belirlenmesinin yolunu açmıştır. Kömürlerdeki ana bileşenler vitrinitlerdir. Kömürdeki kok yapıcı esas bileşenler ise eksinitler, resinitler ve semifusinitlerin bir kısmı ile birlikte reaktif vitrinitlerdir (Zimmerman, 1979).

Vitrinit grubu maseraller, hümit maddelerin kömürleşme ürünüdürler. Vitrinitler, ligninlerin (bitkilerin kök, gövde ve yaprakları) linyitleri ve alt bitümlü kömürleri oluşturduğu süreç içerisindeki değişimi sırasında oluşur (Hatcher, 1990). Bitki hücre duvarlarının lignin, tanin ve selülozlarından, hümit asit etkisi ile çekirdekdeki OH, COOH, OCH₃ gibi kümelerin ayrılması ile oluşurlar. Bitümlü kömürlerdeki vitrinler havasız ortamda 400 °C de plastikleşirler (Kural, 1988).

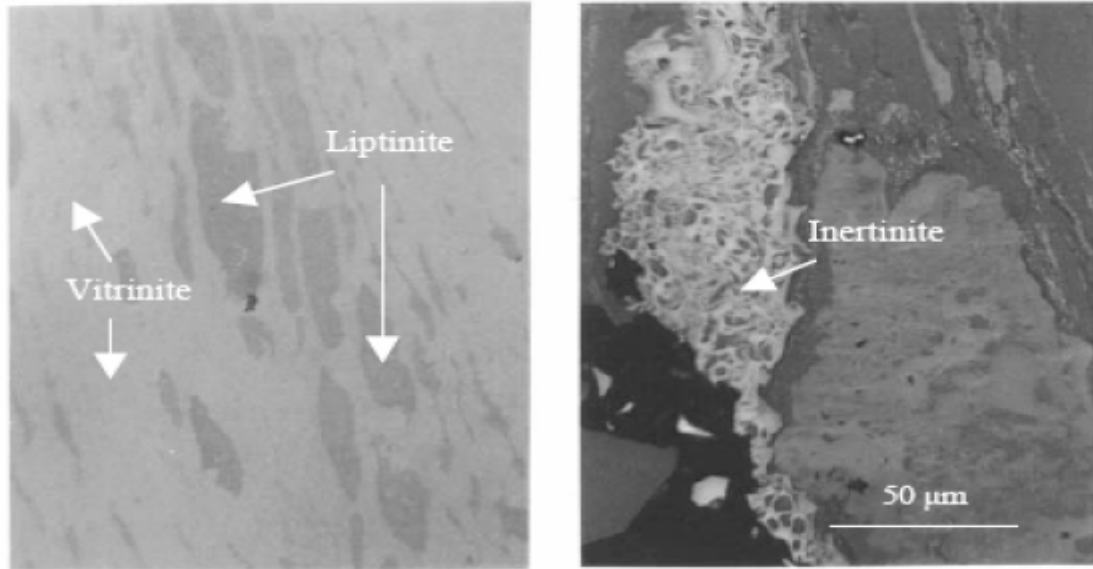
Liptinitler (eksinit) protein, selüloz ve diğer hidrokarbonların bakterilerle bozulması sonucu oluşan, polarize ışığı yansıtma derecesi en düşük olan maserale grubudur (Karayığit ve arkadaşları, 1998). Kömürleşme derecesine göre mikroskop altında sarı-kahverengi-siyah renklerde görülmektedir. İntertinit (reaksiyona girmeyen) grubu maseraller turbalıklarda gömülme öncesi bozulmaya uğrayan maserallerden oluşur. Karbonca zengin olmasına karşın hidrojen fakirdir. Maserale grupları içerisinde en fazla yansıtma özelliğine sahip olanıdır. Koklaşma sırasında reaksiyon vermeyerek inert özellik gösterirler. Çizelge 1.13’de Maseraller ve alt grupları şematik olarak gösterilmektedir.

Çizelge 1. 13. Maseraller ve Alt Grupları (Kural, 1998)

Vitrinit	Telinit
	Kollinit
Liptinit	Rezinit
	Sporinit
	Kütinit
	Alginit
	Eksinit
	Liptodetrinit
	Füsinit
İnertinit	Semifüsinit
	Mikrinit
	Makrinit
	Sklerodetrinit
	İntertodetrinit

Koklaşma sırasındaki davranışlarına göre maseraller inert ve reaktif maseraller olarak iki gruba ayrılır. Bunlar karbonizasyon sırasında akışkan hal alarak bağ yapıcı bir özellik kazanırlar. Karbonizasyon sırasında reaktif ve inert komponentler, reaktif vitrinoid, semi-fusinoid, eksinoid ve resinoid olup, inert komponentler ise inert vitrinoid, inert semi-fusinoid, mikrinoid ve mineral maddelerden oluşmaktadır. Reaktif komponentler inert komponentlere oranla ışığı daha fazla yansıtmakta olup, ısıtıldığı zaman yumuşamakta, eriyerek oldukça akışkan bir hale gelmektedir. Karbonizasyon esnasında eriyen reaktif komponentler, inert komponentleri bağlayarak sağlam bir kütle oluşturmaktadır. Ancak iyi kalitede kok üretimi için reaktif ve inert komponentlerin kömür içerisinde uygun oranda bulunması gerekmektedir. İnert komponent miktarındaki yetersizlik kok mukavemetini azaltmaktadır. Çünkü koklaşma esnasında gaz çıkışı nedeniyle kömür bünyesinde büyük boşluklar oluşmakta, eğer yeteri kadar inert komponent bulunmuyorsa meydana gelen çok gözenekli yapı kok sağlamlığını düşürmektedir. İnert komponentlerin çok fazla olması halinde de aynı durum ortaya çıkmakta, inert komponentleri saracak yeterli reaktif komponent olmaması nedeniyle elde edilen kokun mukavemeti düşük olmaktadır. Bu nedenle maksimum kok mukavemeti elde etmek için inert maseral miktarı ile reaktif maseral miktarı arasında optimal bir oran

vardır (Schapiro, 1961; Zimmerman, 1979). Bazı maseral gruplarının mikroskop altındaki görünimleri Şekil 1.13’de verilmiştir (Stansberry, 2004).



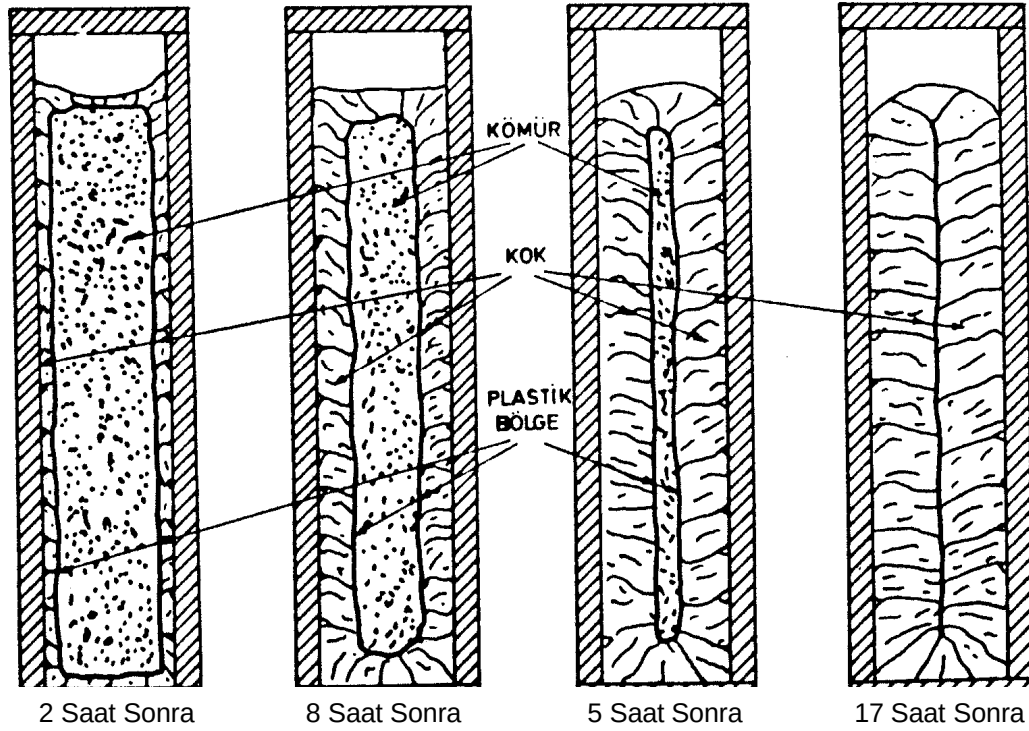
Şekil 1. 13. Bir Bitümlü Kömürdeki Maseral Grupları (Stansberry, 2004)

1.4. Koklaşma

Kömürün havasız bir ortamda ısıtılmasıyla, uçucu maddelerini kaybederek sert ve iyi pişmiş katı bir ürün bırakması olayına koklaşma denir. Uçucu maddeler kömür bünyesinden çıktıktan sonra kalan sert, gözenekli sünger yapılı ve karbon yüzdesi çok yüksek olan ürüne kok adı verilir. Kok fırınlarına şarj edilen kömür havasız bir ortamda yan duvarlardan aldığı ısı ile fırın duvarından merkezine doğru koklaşmaya başlar. Havasız bir ortamda ısınan kömür 200 °C ye kadar nemini kaybederek kururken oluşan gazlar (CO_2 ve CH_4) bünyesinden uzaklaşmaya başlar ve termal genişlemeye uğrar. 200-400 °C derece arasında ısınan kömürde bir yumuşama ve ergime görülür. Bu sırada kömürün hacmi küçülür. Fırın merkezine doğru ısı artmaya devam ettiği için merkeze doğru ergime olurken sıcaklığın yükseldiği dışta plastik bir bölge oluşur. 450- 550° arasında Ham Kok Gazının çıkışına plastik bölgenin direnç göstermesi sebebiyle kömürde şişme meydana gelmekte ve plastik bölgenin sertleşmesi ve gözenekli yapının oluşması ile yarı koklaşma meydana gelmektedir. Sıcaklık artmaya devam ettikçe (700 - 800 °C)

hidrojen ve CO gazları çıkışlarıyla yarı kok bozulması başlar. Ancak hidrojen miktarı hala fazladır. 800 °C üzerinde grafitleşme ve 900 °C üzerinde çatlak yapılı kok oluşmaya başlar. Yaklaşık 1.000 °C civarında hidrojen iyice ayrılır, son büzülme meydana gelir. Koklaşma fırın yapısı ve hedeflenen süre dikkate alınarak hesaplanan sıcaklığa (1.150–1.300 °C) ulaşıldığında tam olarak sağlanır. Koklaşmada en önemli olay, kömürden yarı koka geçişte gerçekleşen plastik bölgedir. Kömürün ısıtılması sırasında genellikle 350-550 °C arasında yumuşaması, ergimesi, hacminin küçülmesi, tekrar artarak şişmesi, taneciklerin yapışarak pışmesi ve sonunda tekrar katılaşmasının gerçekleştiği bu bölgeye plastik bölge denir. Kömürün bu söz konusu bölgedeki dayanımına da kömürün plastik özelliği denir. İyi koklaşabilir bir kömür plastik özelliklerine sahip olmalı ve belirtilen aşamaları tek tek ve sırayla geçirmelidir (Ateşok, 1986; Roberts, 1974).

Kok fırınlarında havasız bir ortamda koklaştırılan kömür fırın yan duvarlarından aldığı ısı ile koklaşmaktadır. Koklaşmada kullanılan enerjinin ana kaynaklarından biri koklaşma sırasında açığa çıkan kok gazı veya yüksek fırın gazıdır. Koklaşmada her ne kadar kömür kalitesi çok önemli olsada işletme şartları da önem arz etmektedir. Dikdörtgen bir prizma şeklinde olan fırınlar yandan ısıtılmakta ve koklaşma fırın duvarlarından içe doğru olmakta ve tam orta noktada iki taraftan başlayan plastik bölge birleşmektedir. Bu birleşmede fırın ortasından kayma meydana gelmişse kaymaya sebep olan kısımda ısıtmanın fazla olduğu dolayısıyla koklaşma hızının fazla olduğu belirlenir ve o duvara ait ısıtma gazı azaltılır. Fırın içerisindeki bu dengesizlik koklaşmanın bir tarafta tamamlanmışken diğer tarafta devam etmesi anlamına gelir ki bu durum kok kalitesini fırın içerisinde bozar. Metalurjik kok üreten fırınlarda plastik bölgenin içerlere doğru ilerleme hızı ortalama olarak saatte 1,25 cm'dir. Yani duvardan başlayan iki plastik bölgenin toplam hızı saatte 2,5 cm olur ki, 43 cm eninde bir fırın, kömür ile doldurulduktan 17 saat sonra itilir (Kural, 1988).



Şekil 1. 14. Plastik bölgenin fırın içindeki davranışı (Kural, 1998)

Koklaşma, kömür harmanını oluşturan kömürlerin rankına, bileşimine, plastikleşme derecesine, kömür oksidasyonuna, tane boyutuna, ısıtma hızına ve koklaşma süresine bağlıdır. Kokun, yüksek fırınlarda; demir oksitlerin demire indirgenmesi için gerekli gazları (CO) oluştururken Mn, S, P ve diğer oksitleri indirger. Demiri karbürüze ederek ergime sıcaklığını düşürür. Yüksek fırın içerisinde geçirgenlik ve şarja mekanik destek sağlar. Kok, demir ve curufun eritilmesi ve endotermik (ısı alan) kimyasal reaksiyonlar için gerekli olan ısıyı sağlayan çok önemli bir yakıttır.

Yüksek fırın prosesi; demir cevherinin, aşağıdan yukarıya doğru hareket eden gazlarla ısıtılması ve fırın boyunca aşağıya doğru hareket ederken indirgenmesi şeklinde düşünülebilir. Bu karmaşık proseste, kokun yüksek fırın içerisindeki esas fonksiyonları; kalorifik fonksiyon olarak, üflenen sıcak hava içindeki oksijen ile reaksiyona girerek demir cevheri ve cürufun eritilmesi ve demir cevherinin indirgenmesi için gerekli ısının bir kısmını sağlar; kimyasal fonksiyon, oksijen ve karbondioksit ile reaksiyona girerek proses için gerekli indirgeyici gazları üretir; mekanik fonksiyon olarak ta erimiş metal ve cürufun fırın içinde aşağıya hareketini

önlemeyecek, aynı zamanda indirgeyici sıcak gazların yüksek fırın içerisinde homojen dağılmasına imkân tanıyacak, sağlam, poröz ve geçirgen bir yatak oluşturulması sayılabilir. İdeal bir yüksek fırın kokunun maksimum oranda karbon içermesi, düşük küllü ve kükürtlü olması, karbondioksit ve su buharına karşı reaktivitenin belli sınırlar içinde kalması, uygun porozitede, dar bir parça dağılımında ve özellikle mekanik olarak sağlam olması arzu edilir (Nacamura ve arkadaşları, 1977; Dartnell, 1977; Hatano, 1976; Wilkinson, 1964; Nixon ve Brooks, 1969; Giedroyc ve Mathieson, 1969; Elliot, 1969).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Toroğlu (1999), Zonguldak Havzasında Türkiye Taşkömürü Kurumunun (TTK) üretim yaptığı Armutçuk, Kozlu, Üzülmöz, Karadon ve Amasra Bölgelerinden aldığı 11 adet kömür numunesinin fiziksel, kimyasal ve petrografik özellikleri incelemiş, bu kömürleri yıkama ile zenginleştirme uygulayarak temiz kömür üretmiş ve damar kömürlerinin birbirleri ile çeşitli oranlarda karıştırıp Jenkner koklaştırma deney düzeneğinde koklaştırarak deneylere ait değerlendirmeleri yapmıştır. Çizelge 2.1’de kullanılan kömür numune analiz değerleri verilmiştir (Toroğlu, 1999).

Çizelge 2. 1. Petrografik çalışmalarda bulunan maseral analizler (Toroğlu, 1999)

Kömür Damarı	Tüvenan Kül %	1,60 g/cm ³ Yoğunlukta Yüzdürme Sonrası				
		Kül %	Uçucu Madde %	Sabit Karbon %	Toplam S %	Isıl Değer kcal/kg
Karadon sulu	10,51	8,81	23,62	67,57	0,63	7338
Karadon Çay	20,89	8,05	24,29	67,66	0,56	7891
Karadon Akdağ	27,63	11,01	26,23	62,76	0,62	7530
Kozlu Sulu	30,13	7,87	14,09	68,07	0,47	7806
Kozlu Çay	27,80	9,83	27,76	62,41	0,44	7560
Kozlu Büyükkılıç	22,68	7,40	29,60	63,00	0,67	7617
Üzülmöz Sulu	36,94	10,26	27,18	62,56	0,53	7621
Üzülmöz Çay	27,19	11,92	26,24	61,84	0,41	7496
Üzülmöz Nasıfoğlu	28,71	8,70	29,11	62,19	0,71	7768
Armutçuk Büyük	10,48	4,36	32,81	62,83	0,63	7934
Amasra çınarlı	10,51	7,99	36,24	55,77	0,66	7678

Sonuçta, Armutçuk İşletmesine ait Büyük Damar ve Amasra İşletmesine ait Çınarlı damarının koklaşma ürünleri incelendiğinde; sırasıyla kok miktarının %69,39 ve %63,11, kok külünün %6,94 ve %12,35, uçucu maddenin %1,48 ve %2,87, sabit karbon içeriğinin %91,58 ve %84,78, toplam kükürt içeriğinin %0,50 ve %0,45 olduğu, kokların tambur testi sonuçları incelendiğinde Amasra kömürünün mekanik sağlamlığının (M_{40}) olmadığı, aşınma indeksinin ise %100 olduğu; Armutçuk

kömürünün mekanik sağlamlığının %66,68 olduğu ve aşınma indeksinin (M_{10}) ise %7,79 şeklinde değiştiği gözlenmiştir. Zonguldak ve Karadon Bölgesi kömürlerine Armutçuk İşletmesi Büyük Damarı kömürünün %20–30 ve 40 oranlarında karıştırılması ile elde edilen sonuçlara göre en iyi değerlerin %70 Zonguldak+%30 Armutçuk karışımı ($M_{40} = \%81.70$ ve $M_{10} = \%9.95$) ile %60 Karadon+%40 Armutçuk (Ar) karışımı ($M_{40} = \%83.49$ ve $M_{10} = \%7.57$) oranlarında elde edildiği tespit edilmiştir. Yine Zonguldak (Z) ve Karadon (K) Bölgesi kömürlerine Amasra (A) İşletmesi Çınarlı Damarı kömürünün %20-30 ve 40 oranlarında karıştırılması ile elde edilen sonuçlara göre en iyi değerlerin %60 Zonguldak+%40 Amasra karışımı ($M_{40} = \%85.38$ ve $M_{10} = \%12.57$) ile %70 Karadon+%30 Amasra karışımı ($M_{40} = \%87.48$ ve $M_{10} = \%8.68$) oranlarında elde edildiği saptanmıştır. Koklaştırma deneylerinde elde edilen ürünlere ait en iyi tambur testi sonucu %70 Karadon +%30 Amasra karışımında, kok miktarı %71.85; kok külü %10.24; uçucu maddesi %2.52; sabit karbonu %87.24 ve kükürt içeriği %0.46'dır. Çizelge 2.2'de elde edilen kok analiz sonuçları verilmiştir (Toroğlu, 1999).

Çizelge 2. 2.Karışımların koklaştırılmasından elde edilen koklara ait analizler (Toroğlu, 1999)

Kömür Damarı	Kül %	Uçucu Madde %	Sabit Karbon %	Toplam S %	Kok Stabilité %
Karadon karışımı	11,95	2,49	85,56	0,62	54
Zonguldak karışımı	12,42	2,00	85,58	0,50	61
%80Z+ %20Ar.	11,26	1,76	86,98	0,50	64
%70Z+ %30Ar.	10,55	1,86	87,59	0,50	62
%60Z+ %40Ar.	9,82	1,99	88,19	0,47	54
%80K+ %20Ar.	12,21	2,22	87,57	0,43	58
%70K+ %30Ar.	12,17	2,15	85,18	0,47	57
%60K %40Ar.	9,82	1,93	88,25	0,49	58
%80Z+%20A	12,39	1,65	85,96	0,49	58
%70Z+ %30A	12,07	1,87	86,06	0,52	54
%60Z %40A	12,24	2,17	85,59	0,53	51
%80K+ %20A	10,81	2,39	86,80	0,45	52
%70K+ %30A	10,24	2,52	87,24	0,46	51
%60K+%40A	9,82	2,15	88,03	0,48	49

Erdemir (2003), Zonguldak kömürlerinin ithal kömür harmanları içerisinde belirli miktarlarda kullanılması sonucunda üretilen kokun kalite, maliyet ve yüksek fırınlardaki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada kalite yönden en iyi kokun üretildiği 2002 Eylül ayı harmanı baz alınarak harmandaki yüksek uçuculu (YU) South Blackwater (SBW) (Avustralya) kömürleri belirli oranda azaltılırken harmana o oranda Zonguldak kömürleri katılması ile Erdemir Kömür Değerlendirme Bilgisayar Programında (EKDP) değerlendirilme yapılmıştır (Erdemir, 2003).

Çizelge 2. 3.Karışımların koklaştırılmasından elde edilen koklara ait analizler (Erdemir, 2003).

Kömür Cinsi	Kömür Kalitesi	Harman %	Stabilite %	Kül %	S %	K ₂ O %
Jim Walter -ABD	DU	35	63.81	10.10	0.511	1.58
Goonyella – Avustralya	OU	30				
Jim Walter -ABD	YU	15				
SWB - Avustralya	YU	20				
Zonguldak	YU	0				

Çalışmada Zonguldak kömürleri %5-%20 arasında arttırılırken SWB kömürü aynı sırayla %5 - %20 azaltılarak yeni harmanlar değerlendirilmiş ve Çizelge 2.5'teki sonuçlar elde edilmiştir. Zonguldak kömürlerinin kül ve alkali içeriklerinin fazla oluşu harman içerisindeki miktarı arttıkça üretilen kokun kül ve alkali miktarlarını arttırmıştır. Zonguldak kömürleri harman içerisinde %5 iken %1,50 olan K₂O değeri, harman içerisindeki Zonguldak kömür oranı %20'ye çıkartıldığında %2,12'lere yükselmiştir. Aynı şekilde kok külü miktarı da Zonguldak taşkömürü oranı %5 iken %10,10 olan kok külü, harman oranı %20 olan karışımlarda %11,33'e yükselmiştir (Erdemir, 2003).

Çizelge 2. 4. Karışımların koklaştırılmasından elde edilen koklara ait analizler (Erdemir, 2003)

Zonguldak	%	0	5	10	Yüksek Fırın Kok Kalitesi (İstenen)	15	20
Stabilite	%	63.81	63.89	63,92	62,00	63,95	63,98
Kül	%	10,10	10,41	10,72	10,00	11,03	11,33
Kükürt	%	0,52	0,51	0,51	0,50	0,51	0,52
K ₂ O	%	1,58	1,73	1,86	1,80	1,995	2,12

Yapılan çalışmada kullanılan harman içerisindeki ithal kömürlerin tek başına (%100) koklaştırma stabiliteleri yüksek olmasından dolayı Zonguldak kömürü oranlarındaki değişme kokun stabilite değerini etkilememiştir. Örnek olarak Zonguldak kömürünün %100 koklaşma stabilitesi %50,82 iken diğer kömürlerin tek başına koklaşma stabiliteleri %54,4 ile %62,87 arasında değişmektedir. Zonguldak kömürü, harman içerisinde stabilitesi düşük herhangi bir kömürle kullanıldığında üretilen kokun stabilitesi çok düşmektedir. Bu da gösteriyor ki Zonguldak kömürünün bulunduğu harmandan yüksek stabiliteli kok elde etmek için karışımdaki diğer kömürlerin tek başına stabiliteleri yüksek olmalıdır (Erdemir, 2003).

Kemal (1982), Sert Linyit Kömürlerinin Kok Üretiminde Kullanılma Olanakları, çalışmasında Tuçbilek ve Soma kömürlerini kullanarak sert linyitlerin metalurjik kok üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmasında linyitler ile Zonguldak kömürlerini harmanlayarak koklaştırmanın yanı sıra bunları harmanladıktan sonra zift ile karıştırarak biriket elde ederek koklaştırma sağlamıştır. Koklaştırma işleminde Dr.Jenkner-retortu kullanmıştır. Ayrıca çalışmasında Sert linyit kok tozu zift karışımlarının izole edilmiş bir oksitlenme kutusunda belirli sıcaklık ve O₂ içeriğinde hava ve N₂ karışımı ile oksitlenmelerini incelemiştir.

Çalışma sonucunda, Tuçbilek kömürü orijinal halde Zonguldak kömürleri ile harmanlandığında istenen sağlamlıkta kok elde edilememiş, 550 °C de elde edilen Tuçbilek semikokunun %10 oranında Zonguldak kömürüyle metalurjik kok üretilmesinin mümkün olmasına karşın, 900 °C de elde edilen Tuçbilek kokunun Zonguldak kömürleriyle karıştırılmasında kok kalitesinin hızla düştüğü ve istenen sağlamlıkta kok elde edilemediği anlaşılmıştır. Sert linyitlerin kok üretiminde kullanılabilmesi için önce düşük sıcaklık karbonizasyonuna tutularak elde edilen

semi kokun harmanda kullanılması gerektiği ve Tunçbilek linyitlerinin bu durumda %10 olarak kullanılmasının kok sağlamlığında herhangi düşme yapmadığı tespit edilmiştir. Birikitleme yoluyla kok üretiminde ancak semi kok eldesi ile mümkün olacağı, Tunçbilek kömürü ile yapılan deneylerde biriket karışımına %65-%70 semikok ilavesi ile metalurjik prosesler için gerekli sağlamlıkta formkok elde edildiği tespit edilmiştir (Kemal, 1982).

Akçura ve Olcay (1982), yaptıkları çalışmada, Adıyaman Kahverengi kömürü, Soma linyiti, koklaşma özellikleri farklı Armutçuk ve Kozlu bitümlü kömürlerini kullanarak Jenkler düzeneğinde 500-600-700 ve 900 °C sıcaklıklarda karbonize edilerek kok, katran, hafif yağ, bozunma suyu, hidrojen sülfür ve gazın verimlerini hesaplamışlardır (Akçura ve Olcay, 1982).

Ateşok ve arkadaşları (1994), 1993 yılında T.D.Ç.İ. Genel Müdürlüğü tarafından ithal edilen ithal kömürler üzerinde yaptıkları çalışmada, 6 ay boyunca izledikleri 3 farklı tip ithal kömürün oksidasyon sonucu koklaşma özelliklerindeki değişimi ve bu kömürlerle Zonguldak kömürlerinin optimum harmanının tespitini araştırarak ve bu harmanların Karabük Kok Fabrikasında uygulamak suretiyle sağlanacak tasarruflar matematiksel olarak tartışmışlardır. Deneysel çalışmaların çeşitli kademelerinde kullanılan Koklaşma Gücü Faktörü (G) dilatometre eğrisinden, Kok Mukavemeti (M40) Simonis ve grubu tarafından geliştirilen formülle ve tane boyutuna bağlı sapma değeri (Ms) numunenin tamamının 3.14 mm altına kırılmasıyla elde edilen boyut dağılımından hesaplanmıştır. Çizelge 2.5'te ithal kömürlerin ve Zonguldak kömürlerinin kimyasal analizleri verilmiştir.

Çizelge 2. 5. Zonguldak ve İthal Taşkömürlerinin Kimyasal Analiz Sonuçları
(Ateşok, 1994)

	BHP Trading OU	BHP Coal DU	Phibro Energy OU	Zonguldak Kömürü
Kül (kb)	7.40	7.23	6.50	11.50
Uçucu Madde (kkb)	28.90	24.10	26.90	31.50
Sabit Karbon (kb)	65.84	70.51	68.35	60.62
Toplam Kükürt (kb)	0.52	0.57	0.68	0.52

kkb: kuru külsüz baz, kb: kuru baz

Bu çalışmaların sonucunda, ithal taşkömürlerin koklaşma özelliklerinin ilk iki ayda %20 ile %30 arasında azaldığı, dilatasyon değerlerinin 3. ve 4. aylardan itibaren negatif olduğu tesbit edilmiş, en uygun harmanların tesbiti çalışmalarında; Zonguldak taşkömürü ile ithal taşkömürlerin en uygun karışım oranları kömürlerin koklaşma özelliklerinin oksidasyondan en az etkilendiği ilk iki aylık süre baz alınarak hesaplandığında; 1. harmanda %55 Zonguldak taşkömürü, %45 orta uçuculu ithal taşkömürü ile karıştırılabileceği, 2. harmanda %60 Zonguldak taşkömürü, %20 orta ve %20 düşük uçuculu ithal taşkömürlerle karıştırılabileceği tespit edilmiştir. Zonguldak taşkömürünün ideal harmandaki karışım oranı başlangıçta %52.2 ile %67.8 değerlerinde iken, 4. ayda %84.8 ile %86.2 değerleri arasında olmaktadır. 5. ve 6. aylarda ise harmanlanacak kömürlerin, koklaşma gücü eğrisinde, koklaşma faktörü (G) değerlerinin 1.010 ile 0.950 değerleri arasında olması gerektiğinden ve bekletilen taşkömür numunelerinin tümünde 5. ve 6. aylarda G değeri 0.950 değerinin altında olduğundan, ithal kömürlerin kullanım imkanı bulunmamaktadır (Ateşok, 1991).

Çalışmanın son aşamasında, Optimal harman şekillerinin Karabük Kok Fabrikasına uygulanması halinde; Çizelge 2.6'da görüldüğü gibi, optimal karışıma göre hazırlanmış harmanlarda Zonguldak Kömürü %87 ile %100, koklaşma gücü (G) %22 ve harman külü %7.2 ile %9.7 oranında artmıştır. Ayrıca en uygun harman içinde verilen ve kırma eleme deneyleri ile elde edilen Ms değeri işletme değerlerinden 15 puanlık düşüş göstermektedir. Kok mukavemetleri; M40 dayanımında %6.2 ile %6.8 değerleri arasında ve Mio aşınma değerinde %13 iyileşme görülmektedir. Kok külünde %7 ile %9 arasında artış olmaktadır. yüksek fırınlarda optimal harmanlardan elde edilmiş koklar kullanıldığında, kok tüketiminde %4.34 ile %4.59 arasında tasarruf ve mayi (sıvı) maden üretiminde %4.55 ile %4.81 arasında artış sağlanacağı tespit edilmiştir (Ateşok ve ark., 1994).

Kemal (1984), Metalurjik Kok Üretiminde, Optimal Kömür Karışım Eldesi için Kullanılan Yöntemler, adlı çalışmasında harman içerisinde kullanılan kömürlerin analiz sonuçlarına göre elde edilebilecek kok kalite değerlerinin çeşitli hesaplama yollarını anlatmış ve bunu birkaç örnek hesapla pekiştirmiştir. Bu çalışmada,

Simonis ve arkadaşlarının kömür koklaşma özelliği ve koklaştırma koşullarına bağlı olarak kok sağlamlığının hesaplanması, Schapiro ve Gray (1999) çalışmalarına dayanan kömürün petrografik kompozisyonundan, kok sağlamlığının hesaplanması ve Miyazu ve arkadaşlarının (1974) ortalama refleksiyon ve akışkanlık değerleri yardımı ile en uygun kömür karışımının saptanması yöntemleri kısaca anlatılmıştır (Kemal, 1984).

Çizelge 2. 6. Optimal (en uygun) Harmanların ve Karabük Kok Fabrikası Parametrelerinin Karşılaştırılması (Ateşok ve ark., 1994)

Analizler		Karabük Kok Verileri	Hesaplanan Taşkömürü ve Kok Değerleri	
			1.Optimum Harman Oranlarına Göre	2.Optimum Harman Oranlarına Göre
Taşkömürü Harmanı	Harman Karışım Oranları	%70,57 OU ve DU İthal, %29,43 Zonguldak	%45 OU İthal %55 Zonguldak	%20 OU İthal %20 DU İthal %60 Zonguldak
	Nem,%	8,45	8,61	8,65
	Kül,%	9,07	9,73	9,95
	Uçucu Madde (kb) (kkb)	23,49 25,83	24,34 27,00	23,90 26,59
	Sabit Karbon	67,44	66,32	66,58
Kok	G Değeri	1,000	1,033	1,033
	Ms Değeri	22,68	8,57	8,38
	Kül (% ,kb)	13,09	14,01	14,33
	Uçucu Madde (% ,kb)	0,95	0,95	0,95
	Sabit Karbon (% ,kb)	85,96	85,04	84,72
	Micum Testi	M40	77,35	82,16
		M10	7,48	6,5

Özden ve Gencer (1983), koklaşmayan kömürlerin briketlenerek koklaşabilir kömürlerle harmanlanabilirliği üzerine yaptıkları çalışmada, Zonguldak, Armutçuk ve Amasra lavuarlarından temin edilen 0-10 mm tane iriliğindeki kömürleri kullanarak kısa analizleri, toplam kükürt, serbest şişme indeksi tayini, dilatasyon ve

elek analizi testlerini uygulamışlardır (Çizelge 2.7). Kömürlerin briketlenmesinde bağlayıcı olarak kullanılan ziftin özellikleri: Nem %6.0, kül %2,8, kükürt %0,87, uçucu madde %57,32, sabit karbon %33,88, yumuşama noktası 79 °C, benzende çözünmeyen %21,5 Armutçuk, Amasra, Zonguldak kömürleri ve zift gerekli oranlarda karıştırılmıştır. Kömür-bağlayıcı karışımı yaklaşık 80 °C de yoğrularak roll-preste briketlenmiştir. Briketlerdeki bağlayıcı miktarı %10 olarak sabit tutulmuştur.

Çizelge 2. 7. Biriktlemede kullanılan kömürlerin özellikleri (Özden ve Gencer, 1983).

		Zonguldak (Havada Kuru)	Armutçuk (Havada Kuru)	Amasra (Havada Kuru)
Kısa Analiz	Nem	1,20	2,00	4,80
	Kül	16,22	14,86	12,74
	Uçucu Madde	16,40	29,47	33,45
	Sabit Karbon	56,18	53,67	49,01
	Toplam Kükürt	0,36	0,52	0,81
	Serbest Şişme İndeksi	7,0	2,5	1,5
Dilatometre	Yumuşama Noktası °C	380	377	380
	Dilatasyon Başlama Sıcaklığı °C	414	-	-
	Max. Dilatasyon Sıcaklığı °C	470	-	-
	Büzülme %	31,29	20,94	8,13
	Genleşme %	64,14	-	-
	Toplam Genleşme	95,43	-	-
Elek Analizi	+5,60 mm	1,11	1,70	0,51
	-5,60 +4,00 mm	2,26	5,96	2,04
	-4,00 +2,80 mm	3,50	46,61	4,5
	-2,80 +1,00 mm	49,12	36,76	52,66
	-1,00 +0,50 mm	24,85	2,37	25,70
	-0,50 +0,212 mm	12,74	3,06	12,59
	-0,212 mm	6,12	1,29	1,65

Çalışmada hem Zonguldak ve Armutçuk kömürlerinin harmanlanması ile hem de briket kömürlerinin Zonguldak kömürleri ile koklaşma sağlanmıştır. Koklaşma, fırın kamara genişliği 43.2 cm, derinliği 121 cm ve yüksekliği 91.4 cm

olan 400 kg'lık, koklaşma sırasında açığa çıkan karbonizasyon gazlarıyla ısıtılan kok test fırınında 1.150 °C de sağlanmıştır. Koklaşma süresi briket şarj denemelerinde 18 saat, basit harmanlama denemelerinde 17 saat olarak gerçekleştirilmiştir. Koklaşma sonrası örnekler üzerinde elek analizleri, tambur ve shatter testleri, görünür ve gerçek yoğunlukları, poroziteleri, reaktiviteleri, kimyasal analizleri ile toplam kükürtleri tayinleri yapmıştır. Çalışmada, pilot fırınlardaki basit harmanlama yöntemlerinde büyük ölçekli endüstriyel fırınlara göre daha homojen oluşunun koklaşma kriterleri açısından farklılaşmalar gösterdiği ve kömür karışımları içindeki koklaşmayan kömür oranının artması sonucu değerlerin çok daha farklı sonuçlarda olduğu görülmüştür. Test fırınlarında basit harmanlama uygulaması ile tatmin edici sonuçlar veren karışımlardan endüstriyel kameralar kullanıldığında olumlu sonuç alınamaması mümkündür. Çalışma sonucunda, Armutçuk ve Amasra kömürleri Geliştirilmiş Briket Şarj Yöntemine (Sumi-Coal System) uygun kömür cinsleridir Bu yöntemin uygulanması ile %25-30 oranında Armutçuk kömürü ve %15-20 oranında Amasra kömürü Zonguldak veya ithal kömürlerine ilâve edilerek metalurjik kok üretiminde değerlendirilebilir. Elde edilen kokların parça büyüklüğü, mekanik sağlamlığı, yoğunluğu, porozite ve reaktivite değerleri ve kimyasal analiz değerleri yüksek fırın operasyonunda hiç bir işletme problemine neden olmayacak özelliklerdedir (Özden ve Gencer, 1983).

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Kömür Örnekleri

Bu tez çalışmasında, Kardemir A.Ş. Kok fabrikaları stok sahasında bulunan dört farklı kaynaktan temin edilmiş ve koklaşma özellikleri bulunan yerli (TTK), ABD, Ukrayna ve Kanada kaynaklı kömürler kullanılmıştır.

Ülkemizde koklaşabilir taşkömürü sadece Zonguldak Havzasında üretilmektedir. Satın alınan yerli kömür koklaşabilir kömür sahaları Karadon, Üzülmüş ve Kozlu bölgesinden çıkartılan kömürlerdir. 2006 yılında TTK'dan alınan 314.000 ton taşkömürlerinin yıllık ortalama değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. Kok Fabrikalarının 2006 yılı TTK'dan alınan kömür analizleri

	Nem %	Kül %kb	Uçucu Madde	S.C. %kb	Kalori Kcal/kg	FSI	S %kb	Elek Analizleri mm		
			%kb					+3,15	-3,15 + 0,5	- 0,5
Çatalağzı	8,90	10,34	25,85	63,81	7.450	7,7	0,58	29,51	59,43	11,06
Zonguldak	7,54	9,50	27,12	63,38	7.300	7,8	0,49	32,59	57,15	10,26
Ortalama	8,22	9,92	26,48	63,59	7.375	7,7	0,53	31,05	58,30	10,65

ABD kaynaklı kömürler genelde Consol firmasından temin edilmektedir. Firma 4,5 milyon ton kömür rezervine sahip olup, üretimin %90'ı yer altı , %10'u yerüstü üretimi yapmaktadır. 2008 yılı kömür satışı 66 milyon tondur. Metalurjik kömür olarak 1,5 milyon ton iç pazara, 2,1 milyon ton uluslararası pazara satış gerçekleştirmiştir. ABD kaynaklı kömürlerin düşük uçucu maddeye sahip olanlarında duvar basıncı fazla olmasından dolayı tercih edilmemektedir. Alımı yapılan kömürler Fiyat olarak uygun olmalarına karşın koklaşma özelliklerinden dolayı harmanlanmak üzere alınmakta ve fırınlara direk şarj edilmektedir (<http://www.consolenergy.com/>).

Kanada kömürleri ELK Valley firmasından temin edilmektedir. Premium ocağını temsil eden kömürler ağırlıklı orta uçuculu, düşük kül ve kükürt değerlerine sahiptir. Stok durumlarına göre direkt şarj edilebilmektedirler. Kanada kömürlerinin - 0,50 mm değerlerinin yüksek oluşu (%15-20) kömürlerde stoklama ve üretim sırasında tozumalara sebep vermektedir. Kanada kömürlerinin tipik kalite değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir (<http://www.mining-technology.com/projects/fording/>).

Çizelge 3.2. Kanada kömürlerinin tipik kalite değerleri (<http://www.mining-technology.com/projects/fording>, 2009)

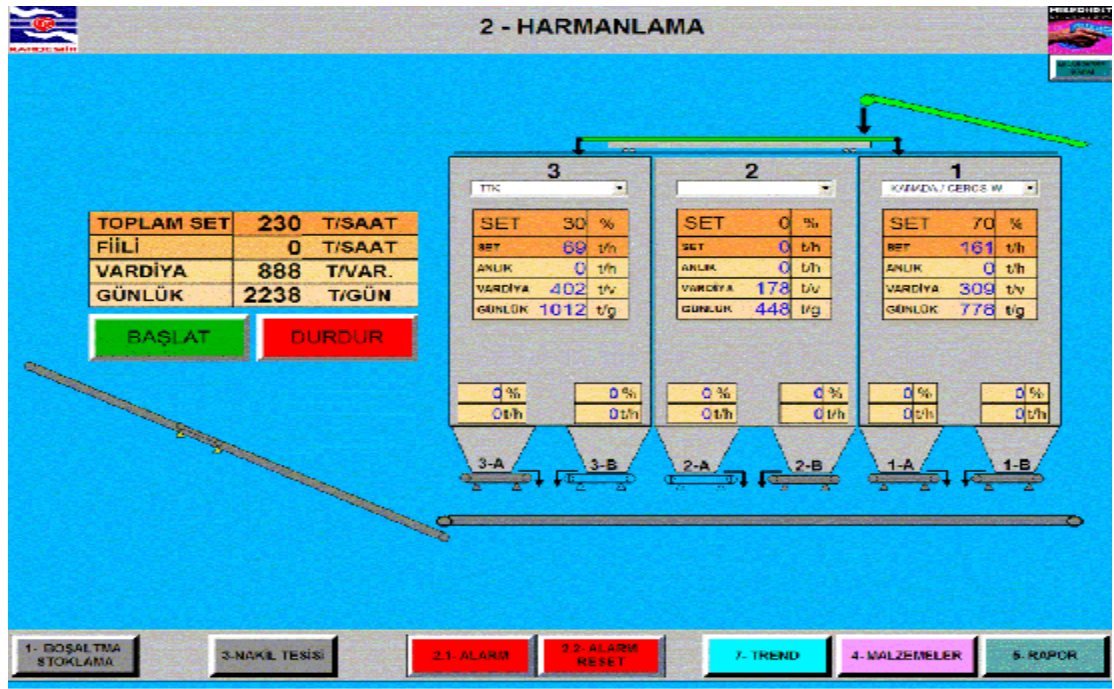
Kanada Kömürleri	Orta Uçuculu PCL Kömürü	Yüksek Uçuculu Taşkömürü
Kül %	9,00-11,00	6,00
Uçucu Madde %	22,00-24,00	26,70 – 29,40
Kükürt %	0,60 – 0,70	0,60 – 0,65
Kalori (Mj/kg)	29,30 -33,50	32,40

Ukrayna kaynaklı kömürler, Donetsk Havzasının kömürleri olup yüksek alkali ve uçucu madde değerlerine sahiptirler. Bu kömürler harmanlanabilir oluşu ve fiyat yönünden diğer kömürlere nazaran daha uygun olmakta ve daha kısa zamanda tedarik edilebilmektedir.

3.1.2. Kömürlerin Harmanlanması

Kömürlerin harmanlanması, kömür hazırlama tesisinde yapılmıştır. Harmanlama yapılmadan önce, şarj silosunun 600 tonluk küçük gözü çalışmada kullanılacak 200 ton kömür karışımının bu göze alınması için boşaltılmıştır, 1.400 tonluk gözden ise günlük üretim ihtiyacı kömür sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan 200 ton kömür, günlük üretimde kullanılan 2.500 ton kömüre karıştırılmadan tespit edilen 10 adet fırına şarj edilmiş ve çalışmada elde edilen 150 ton kok+kok tozu da

günlük kok+kok tozu üretimine karıştırılmadan kırma elemeye tabi tutularak metalurjik kok numuneleri alınmıştır. Çalışmada kullanılacak kömürler ilk önce kaynaklarına göre harman siloya alınmış ve PLC (otomatik kontrol) sistemi ile %100 şarj edilmiştir. Daha sonra ithal kömürler TTK kömürleri ile %30 TTK, %70 İthal şeklinde harmanlanmıştır. Şekil 3.1’de harmanlama bilgi giriş ekranından girilen, %30TTK, %70 Kanada harmanı çalışır halde görülmektedir. Sistemde, toplam set kısmında girilen bant konveyörlerin saatlik taşıma kapasitesine (230 ton/s) göre % harman dikkate alarak dozaj bant hızlarını Kanada kömürleri için 161 ton/s, TTK kömürleri için 69 ton/s olarak otomatik olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3. 1. Harmanlama bilgi giriş ekranı

Tüm çalışma sırasında işletme koklaşırma şartları aynı düzeyde korunmuş ve günlük üretimden ayrı olarak takip edilmiştir. Fırınların koklaşırma ısısına ulaşması için ısıtma gazı olarak Kok Gazı ile Yüksek Fırın gaz (YFG+KG) karışımı olan karışık gaz kullanılmış, 18 saatlik koklaşırma süresince ısıtma ısısı 1.280°C’de tutulmuştur. Kömürler 10 fırına şarj edilmesine rağmen numuneler her kömür grubu için uygun olan 5 fırından alınmıştır. Çizelge 3.3’de çalışmada kullanılan kömür harmanları ve koklaşırma şartları görülmektedir.

Çizelge 3. 3. Çalışmada kullanılan kömürlerin koklaşma kriterleri

Harman %	Şarj Fırın Sayısı	Şarj Miktarı Ton	Numunenin Alındığı Fırın No	Koklaşma Süresi	Koklaşma Sıcaklığı	Isıtma Gazı
%100 TTK	10	200	65/83/88/93/98	17,96 saat	1.280 °C	YFG + KG
%100 ABD	10	200	26/31/73/78/83	17,96 saat	1.280 °C	YFG + KG
%100 Ukrayna	10	200	94/99/46/51/56	17,96 saat	1.280 °C	YFG + KG
%100 Kanada	10	200	17/22/78/83/88	17,96 saat	1.280 °C	YFG + KG
%30 TTK %70 ABD	10	200	29/34/39/84/94	17,96 saat	1.280 °C	YFG + KG
%30 TTK %70 Ukrayna	10	200	28/33/52/62/67	17,96 saat	1.280 °C	YFG + KG
%30 TTK %70 Kanada	10	200	55/60/65/70/75	17,96 saat	1.280 °C	YFG + KG

3.2. Metot

3.2.1. Kömür Analizleri

Kömür örneklerinde kömür kalitesinin ve koklaşma özelliklerinin belirlenmesi için proximate (kısa), ultimate (element), kalori (ısısal) ve iz element analizleri yapılmıştır. Sabit karbon değeri, kömürdeki nem, kül ve uçucu madde toplamalarının 100'den çıkartılması ile bulunmuştur.

3.2.2. Kok Analizleri

Kok örnekleri tüm kömür örneklerinin tek kaynak olarak kok fırınlarına şarjı sonrası üretilen kok ve kok tozu içerisinde günlük üretim ile karıştırılmadan Kok Kırma Eleme tesisinden geçirilmiş ve otomatik numune alıcısı vasıtasıyla konveyör bant üzerinden örnekler alınmıştır. Metalurjik kok numuneleri ise, belirlenmiş kok bataryalarında koklaşması tamamlanan kömür günlük üretimlere karıştırılmadan Kok Kırma Eleme Tesisine konveyörler ile aktarılmış ve proses gereği ilk elekte + 90 mm ihtiyaca göre döküm kok olarak ayrılır veya silindirik kırıcıda kırılarak elek altı

malzeme ile ikinci elekte ebatlandırma işlemi yapılır. Bu elekte metalurjik kok, ceviz kok ve kok tozu ebatlandırılarak bunkerlere alınır. Numuneler metalurjik kok konveyörü üzerindeki otomatik numune alıcısından konveyör üzeri tam taranarak alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan kömür ve kok örnekleri Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları tesislerinde belirli proseslerden geçirilerek alınmış ve tüm analizler Kardemir A.Ş. Kok fabrikaları laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.2.3. Numunelerin Hazırlanması

3.2.3.1. Taş Kömürü Numunesinin Hazırlanması

TTK ve İthal taşkömürü numuneleri stok sahasından stoğu temsil edecek şekilde, harmanlanmış taşkömürü numuneleri ise harmanlanma sonrası kırıcıdan geçtikten sonra otomatik numune alıcılarla alınmıştır. Alınan örnekler iyice karıştırılarak içerisinden nem tayini için yaklaşık 1 kg kömür numunesi alınmış ve bekletmeden nem tayini yapılmıştır. Kalan numune dörtleme usulüyle yaklaşık 3 kg'a azaltılmıştır. Numunenin yarısı elek testi için ayrılarak etüvde kurutulmaya bırakılmıştır. Numunenin diğer yarısı, takriben -10 mm inceliğe kadar kırılmış, yaklaşık 500 gr numune, kimyasal analiz için etüvde 2 saat kurutulduktan sonra alınarak en az 50 gr 0,200 mm elekten geçecek şekilde öğütülmüştür.

3.2.3.2. Metalurjik Kok Numunesinin Hazırlanması

Metalurjik kok analizi, her kömür çalışması için kırma eleme tesisinden alınan yaklaşık 100 kg numune üzerinde yapılmıştır. Kimyasal analiz için 15 kg numune alınarak çeneli kırıcıda yaklaşık 20 mm'ye kırılmıştır. Kalan miktar micum tambur testi kullanıldı. Kırılmış numuneden 5 kg nem ve kimyasal analiz için ayrılarak, nem tayini için 1 kg numune etüve konulur. Kalan numune, kimyasal analiz için yaklaşık -10 mm inceliğe kadar kırılır. Karıştırılır, azaltılarak yaklaşık 0,5 kg.'ı etüvde kurutulur ve en az 50 gr 0,200 mm elekten geçecek şekilde öğütülerek kavanoza alınır.

3.2.4. Kısa Analizler

Orijinal kömür numunelerine TSE standartlarına uygun olarak Kardemir A.Ş. Kok Fab. Laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.2.4.1. Taşkömüründe Nem Tayini

Taşkömüründe nem tayini TS 690 ISO 589 çerçevesinde yapılmıştır. Kömür kaynağını temsil eden numune içerisinde 1 kg numune 105 °C (± 10 °C)' deki etüve konulur. Sabit tartıma kadar kurutmaya devam edilir. Etüvden çıkartılan örnek desikatörde soğuduktan sonra tartılır. Nem tayinleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır;

$$\%Nem = [(B - C) / (B - A)] \times 100 \quad (3.1)$$

A: Boş kabın ağırlığı, B: Kap + Numune ağırlığı, C: Kuruduktan sonraki tartım.

3.2.4.2. Kokta Nem Tayini

Kok nem tayini TS 701 çerçevesinde yapılmıştır. Çalışma sonucu üretilen koku temsilen alınan numune, çeneli kırıcıda yaklaşık 20 mm inceliğe kadar kırılır. 1 kg numune 200 °C (± 10 °C)' deki etüve konulur. Sabit tartıma kadar kurutmaya devam edilir. Etüvden çıkartılan örnek desikatörde soğuduktan sonra tartılır. Hesaplama aşağıda verilmiştir.

$$\%Nem = [(B - C) / (B - A)] \times 100 \quad (3.2)$$

A: Boş kabın ağırlığı, B: Kap+Numune ağırlığı, C: Kuruduktan sonraki tartım.

3.2.4.3. Taşkömüründe Kül Tayini

Kömür örneklerinde kül tayini TS 330 uygun olarak yapılmıştır. Numune hazırlama sırasında 0,200 mm elekten geçirilecek şekilde pudra haline getirilmiş kömür örneğinden 1 gr kroze tartılır. Soğuk fırına kroze yerleştirilir. Fırın 30 dakikada 500 °C'ye daha sonra 30–60 dakikada 815 °C'ye yükseltilir ve bu sıcaklıkta

sabit ağırlığa (birbirini izleyen ve 10'ar dakikalık zaman aralıklarıyla yapılan iki tartım arasındaki farkın %0,1'i geçmemesi şeklinde tarif edilir.) gelinceye kadar yakılır. Fırından çıkarılan kroze soğuk bir metal üzerinde 10 dakika bekletilir. Desikatöre koyulur ve soğuduktan sonra hassas terazide tartılır.

$$\%K\ddot{u}l = [(C - A) / (B - A)] \times 100 \quad (3.3)$$

A: Boş kabın ağırlığı, B: Kroze+Numune ağırlığı ve C: Yanma sonrası tartım.

3.2.4.4. Kokta Kül Tayini

Kok örneklerinde kül tayini TS 643 uygun olarak yapılmıştır. Pudra haline getirilmiş (-0,200 mm) kok örneğinden 1 gr. krozeye tartılır. Soğuk fırina kroze yerleştirilir. Fırında 815 ± 5  C'ye kadar sabit tartıma gelinceye kadar yaklaşık 2 saat yakılır.Fırından  ıkarılan kroze desikatöre koyulur ve soğuduktan sonra hassas terazide tartılır. K l taylorleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır

$$\%K\ddot{u}l = [(C - A) / (B - A)] \times 100 \quad (3.4)$$

A: Boş kabın ağırlığı, B: Kroze+Numune ağırlığı ve C: Yanma sonrası tartım

3.2.4.5.Uçucu Madde Oranı

Uçucu madde oranı tespitleri ASTM D 3175-89a ve TS 711 ISO 562 / 03-2002 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Pudra halinde havada kurutulmuş 1 gr. numune kapaklı kroze içerisinde 900  C sıcaklıktaki fırina 7 dakika bekletildikten sonra desikatörde soğutulur. Soğuma sonrası tartım değerleri hesaplamada kullanılır. Uçucu madde taylorleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Eřitlikte, A : Boş kroze ağırlığı, B : Kroze + Numune ağırlığı ve C : fırina çıkan kroze ağırlığıdır.

$$\%U ucu Madde = [(B - C) / (B - A)] \times 100 \quad (3.5)$$

3.2.5. Tane Boyu Dağılımı

Tane boyu değerlendirilmesinde, kömürler 3,15 mm, 2,00 mm, 1,00 mm ve 0,5 mm elekten geçirilirken, koklaşma sonrası elde edilen metalurjik kok 80,00 mm, 75,00 mm, 50,00 mm, 25,00 mm'lik eleklerden geçirilmekte ve toplam numuneye elek arası tartımlar orantılanarak hesap edilmektedir.

3.2.6. Kükürt Tayini

Kardemir A.Ş. Kok laboratuvarlarında yapılan kükürt analizleri ASTM D 4239-94 çerçevesinde yapılmıştır. Kömür numunesi olarak 0,350 gr, kok numunesi olarak 0,250 gr numune Lecco kükürt cihazının (Şekil 3.2) içerisine krozesi ile yerleştirilir. Numune, 1350 °C sıcaklıkta %99,5 saflıkta oksijen gazı ile yakılır ve kükürt oksitlenerek SO₂ olur. Nem ve toz uzaklaştırılır ve SO₂ gazı kızıl ötesi dedektörü ile ölçülür. Çıkan değerler ekranda görülerek çıktısı alınabilir.



Şekil 3. 2. Lecco kükürt ölçüm cihazı

3.2.7. Serbest Şişme İndeksi, FSI (Free Swelling Index)

Kömür örnekleri, özel FSI krozesi içerisine alınan 1gr kömür homojen dağılım sağlamak ve kömürün iyi yayılımı için 12 kere zemine hafifçe vurulur. Daha sonra bek üzerine yerleştirilen kroze uçucu madde çıkışının gözlenmesi bitene kadar (~ 2 dk) beklenir. Alınan numune FSI tablosunda kıyaslanarak değer kayıt altına alınır. Şekil 3.3'te serbest şişme indeksi karşılaştırma tablosu, kroze ve ısıtma beki görülmektedir.



Şekil 3. 3. Serbest şişme indeksi (FSI) kroze, ısıtma beki ve karşılaştırma tablosu

3.2.8. Maksimum Akışkanlık

Plastometre tayini, oda sıcaklığında kurutularak nemini kaybeden 4 kg'lık örnek 0,850 mm elekten geçecek şekilde öğütülür ve 500 gr dolayına azaltılır. 500 gr'lık örnek dörtlenerek 0,425 mm elekten geçecek şekilde öğütülür. Tane boyu küçülen kömürde oksitlenme meydana geleceği için test en kısa zamanda yapılmalıdır. Karıştırma çubuğu kroze (Şekil 3.4) içerisine oturtularak içerisine 5 gr numune koyulur. Numunenin kroze içerisinde tam dağılmasını sağlamak amacıyla karıştırıcı kolları hafifçe döndürülmelidir. Numunenin hepsi krozeye yerleştirildikten

sonra piston aşığı indirilerek kömür biraz sıkıştırılır. Daha sonra çekici iyi sıkışmanın sağlanması için oniki kere numune üzerine bırakılır.

Plastometre cihazında (Şekil 3.5) deney başlangıç sıcaklığı 330 °C, bitiş sıcaklığı 550 °C olarak belirlenir. Deney başlangıç sıcaklığına geldiğinde dakikada 3 °C artacak şekilde ayarlanır. Başlangıç sıcaklığı (330 °C) sağlandığında hazırlanan numune plastometre cihazına yerleştirilir. Kömür ısınmaya başladığında önce yumuşar karıştırıcı hareket etmeye başlar. Kömür ısınıp daha akışkan hale geldikçe karıştırıcı daha da hızlı hareket ederek maksimum değere ulaşır. Sıcaklık artmaya devam ettikçe kömür koka doğru geçiş sağladığı için katılaşma başlar, karıştırıcı hızı yavaşlayarak sonunda durur. Karıştırıcının sıcaklık karşısında gösterdiği davranış cihazdan okunur. Yumuşama sıcaklığı dakikada 0,5 kadran bölümü hızla hareketin başladığı sıcaklık, maksimum akışkanlık hareketin maksimum olduğu değer ve sıcaklık, katılaşma sıcaklığı ise karıştırıcı hareketinin durduğu sıcaklıktır.



Şekil 3. 4. Plastometre kroze ve çekici



Şekil 3. 5. Plastometre ölçüm cihazı

3.2.9. Kömür ve Kok Külünde Alkali Tayini

Kömür ve kok örneklerinin alkali tayini Kardemir A.Ş. Kalite Yönetim Müdürlüğü Spektral Laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.2.10. Oksitlenme

Oksidasyonun spektrometre ile tayini, iki ayrı behere 100 ml NaOH koyularak içlerine bir damla Tridot damlatılır (ikinci damla örneği bozar). Beherlerden birine 1 gr 0,200 mm kömür örneği konarak iki beherde karıştırılarak kaynayınca kadar ısıtılır. Kaynama başladıktan sonra en az üç dakika daha beklenir ve beherler yarım saat soğumaya bırakılır. Örneklerin süzme işleminin yapılması için huni içerisine mavi bantlı süzgeç altta beyaz bantlı süzgeç üstte olacak şekilde süzme işi yapılır. Süzülen örneğin en az 80 ml olması gerekmektedir. Yeterli süzme gerçekleşmeğinde saf su ilavesi ile örnek tamamlanır. Kalibre amaçlı

kullanılan NaOH çözeltisi çiziksiz temiz bir tüple spektrometreye (Şekil 3.6) yerleştirilir ve kalibrasyon yapılır. Daha sonrada kömür numuneleri spektrometreye yerleştirilerek oksidasyon değerleri tespit edilir. %95 ve üzeri kömürler tercih edilen değerlerdir.



Şekil 3. 6. Oksidasyon ölçüm spektrometresi cihazı

3.2.11. Dilatasyon

Dilatometre testi; Audibert-Arnu dilatometresi boyu 60 mm çapı 5,9 mm olan özel bir kalem şeklindeki kömürün ısıtılması ile kömürdeki büzülme ve genişlemeyi ölçen bir alettir. Tane boyu 1,5 mm'ye indirilmiş örnekten 50 g alınarak karıştırılır, 0,16 mm elekten geçecek şekilde kırılarak 10g numune alınır. Her iki işlemde de kömürlerin çok fazla öğütülmemesi gerekmektedir.

Hazırlanan numune kömür kalemi oluşturmak için kalıp içerisine boşaltılır ve 4.300 lbs (70 kg/mm²) olacak şekilde hidrolik pompa yardımıyla sıkıştırılır. Kömür kalemi kalıptan çıkartılır. Kalemin boyu 60 mm $\pm$ 0,25 mm olacak şekilde kesilir. Kömür kalemi ve üzerinde pistonu konmuş tüp başlama sıcaklığı oluştuktan sonra dilatometre cihazına (Şekil 3.7) yerleştirilir. Deneye başlama sıcaklığı 330 °C, bitiş

sıcaklığı 540 °C 'ye, sıcaklık artışı 3 °C / dk olarak ayarlanarak deneye başlanır. Cihaz deney bitiş sıcaklığına ulaşınca uyarı vererek test sonuçlarını print eder.



Şekil 3. 7. Dilatasyon ölçüm cihazı

3.2.12. Kalori

Kömür ve kok örneklerinin kalori tayini ASTM D 5865-99a standartlarına uygun olarak Kardemir A.Ş. Kalite Yönetim Müdürlüğü Kok Laboratuarlarında yapılmıştır. Kömürün ısı değeri genel olarak kalorimetre bombası ile basınç altında kömürün oksijenle yakılması ve açığa çıkan enerjinin ölçülmesiyle bulunur. Bu işlem sırasında kömür hidrojen içeriği ve nemindeki su buharlaşır. Bu suyu yoğunlaşması sırasında bir ısı verir. Kalorimetre bombasında kömürün tam yakılması sonucu açığa çıkan ısının kcal/kg olarak ifadesi Üst ısı değeri olarak adlandırılır. Alt ısı değeri, üst ısı değerinden kömürün rutubeti ile kömürdeki hidrojenin yanması sonucu oluşan

suyun yoğunlaşma ısıları toplamının çıkarılması ile hesaplanan ısınin kcal/kgolarak ifadesidir. Şekil 3.8 de kalorimetre cihazı görülmektedir.



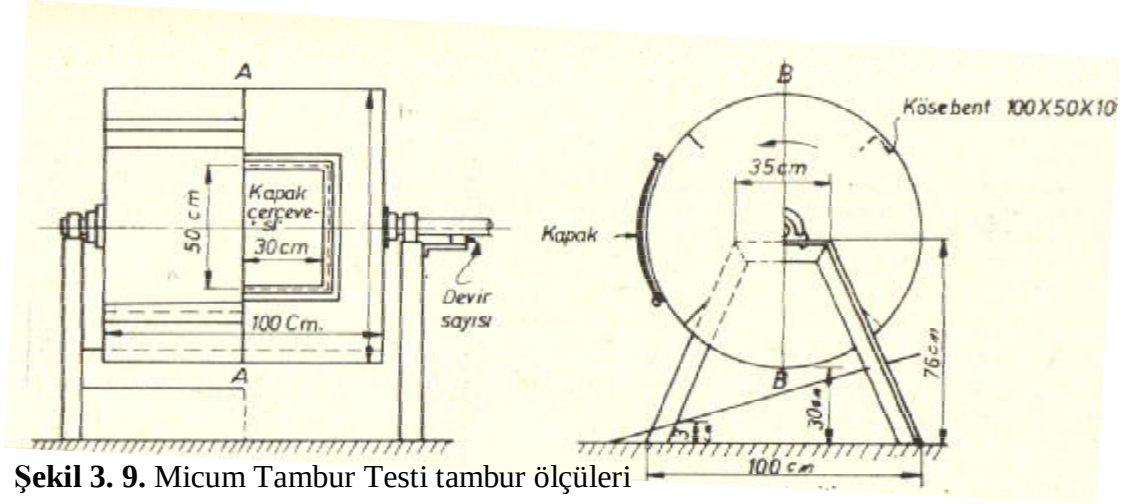
Şekil 3. 8. Kalorimetre cihazı

3.2.13. Micum Tambur Testi

Yüksek fırınların içi boş bir hacimdir. Fırın içerisine şarj edilen cevher, yardımcı hammadde ve kok fırın içerisinde havada asılı olarak durmaktadır. Üretilcek kokun bu malzemeleri taşıyabilecek dayanıklılığa sahip olduğu gibi hava ve reaksiyon sonrası gazların geçişini kolaylaştırmak için tozlaşma oranının düşük olması istenmektedir. Bu değerlerin tespiti için ASTM Tambur Testi (Stabilite) ve Micum Tambur Testi (M40, M10) gibi testler yapılmaktadır. Bu çalışma elde edilen koklar üzerinde micum tambur testleri yapılmıştır.

Micum deneyinde 1 m çapında ve 1 m uzunluğunda, dakikada 25 devir yapan, çelik bir tambur (Şekil 3.9) kullanılır. Tamburun uzunluğu boyunca içinde birbirine eşit mesafede 4 adet köşebent bulunur. Deneyde numune 60 mm elekten elenir ve elek üstü örnekten 50 kg alınarak tabur içerisine alınır. Tambur 4 dakika (100 devir) çalıştırılır. Tamburdan alınan kok 40 mm elekte elenir. Elek üstü numune

ağırlığına oranlanarak M40 (Mukavemet) değeri bulunur. 40 mm altı 10 mm elekten geçirilir, elek altı miktarın numuneye oranı M10 (Tozlanma İndeksi) değerini verir.



Şekil 3. 9. Micum Tambur Testi tambur ölçüleri

3.2.14. Kok Reaktivite Tayini

Kok reaktivite (CRI, CSR) testi için kok örneklerinin hazırlanması için, nemli numuneden 5 kg metalurjik kok örneği kırıcıdan geçirilerek 19–22,4 mm arası 1 kg kadar alınır. Numune 200 ° C ta 1 gün bekletilir. 200 ± 0,2 gram tartılır ve tartım içindeki kok parçası sayılır. Deney tüpünün içine yerleştirilir. Numunenin bulunduğu hazne sıcaklığı 1.100° C 'a çıkıncaya kadar 1,5 Bar N₂ gazı 2 saat boyunca verilir. 1.120° C 'ta ulaşınca Azot gazı otomatik olarak kapanır, Karbondioksit gazı geçer. 2 saat sonra CO₂ kapanır. Azot devreye girer. 200 °C'ta soğuyuncaya kadar Azot altında tutulur. Cihaz tamamen otomatik çalışarak deneyde kullanılan gazlar (0,5 bar'da Propan, 1,5 bar'da Karbondioksit, 1,5 bar'da Azot) otomatik olarak devreye girer ve çıkar. Analiz bitince cihaz kapatılır. Deney tüpü soğuması için 1 gün bekletilir. Soğuduktan sonra alınan numune tekrar tartılır. Kayıp %'si reaktivite indeksi (CRI) olarak verilir. Test edilen kokun reaktivitesine bağlı olarak karbondioksit karbonmonoksit indirgenir. Reaktivite ağırlıktaki değişkenden hesaplanır (C + CO₂ = 2CO). Test sonrası kalan kok parçaları tartılarak ASTM D 5341-93 standartında belirtilen tamburda 20 ± 1 devir/dk ile 600 dönüş yaptırılır. Çıkan kok 9,5 mm 'lik elekten elenerek elek üstünün numuneye oranı CSR

hesaplanır. CSR değeri %55- 60 arası istenmekte, %60'ın üzeri ise tercih edilmektedir. Şekil 3.10'da reaktivite cihazı ve tamburu görülmektedir.



Şekil 3. 10. Kok reaktivite cihazı ve tamburu

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Üretilen kokun kalitesi ve yapısı yüksek fırın verimine etki etmektedir. Yüksek fırın içerisinde geçirgenliği ve şarja mekanik destek sağlayan kok, yüksek karbon miktarı ile de demirin indirgenmesini, kalite özellikleri ile de sıvı maden kalite ve verimini etkilemektedir. Özellikle kok kalite değerlerindeki nem, kül, alkali miktarı, kok stabilitesi, CSR (Reaksiyon sonrası kok mukavemeti), CRI (Kok Reaktivite Katsayısı) yüksek fırın veriminde ve sıvı maden kalite değerlerinde son derece önem arz etmektedir. Koktaki bu değerlerin bir veya bir kaç istenilen seviyede olmaz ise yüksek fırınlarda düşük maliyetli ve kaliteli üretim yapmak zorlaşır (Zimmerman, 1979; Elliott, 1969; Ağuş, 2008; Çelebi, 2007).

Çizelge 4.1’de Kardemir A.Ş. Kok fabrikalarının kok kalitesinde hedeflediği değerler verilmiştir. Çalışma sonucunda ikili harmanlardan elde edilen veriler ışığında 3’lü harman yapılmıştır. Bu değerlere yakın kalite değerleri elde edilmeye çalışılmış ve kömür stok durumunda göz önüne alınarak harman tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 1. Kardemir A.Ş. kok kalitesindeki hedef değerleri (Ağuş, 2008)

			Hedef
1. Nem		% :	5
2. Kül	(kb)	% :	12,5
3. Uçucu madde	(kb)	% :	1
4. Sabit Karbon	(kb)	% :	86,5
5. Kükürt	(kb)	% :	0,6
6. Top. Alkali	(külde)	% :	2,2
7. Fosfor		% :	0,25
8. M 40		% :	76
9. M 10		% :	8
10. CRI		% :	25-30
11. CSR		% :	55-60
12. Kalori	(kcal/kg)	:	6.600
13. EBAT			
	+ 75 mm	%	5
	- 75 + 25 mm	%	90
	- 25 mm	%	5

Çalışmada kullanılan tek kaynak kömürler ve TTK kömürleri ile harmanlamalardan elde edilen kokların yüksek fırına etkisi sadece analiz sonucu

dikkate alınarak değerlendirilmesi yanlış olur. Tam değerlendirme için kok kalitesi yanında yüksek fırında kullanılan diğer hammadde, yardımcı hammadde ve işletme şartları da dikkate alınmalıdır. Çalışma sonucunda fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları karşılaştırılarak yorumlanacak ve kok kömürü kalite özelliklerine etkisi tartışılacaktır.

4.1. Kısa Analizler

Orijinal kömür numunelerine TSE standartlarına uygun olarak; nem (TSE 438), kül (TSE 330, TSE 1042) ve uçucu madde (TSE 711, TSE 5071) tayinleri, Kardemir A.Ş. Kok Fab. Laboratuvarlarında yapılmıştır. Örnekler kömür ve kok olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Buna göre, kömür örneklerinde, nem içeriği %10,80 ile %6,80 arasında değişmektedir. Kömür örneklerinin nem analiz sonuçlarına göre tek kaynak kömürlerde, Ukrayna kömürünün nem içeriği (%10,80) yüksek, ABD kömürünün nem içeriği (%6,80) en düşük olarak tespit edilmiştir. Bunda kömür alımları sırasındaki nemin etkili olduğu düşünülmektedir. Kömür örneklerinde kül içeriği %8,70 ile %10,40 arasında değişme gösterirken harman kömürlerinde bu değer %9,00 ile %10,00; uçucu madde içeriği %25,20 ile 26,80; sabit karbon içeriği %62,80 ile 65,40 arasında değişmektedir. TTK kömürleri ile oluşturulan harmanlarda ise; nem içeriği %9,00 ile %10,00; kül oranları %7,20 ile %7,80; uçucu madde içeriği %25,80 ile 26,60; sabit karbon içeriği de %64,20 ile %64,40 olduğu gözlemlenmiştir. Kısa analiz değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2. Taşkömürlerinin kısa analiz sonuçları

Numune	TTK	ABD	UKR	KAN.	%30 TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
Nem	7,80	6,80	10,80	9,60	7,20	7,60	7,80
Kül (kb)	10,40	9,80	8,70	10,20	9,90	9,80	10,00
Uçucu Madde (kb)	26,80	25,50	25,90	25,20	26,60	26,00	25,80
Sabit Karbon (kb)	62,80	64,70	65,40	64,60	64,40	64,20	64,20

Çalışmada kullanılan kömür ve kömür grup harmanlarından koklaşma sonrası elde edilen kok, 3 periyotluk (30 sn, 30 sn, 30 sn) sulu söndürme işlemine tabi tutulmuştur. Tek kaynak kömürlerin koklaşmasından elde edilen koklarda nem %5,30 ile %8,00 arasında değişmektedir. Üretilen kok örneklerindeki nem miktarına sulu söndürmenin etkisi olmasına karşın, kömürlerin su tutma yapıları da etkili olmaktadır. Çizelge 4.3’de kömür gruplarından elde edilen kokların kısa analizi sonuçları verilmiştir. Analiz sonuçlarında, TTK koku nem içeriği (%8,00) yüksek, Kanada kokunun nem içeriği (%5,30) en düşük olarak tespit edilmiştir. Tek kaynak kok örneklerinde kül içeriği %12,00 ile %13,60 arasında değişme gösterirken harman kömürlerinden elde edilen koklarda bu değer %11,90 ile %13,30 arasındadır. Uçucu madde içeriği %0,60 seviyelerindedir ki bu da kömürlerin koklaşmasının tamamlandığını ifade etmektedir. Orijinal kömürler ve harman kömürlerinin oluşturduğu koklarda sabit karbon ise %85,80 ile %87,50 arasında değişmekte ve en yüksek sabit karbon TTK ile ABD kömür harmanından (%87,50) elde edilirken en düşük sabit karbon (%85,80) ise TTK kömürünün koklaştırılmasından elde edilmiştir. .

Çizelge 4. 3. Taşkömürü numunelerinden elde edilen kokun kısa analiz sonuçları

Numune	TTK	ABD	UKR	KAN.	%30 TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
Nem	8,00	6,40	6,50	5,30	6,20	5,80	6,00
Kül (kb)	13,60	12,00	12,00	12,60	11,90	13,30	13,20
Uçucu Madde (kb)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Sabit Karbon (kb)	85,80	87,40	87,40	86,80	87,50	86,10	86,20

Kömürlerin koklaşma sonrası kül içeriği, kömüre göre teorik olarak yaklaşık 1,33 katı olduğu ve bu değer üzerindeki sapmaların işletme şartlarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir (Ağuş, 2008). Çizelge 4.4’te harman durumuna göre kömür ve kok kül karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 4. 4. Taşkömürü ve harman numunelerinden elde edilen kokun kısa analiz sonuçları

Numune	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30 TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
Kömür Kül (kb)	10,40	9,80	8,70	10,20	9,00	9,80	10,00
Kok Kül (kb)	13,60	12,00	12,00	12,60	11,90	13,30	13,20

Koktaki uçucu madde miktarının artışı yüksek fırında kok sarfiyatını artıran dolayısıyla istenmeyen bir etkidir. Koktaki uçucu madde miktarı karbonizasyon süresine ve sıcaklığa bağlıdır. Normal olarak endüstriyel fırınlarda elde edilen karbonizasyon süresi ve sıcaklığı test fırınlarına göre daha yüksek olmaktadır. Testler sonucunda elde edilen kokların uçucu madde miktarları kabul edilen %0.75-2 sınırı içindedir (Graham, 1969). Yüksek fırında kullanılan metalurjik koklarda sabit karbon miktarı %85-90 civarında olmalıdır (Graham, 1969). Yapılan çalışmada elde edilen kokların sabit karbon miktarları %85,80 ile %87,40 arasında değişmekte olup istenen değerler arasındadır. Çizelge 4.5'te harman durumuna göre kömür ve kok sabit karbon karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 4. 5. Taşkömürü ve kok örneklerinin sabit karbon karşılaştırması

Harman	TTK	ABD	UKR	KAN.	%30 TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
Kömür Sabit Karbon	62,80	64,70	65,40	64,60	64,40	64,20	64,20
Kok Sabit Karbon	85,80	87,40	87,40	86,80	87,50	86,10	86,20

4.2. Tane Boyu Dağılımı

Tek kaynak ve harmanlanmış kömürler için harman silo altında kırıcı öncesi alınan numunelerde yapılan tane boyu analiz değerleri Çizelge 4.6'te verilmiştir. Analiz sonuçlarında + 10 mm %5 ile en düşük TTK kömürlerinde iken %24,91 ile

ABD kömürleri en yüksek değerde tespit edilmiştir. Analizler orijinal kömür numuneleri üzerinde yapılmış olup kırıcı sonrası değerler koklaşma için uygun olan + 3,15 mm, maksimum %15,00 seviyelerindedir. Ancak koklaşma için yine önemli olan – 0,5 mm ebat ölçüsü Kanada kömürlerinde %26,00 ile yüksek tespit edilmiştir. İthal kömürlerde + 10 mm yüzdelerinin yüksek çıkması bu kömürlerin 0-50 mm aralığında, TTK kömürlerinin ise 0-10 mm aralığında satın alınmasıdır.

Çizelge 4.6. Taşkömürü örneklerinin elek analizleri

Numune	TTK	ABD	UKR	KAN.	%30 TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
+ 10,00 mm %	5,00	24,91	20,10	20,40	14,00	17,30	15,20
+ 3,15 mm %	25,00	10,65	18,30	10,00	18,60	21,50	10,00
+ 2,00 mm %	17,60	14,11	14,40	13,60	15,60	12,40	11,60
+ 1,00 mm %	24,00	19,00	20,20	14,20	19,20	18,00	23,20
+ 0,50 mm %	17,80	15,22	14,60	15,80	14,80	15,20	17,20
- 0,50 mm %	10,60	16,11	12,40	26,00	17,80	15,60	22,80

Kardemir A.Ş. Yüksek fırınlarının kullanmış olduğu metalurjik kok aralığı olan –75 mm +25 mm aralığı baz alındığında, istenen ebatlarda en yüksek değer %89,10 ile Kanada kömürlerinin kokları iken en düşük değer %75,65 ile TTK kömürlerinde tespit edilmiş Metalurjik koklarda –25 mm kok tozu oranı ise en yüksek %10,15 ile TTK kokunda iken en düşük kok tozu oranı %2 ile Kanada kömürlerinde bulunmuştur. Üretilen kokların kırma eleme tesisinden alınan metalurjik kok numunelerinin elek analizleri Çizelge 4.7’da verilmiştir.

Çizelge 4. 7. Metalurjik kok örneklerinin elek analizleri

Numune	TTK	ABD	UKR	Kanada	%30 TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
+ 80 mm %	9,00	5,40	6,90	6,50	5,60	4,00	3,00
- 80 + 75 mm %	5,20	8,6	5,40	2,40	4,60	7,4	4,1
- 75 + 50 mm %	45,30	48,60	46,8	80,40	52,30	45,60	53,40
- 50 + 25 mm %	30,35	32,70	32,00	8,70	28,30	34,67	35,20
- 25 mm %	10,15	4,70	8,90	2,00	9,20	8,33	4,3

4.3. Kükürt

Taşkömürü örneklerinin kükürt değerleri %0,96 ile %0,53 arasında değişmekte olup kömür numunelerine paralel olarak kok numune değerlerinin de değiştiği gözlenmiştir. Kömür grupları içerisinde en yüksek kükürt değerine sahip ABD kömüründen elde edilen kokta en yüksek kükürt değeri olan %0,75 tespit edilmiş ve yine aynı şekilde kömürde en düşük kükürt değeri %0,53 olan Kanada kömürlerinden elde edilen kokta %0,46 olarak bulunmuştur. Çizelge 4.8’de numuneler ve elde edilen kok örneklerinin kükürt değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. 8. Taşkömürü ve kok örneklerinin kükürt (S) değerleri

Numune	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70KAN
S (kömür)	0,58	0,96	0,79	0,53	0,72	0,67	0,56
S (kok)	0,52	0,75	0,64	0,46	0,68	0,56	0,49

4.4. Serbest Şişme İndeksi, FSI

Kömür gruplarında alınan örneklerde FSI değerleri koklaşma değeri olan 5’in üzerinde tespit edilmiştir (Ağuş, 2008). Çizelge 4.9’da görüldüğü üzere serbest

şişme indeksi değerleri 7,5 ile 8,5 arasında değişmekte olup en yüksek değer 8,5 ile Kanada kömürlerine aittir.

Çizelge 4. 9. Taşkömürü örneklerinde yapılan serbest şişme indeksi (FSI) değerleri

Numune	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70KAN
FSI	7,5	8,0	7,5	8,5	7,5	7,5	8,0

4.5. Maksimum Akışkanlık Deneyi

Havasız ortamda koklaşan kömürler, ısıtıldıklarında önce yumuşar, şişer ve sonra plastik hale gelerek sonunda katılaşır. Koklaşma özelliklerinde olması gereken bu kriter kömürlerin aynı zamanda harmanlanabilme özelliklerini de göstermektedir. Kömürlerin plastik özelliklerinin geniş olması diğer kömürlerle karıştırılabilme kabiliyetlerinin fazla olmasını göstermektedir. Kuvvetli koklaşabilir kömürler olan yüksek ve orta uçuculu kömürler çok akışkandır ve geniş plastikleşme aralığına sahiptirler. Kömür karışımlarının hazırlanması için koklaşabilir kömür seçerken, homojen yapıdaki kok üretimini oluşturmak üzere, plastikleşme aralığını çakışacak şekilde olmasına dikkat edilir. Genelde yakın sıcaklık aralığında akışkanlık gösteren kömürler birbirleri ile sorunsuz karışmakta ve sağlam kok eldesi vermektedirler. (Ateşok,1988; Zimmerman,1979).

Çalışmada kullanılan örnekler üzerinde yapılan akışkanlık testinde; TTK kömürünün akışkanlığı 405 ddpm ile en yüksek ve ABD kömürünün akışkanlığı 16 ddpm ile en düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kömürlerin yumuşama sıcaklıkları 382 °C ile 426 °C arasında; max. akışkanlık sıcaklıkları 449 °C ile 461 °C arasında değişirken katılaşma sıcaklıkları ise 468 °C ile 489 °C arasındadır. Çizelge 4.10'da kömürlerin plastikleşme sıcaklıkları ve max. akışkanlık değerleri görülmektedir.

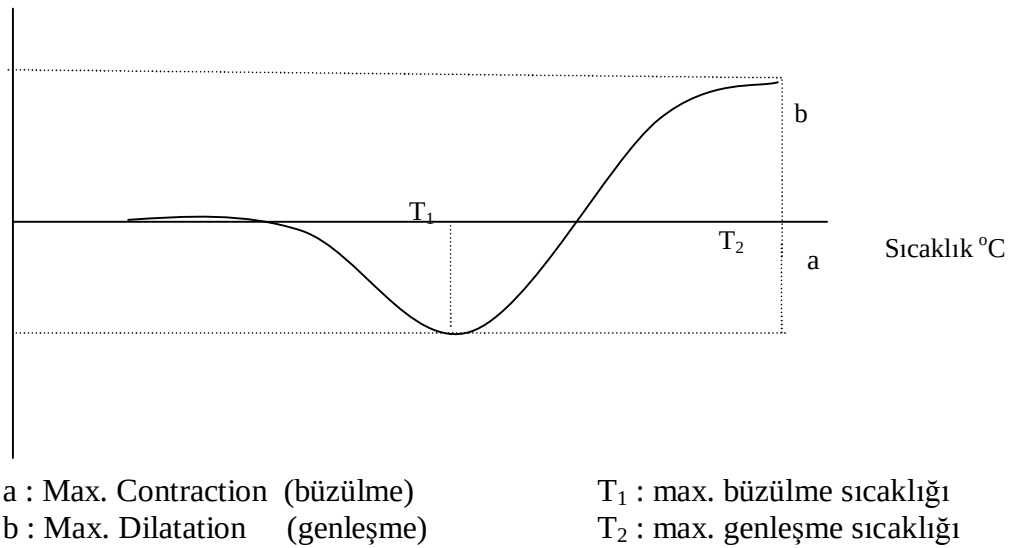
Çizelge 4. 10. Taşkömürü örnekleri plastometre analiz değerleri

Akışkanlık	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada
Max.Akışkanlık	405 ddpm	16 ddpm	188 ddpm	88 ddpm
Başlama Sıcaklığı	330 °C	330 °C	330 °C	330 °C
Yumuşama Sıcaklığı	382 °C	426 °C	426 °C	425 °C
Max.Akış. Sıcaklığı	449 °C	461 °C	452 °C	455 °C
Katılaşma Sıcaklığı	489 °C	478 °C	487 °C	468 °C

4.6. Dilatasyon Deneyi

Kömürden yarı koka geçerken oluşan plastik bölgenin tayini kömürlerin koklaşabileceğini göstermektedir. Koklaşabilen kömürler 300-500°C arasında yumuşaması ve ergimesi sonucu bir hacim azalması ve ardından taneciklerin birbirine yapışması, gaz çıkışları ve katılaşma sebebiyle genleşme daha sonrada katılaşma meydana gelmesi beklenir. İyi bir koklaşabilir kömür plastik özelliklere sahip olmalıdır.Şekil 4.1’de dilatasyon ve kontraksiyon grafiği verilmiştir.

%Uzama

**Şekil 4. 1.** Dilatasyon ve kontraksiyon grafiği (Zimmerman,1979)

Kömür örneklerinde max. kontraksiyon aralığı %9 ile %22 arasında değişmekte iken max. dilatasyon aralığı %22 ile %66 arasında değişme göstermektedir. Kontraksiyon sıcaklıkları ise 411°C ile 438°C değişirken dilatasyon sıcaklıkları birbirine (462°C/468°C) yakın değerler göstermektedir. Çizelge 4.11’de kontraksiyon ve dilatasyon değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4. 11. Taşkömürü örnekleri dilatasyon analiz değerleri

Dilatasyon	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada
Max. Kontraksiyon	%22	%16	%17	%9
Max. Dilatasyon	%66	%22	%24	%32
Yumuşama Sıcaklığı	382 °C	412 °C	417 °C	405 °C
Max.Kontrak.Sıcaklığı	411 °C	432 °C	434 °C	438 °C
Max.Dilatas. Sıcaklığı	462 °C	468 °C	468 °C	468 °C

4.7. Kömür ve Kok Külünde Alkali Tayini

Kömür ve kok örnekleri tam olarak yakılarak kalan kül içerisindeki mineraller değerlendirilmiştir. Yakılması sonucu geri kalan kül içerisinde SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$, P_2O_3 gibi oksitli bileşikler bulunmaktadır. Kömür külünün elementel bileşiminde bulunan ve toplam alkali olarak adlandırılan K_2O ve Na_2O yüksek fırın proseslerinde kok reaksiyonlarını hızlandırması ve fırın hacminde daralma meydana getirmesi sebebiyle istenmemektedir (Çelebi, 2007; Kural,1991).

Yapılan çalışmada, kömür küllerindeki $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ değeri tek kaynak kömürlerde %3,41 ile en yüksek Ukrayna kömürlerinde, %0,99 ile Kanada kömürlerinde tespit edilmiştir. Tek kaynak kömürlerden elde edilen kok külleri incelendiğinde ise $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ değeri %3,34 ile %0,89 arasında değiştiği tespit

edilmiştir. Çizelge 4.12’de tek kaynak kömür kül analizleri ile bu kömürlerden üretilen kok kül analiz değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. 12. Tek kaynak taşkömürü ve kok külü analizleri

Kül Analizi	TTK Kömür	TTK Kok	ABD Kömür	ABD Kok	Ukrayna Kömür	Ukrayna Kok	Kanada Kömür	Kanada Kok
SiO ₂	44,08	45,24	49,30	48,37	49,10	49,15	52,56	53,05
Al ₂ O ₃	27,84	28,35	28,73	28,25	33,74	32,45	30,65	29,08
SO ₃	6,25	3,87	1,66	1,62	0,54	0,79	1,88	1,82
P ₂ O ₅	0,63	0,62	0,46	0,63	0,31	0,46	1,33	1,53
CaO	6,04	6,27	2,85	3,19	1,37	1,78	3,05	3,49
MgO	2,94	2,53	1,70	1,82	1,85	1,87	1,32	1,40
K ₂ O	2,47	1,94	2,00	1,91	2,73	2,63	0,65	0,53
Na ₂ O	0,21	0,27	0,44	0,46	0,68	0,71	0,34	0,36
Fe ₂ O ₃	8,30	9,58	11,21	12,08	8,01	8,59	6,35	6,66
TiO ₂	1,10	1,24	1,61	1,60	1,49	1,50	1,85	1,78

İthal kömürler ile TTK kömürlerinin harmanlanması ile elde edilen harman taşkömürü analizlerinde en yüksek K₂O + Na₂O değeri %3,19 ile Ukrayna harmanında, en düşük K₂O + Na₂O değeri ise %1,50 ile Kanada harmanında elde edilmiştir. İthal kömür harmanlarından üretilen kokta ise bu değer en yüksek değer Ukrayna harmanında %2,84 ile en düşük değer Kanada harmanında %1,49 olarak tespit edilmiştir. Çizelge 4.13’te tek TTK kömürleri ile ithal kömürlerin harman kül değerleri ile bu harmanlardan üretilen kok kül analiz değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. 13. Harman taşkömürü ve kok külü analizleri

Kül Analizi	%70 UKR %30 TTK Kömür	%70 UKR %30 TTK Kok	%70 ABD %30 TTK Kömür	%70 ABD %30 TTK Kok	%70 KAN. %30 TTK Kömür	%70 KAN %30 TTK Kok
SiO ₂	47,59	46,17	47,73	47,16	50,02	49,34
Al ₂ O ₃	31,97	28,71	28,46	28,20	29,81	27,66
SO ₃	2,25	3,15	3,04	3,18	3,19	3,64
P ₂ O ₅	0,41	0,47	0,51	0,62	1,12	1,16
CaO	2,77	4,82	3,81	4,66	3,95	4,84
MgO	2,18	2,39	2,07	2,10	1,81	1,97
K ₂ O	2,65	2,25	2,14	1,70	1,20	1,10
Na ₂ O	0,54	0,59	0,37	0,37	0,30	0,39
Fe ₂ O ₃	8,10	9,84	10,34	10,45	6,94	8,29
TiO ₂	1,37	1,33	1,46	1,45	1,63	1,56

4.8. Kömürde Oksidasyon

Ocaktan çıkartılan kömürün hava ile temas etmeye başladığı anda oksijenle reaksiyonu başlar. Kömürün stokta beklemesiyle oksijenle reaksiyonu devam eder ve kimyasal reaksiyonların etkisiyle ısı artar. Kömür ısını dıışa veremezse kendiliğinden yanmaya başlar. Kömür örnekleri üzerinde yapılan oksidasyon tayininde kömürlerde fazla oksitlenme olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan oksitlenme analizlerinde en fazla oksidasyon %94,60 ile UKR kömürlerinde tespit edilmişken, en az oksitlenme %96,20 ile TTK kömürlerinde tespit edilmiştir. Çizelge 4.14’de taşkömürlerinin tespit edilen oksidasyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.12. Taşkömürü örneklerinin oksidasyon değerleri

Kömür	TTK	ABD	UKR	KANADA
%Oksidasyon	96,20	94,80	94,60	96,00

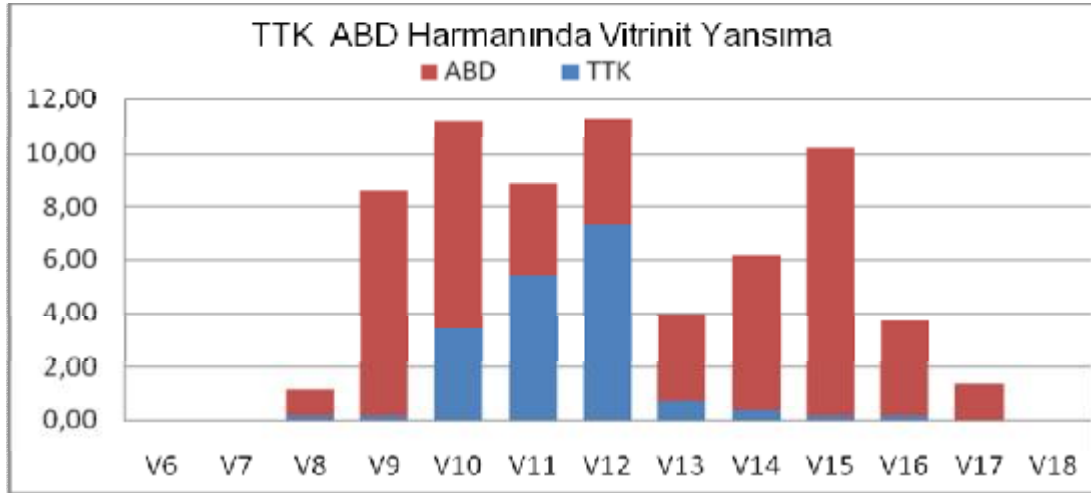
Oksitlenen kömürlerde yanma görülmesi bile koklaşma özelliklerinde bozulmalar olur, koklaşma zayıflar. Kömürlerde ilk olarak akışkanlık özelliği etkilenir, yumuşama sıcaklığı yükselir katılaşma sıcaklığı azalır. İri taneli kömürlerde ufalanmalar meydana gelir (Kemal ve diğ., 1978; Kural, 1991) .

4.9. Vitrit Yansıma

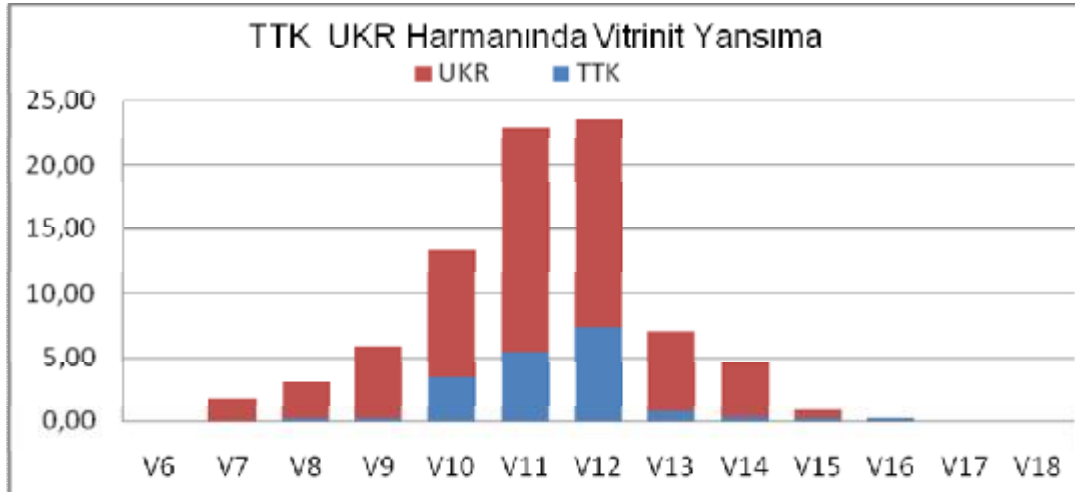
Maseral grupların mikroskop altında kendilerine özgü ışığı yansıtma özellikleri vardır. Kömürün polarize ışığı yansıtma derecesine vitrit yansıma (refraktansı) denilmektedir. Özellikle vitrit, polarize ışığı daha çok yansıtmaktadır. Uçucu madde miktarı azaldıkça vitrit refraktans artmaktadır. Vitrit yansıması arttıkça kömürlerden elde edilen kokun sağlamlığı da artmaktadır (Kural, 1991; Shopiro, 1960). Kömürlerin vitrit yansıma değerleri gemi analizleri ve İsdemir ve Erdemir laboratuvar sonuçları üzerinden alınmıştır. Çizelge 4.15'te çalışmada kullanılan kömürlerin vitrit yansıma değerleri görülmektedir. Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'da kömür karışımlarının vitrit yansıma grafikleri verilmiştir.

Çizelge 4. 15. Taşkömürü örneklerinin vitrit yansıma değerleri

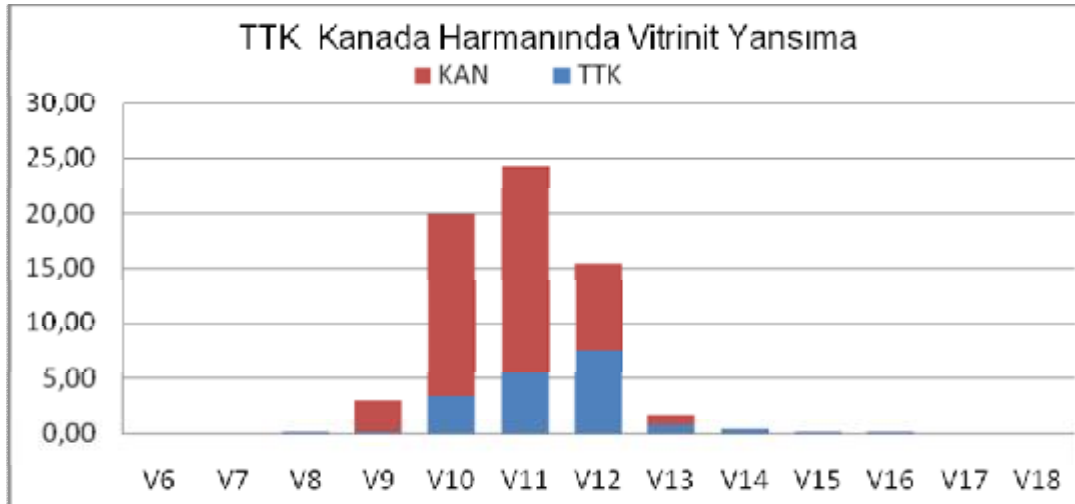
V - Type	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada
V6	-	-	-	-
V7	-	-	2,50	-
V8	0,60	1,40	4,00	-
V9	0,60	12,00	8,00	4,00
V10	11,40	11,10	14,00	23,60
V11	17,90	5,00	25,00	26,90
V12	24,50	5,50	23,00	11,40
V13	2,40	4,60	9,00	1,30
V14	1,20	8,30	6,00	-
V15	0,60	14,30	1,00	-
V16	0,60	5,00	-	-
V17	-	1,90	-	-
V18	-	-	-	-



Şekil 4. 2. TTK-ABD taşkömürü harmanında vitrit yansıma grafiği



Şekil 4. 3. TTK-UKR taşkömürü harmanında vitrit yansıma grafiği



Şekil 4. 4. TTK-KAN taşkömürü harmanında vitrit yansıma grafiği

4.10. Kalori

Kardemir A.Ş. Kok fabrikaları laboratuvarlarında yapılmıştır. Kömürün içerdiği karbon ve hidrojenin oksijen ile tepkimesi sonucu oluşan ısı miktarıdır. Bu kömürün türüne ve organik yapısına karışmış olan yanmayan maddelerin miktarına ve kömürün yaşına bağlı olarak değişir. Kömürleşme derecesi düşük olan kömürler oksijen ve rutubet içerikleri fazla olduğu için ısı değerleri düşüktür. Çalışmada kullanılan tek kaynak ve harman taşkömürlerinde en yüksek kalori değeri Kanada kömürlerinde 7470 kcal/kg olarak tespit edilmişken en düşük kalori değeri 7180 kcal/kg ile TTK ile ABD kömür harmanında tespit edilmiştir. Bu kömürlerden üretilen koklarda ise en yüksek kalori değeri 6952 kcal/kg ile Ukrayna kömüründe iken en düşük kalori değeri 6797 kcal/kg ile TTK kömürlerinde tespit edilmiştir. Çizelge 4.16’da taşkömürü ve kok numunelerinin kalori değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.16. Taşkömürü ve kok örneklerinin kalori değerleri (± 150 kcal/kg)

Numune (Kcal/Kg)	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70KAN
Kömür	7.320	7.400	7.250	7.470	7.180	7.430	7.285
Kok	6.797	6.904	6.952	6.880	6.949	6.871	6.836

4.11. Aşınma (Micum) Testi

Bu çalışmada kok dayanımını ölçmek için yapılan micum testleri Kardemir A.Ş. Kok fabrikaları laboratuvarlarında yapılmıştır. Elde edilen M40 (Kok mukavemet değeri) ve M10 (Kok tozlanma İndeksi) sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir. Üretilen kokların mukavemet değerleri gösteren M40 değeri %65,20 ile %80,10 arasında değişmektedir. En yüksek M40 %80,10 Kanada kömüründen elde edilen kokta, en düşük M40 değeri %65,20 ile ABD kokunda gözlemlenmiştir. Buna karşın

TTK kömürleri ile harmanlamalarda ise en iyi M40 değeri %75,00 ile UKR kömürünün harmanlanmasından elde edilmiştir. Yapılan çalışmada az çıkması istenen tozlanma indeksinde ise en düşük değer %7,10 ile Kanada kömürlerinden elde edilen kokta iken en yüksek değer %9,10 ile TTK kömürleriyle ABD kömürünün harmanlanmasından elde edilen kokta bulunmuştur.

Çizelge 4. 17. Kok örneklerinden yapılan micum test sonuçları

Numune	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
M 40	71,80	65,20	74,20	78,00	65,80	75,00	74,80
M 10	7,60	7,80	8,60	7,10	9,10	8,40	8,80

4.12. Kokta Reaktivite (CSR-CRI)

Kok reaktivitesi, kok içerisindeki karbonun oksitleyici gazlarla reaksiyona girme hızı olarak tanımlandırılır. Karbonun belli sıcaklık ve gaz akışı altında karbondioksit gazı (CO_2) ile reaksiyona girmesi sonucu karbonmonoksit (CO) dönüşme oranını belirtir. Kömür harmanı ile doğrudan bağlantılı olan kok reaktivitesinin yükselmesi Yüksek Fırınlarda kokun reaksiyon hızını artırarak erken yanmasına ve koktan istenen verimin alınamamasına sebep olup kok tüketimini arttıracaktır. Kok mukavemetini de etkileyen bu durum kokun yüksek fırınlar içerisinde erken parçalanmasına sebep olacaktır. Kokun parçalanması fırın içerisindeki hava, gaz ve ısının dağılımını etkileyecek yeterli verim alınamayacaktır. Kok reaktivitesinin %25-35 arasında olması hedeflenmektedir (Çelebi, 2007; Elliott, 1969; Darnell, 1977). Kok örneklerinde kok reaktivite (CRI) değeri en düşük %21,92 ile Kanada koku iken en yüksek değer %31,67 ile ABD kokunda tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra reaksiyon sonrası stabilite değeri olan CSR değeri de en düşük %41,32 ile ABD kokunda iken %62,60 ile Kanada kokunda belirlenmiştir. Çizelge 4.18’de CRI ve CSR test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4. 18. Kok örneklerinin CRI ve CSR test sonuçları

Numune	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
CRI	27,60	31,67	24,58	21,92	29,20	30,17	26,0
CSR	54,20	41,32	61,95	62,60	45,30	49,26	56,40

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışmada, Kardemir A.Ş. Kok fabrikaları kömür stok sahasındaki ithal kömürlerin TTK kömürleri ile harmanlanabilirliğinin işletme şartlarında değerlendirilmesi yanında kömürlerin birbirleriyle harmanlanabilirliği de incelenmiştir. Kardemir A.Ş. Kok fabrikalarının ana kömür kaynağı TTK kömürleri olup bunun yanında diğer ithal kaynaklardan da kömür alımları yapılmaktadır. Bu çerçevede kalite, fiyat ve harmanlanma özellikleri değerlendirilen her kaynaktan kömür alımı yapılabilmektedir.

Belirli özelliklerdeki kömürün havasız bir ortamda ısıtılması ile uçucu maddelerini kaybederek sert ve iyi pişmiş katı bir ürün bırakmasıyla oluşan kok yüksek fırınlar için önemli bir hammaddedir. Üretilen kokun kalitesi ve yapısı yüksek fırın verimine etki etmektedir. Yüksek fırın içerisinde geçirgenliği ve şarja mekanik destek sağlayan kok, yüksek karbon miktarı ile de demirin indirgenmesini, kalite özellikleri ile de sıvı maden kalite ve verimini de etkilemektedir. Özellikle kok kalite değerlerindeki nem, kül, alkali miktarı, kok stabilitesi, CSR (Reaksiyon sonrası kok mukavemeti), CRI (Kok Reaktivite Katsayısı) yüksek fırın veriminde ve sıvı maden kalite değerlerinde son derece önem arz etmektedir. Kokeden bu değerlerin bir veya bir kaçını istenilen seviyede olmaz ise yüksek fırınlarda düşük maliyetli ve kaliteli üretim yapmak zorlaşır (Çelebi,2007; Özbayoğlu, 1977; Özal,1995; Kural,1991; Zimmerman, 1979).

5.1. Farklı Kok Numunelerinin Yüksek Fırın Proses Verimine Etkileri

5.1.1. Nem Miktarının Etkisi

Koklaştırma sırasında inert davranış gösteren nemin, buharlaşması için ısıya gereksinim vardır. Kömür alımlarında ve taşımacılığında maliyet artışına sebep olan nem miktarı, nakliye ve stoklama sırasındaki kayıpları azaltmak için %6 - 8 civarında olması istenmektedir. Kömür neminin, koklaşma şartları için önemliliği kadar elde edilen kokun nemi de yüksek fırın üretimlerinde önemli yer tutar. Kokeden nem yüksek fırın içerisinde kok bünyesinden ayrılırken kokun parçalanmasına neden

olmakta ve fırın içerisindeki ısı dengesini değiştirmektedir. Kok fırınlarından kor halde çıkan kokun nemi söndürme sistemlerindeki işletme şartları ve kömürlerin yapısından kaynaklanan su tutma özellikleriyle değişmektedir. Çalışmada elde edilen kok nemi %5,30 ile %8,00 arasında tespit edilmiştir. Nemdeki %3 lük bir artış, ton pik başına kok sarfiyatını aynı tutmak için üflenen hava sıcaklığında 100°C lik bir artış gerektirmektedir (Ateşok, 1988; Nixon ve Brooks, 1969). Sıcaklık artışı kok sarfiyatını arttıracığı için maliyet ynünden en uygun kömür %5,30 ile Kanada kömürüdür. Çizelge 5.1’de kok nem değerleri verilmiştir.

Çizelge 5. 1. Kok nem değeri ($\pm$ %0,7)

Numune	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30 TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
Nem %	8,00	6,40	6,50	5,30	6,20	5,80	6,00

5.1.2. Kül Miktarının Etkisi

Kül, kömür ve kokun yanma sonrası artık olarak kalan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$, P_2O_3 gibi oksitli bileşiklerdir. İnert olan kül, hacmen koktaki karbon miktarını düşürdüğü ve asidik yapısı dolayısıyla k istenilmemektedir. Kok içerisindeki kül miktarı yanma sonucu curuf oluşturduğu ve külden kaynaklanan sıvı maden asiditesinin düşürülmesi için fazla kireçtaşı tüketimi oluşturduğu için fazla küllü kokla çalışılması yüksek cüruf hacimleri yaratacak ve verimi düşürecektir. Kok külü curufun erime sıcaklığı, akışkanlık gibi özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek, sıvı maden üretimi azalırken maliyeti artacaktır. Kok külü miktarının %1 artması kok tüketim oranını 10 kg/TSHD arttırmaktadır (Çelebi, 2007; Nixon ve Brooks, 1969; Dartnell,1977). Çizelge 5.2’de kömür gruplarından elde edilen kok kül değerleri görülmektedir.

Çizelge 5. 2. Kok kül değerleri

Numune	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30 TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
Kok Kül (kb)	13,60	12,00	12,00	12,60	11,90	13,30	13,20

Yapılan çalışmada elde edilen en düşük kül içeriği %11,90 ile TTK kömürleri ile ABD kömürlerinin harmanlanmasından elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen en yüksek kül oranı %13,60 TTK koku ile en düşük kül oranı %11,90 ABD/TTK harmanı arasındaki külün yüksek fırın etkisi,

Yüksek fırın için kül etkisi,

$$\%Kül \text{ artışı} = 13,60 - 11,90 = 1,70 \quad (5.1)$$

$$\text{Kok tüketimine etkisi} = 1,70 \times 10 \text{ kg / TSHD} = 17 \text{ kg / TSHD} \quad (5.2)$$

Kül miktarı baz alındığında TTK koku ile ABD/TTK harman koku kullanılması arasında ton başı 17,00 kg fazla kok sarfiyatı olacaktır.

5.1.3. Kükürt Miktarının Etkisi

Kömür içindeki kükürtün yaklaşık %80-85'i koka geçer. Yüksek fırınlar için külden daha zararlı olan kükürtün %70-95'i koktan gelir ve bu doğrudan doğruya ham demir kalitesini etkiler. Şarj içerisindeki kükürt miktarı cüruf bazıklığını, cüruf hacim ve sıcaklığını, oksijen potansiyelini ($FeO + MnO$) ve demir kalitesini etkilemektedir. Cüruf hacmi arttığından üretilen pik demir miktarı azalmakta ve ilave enerji ihtiyacı nedeniyle kok tüketimi artmaktadır. Kok tüketim hızındaki artış genellikle kükürtün düşürülmesi için gerekli karbon miktarına bağlıdır. Yüksek fırında kullanılacak kok içerisindeki toplam kükürt miktarı %0.6'yı geçmemelidir. Kükürtteki her %0,1'lik artış ton sıvı maden için 3 kg kok tüketimini artırır (Dartnell, 1977; Graham, 1969; Kural, 1991, Simonis, 1966). Çizelge 5.3'te kömür gruplarından elde edilen kok kükürt değerleri görülmektedir.

Çizelge 5. 3. Taşkömürü ve kok örneklerinin kükürt (S) değerleri

Numune	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70KAN
S (kok)	0,52	0,75	0,64	0,46	0,68	0,56	0,49

Çalışmada elde edilen koklarda en düşük kükürt miktarı %0,46 ile Kanada koku, en yüksek kükürt değeri de %0,75 ile ABD kokunda tespit edilmiştir. Kanada koku ile ABD kokunu karşılaştıracak olursak.

Yüksek fırın için S miktarındaki değişikliğin etkisi,

$$\%S \text{ artışı} = 0,75 - 0,46 = 0,29 \quad (5.3)$$

$$\text{Kok tüketimine etkisi} = 29 \times 3 \text{ kg / TSHD} = 87 \text{ kg /TSHD} \quad (5.4)$$

Sonuçta kükürt girdisi baz alındığında Kanada koku ile ABD koku kullanılması arasında ton başı 87 kg/ton fazla kok sarfiyatı olacaktır.

5.1.4. Alkali Miktarının Etkisi

Kömür külünün yanında, külün elementel bileşimi de kok kalitesini etkilemektedir. Özellikle kömür külü içerisinde bulunan K, Na ve Pb gibi elementler, kokun reaktivitesini yükseltmekte ve kokun yüksek fırında parçalanmasını hızlandırmaktadır. Alkali oksitler, yüksek fırın ürünü mayi madene geçmezler. Ancak düşük sıcaklıkta gaz fazına geçtikleri için (800–900 °C) baca kısmından hazneye kadar şarj malzemesiyle ve yüksek fırın gazıyla birlikte fırın içinde tüyer bölgesinden yukarı bacaya kadar sürekli devir daim yaparlar. Sürekli hammadde beslemesiyle alkali konsantrasyonu fırın içinde artar, fume halinde olan bu alkali oksitler fırının astarını çürütür ve fırın kampanya süresini azaltır. Ayrıca şarj edilen hammaddeleri sararak yüksek fırın gazıyla reaksiyona girmesini belli ölçüde engeller. Aynı zamanda 800-900 °C sıcaklık altındaki bu zonda soğuk hammadde tozlarıyla birleşerek, yüksek fırın baca yan duvarlarına yapışarak scaffold oluşumuna neden olur. Sıvı maden içerisindeki alkalilerin uzaklaştırılması yüksek ısı gerektirmektedir. Fırın içerisinde kalan alkaliler eğer curuf ile birlikte sıvı madenden uzaklaştırılmaz ise zaman içerisinde fırın duvarlarına yapışarak fırın hacmini daraltır ve malzeme akışını olumsuz yönde etkiler. Alkali miktarının %0,1 artması yüksek fırınlara alkali girdisini 0,04 kg/TSHD arttırır, alkali girdisinin yüksek fırınlarda 1 kg artması ton sıcak maden başına kok tüketimini 16 kg arttırmaktadır (Çelebi, 2007; Giedroyc, 1969; Dartnell, 1977). Çizelge 5.4'te kok külündeki alkali değerleri verilmiştir.

Çizelge 5. 4. Kok külü alkali değerleri

Numune	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30 TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
K ₂ O	1,94	1,91	2,63	0,53	1,70	2,25	1,10
Na ₂ O	0,27	0,46	0,71	0,36	0,37	0,59	0,39
Toplam Alkali	2,21	2,37	3,34	0,89	2,07	2,84	1,49

Bu çalışmada elde edilen toplam alkali miktarları %0,89 ile %2,84 arasında değişmektedir. En fazla alkali içeriğine sahip kok UKR kömüründen elde edilirken en düşük alkali %0,89 ile Kanada kömürlerinden elde edilmiştir.

Bu veriler ışığında, UKR koku ile Kanada koku karşılaştırılacak olursa; Yüksek fırın için alkali etkili,

$$\% \text{Alkali artışı} = 3,34 - 0,89 = 2,45 \quad (5.5)$$

$$\text{Alkali artışı} = (2,45 \times 0,04 \text{ kg/ TSHD}) / 0,1 = 0,98 \text{ kg /TSHD} \quad (5.6)$$

$$\text{Kok tüketimine etkisi} = 0,98 \times 16 \text{ kg / TSHD} = 15,68 \text{ kg /TSHD} \quad (5.7)$$

Sonuçta alkali girdisi baz alındığında UKR koku ile Kanada koku kullanılması arasında ton başı 15,68 kg fazla kok sarfiyatı beklenir.

5.1.5. Stabilitenin Etkisi (M40-Micum Testi)

Micum testiyle bulunan kok mukavemet değeri M40 mekanik sağlamlığı ifade ederek yüksek fırın içerisindeki şarj malzemesini taşıma değerini göstermektedir. Modern yüksek fırın teknolojisindeki eğilim, kokun mekanik fonksiyonlarının diğer fonksiyonlarına göre daha fazla önem kazanması doğrultusundadır. Fiziko-mekanik özellikleri yetersiz olan bir kokun yaratacağı problemler, yüksek fırın gazında toz miktarının artması; yumuşama ve erime tabakalarının düzensiz bir şekilde dağılması ve geçirgenliğin azalması; kırılmış ve ufalanmış kok parçalarının artması, erimiş demir ve cürufun süzülerek akmasına engel olacağı için fırın duvarlarında ısı birikmesine neden olması; merkezî kok kolonunda çok zayıf bir ısı dağılımı olacağından, fırının alt kısmında sıcaklık

düşmelerinin meydana gelmesi şeklinde sıralanabilir. Yüksek fırın hacmiyle de bağlantılı olan bu değer %75'in üzerinde istenmektedir M10 değeri kokun tozlanma indeksi olarak tarif edilmekte ve %8 ve altı istenmektedir. Tozlanma artarsa fırın içerisindeki gaz ve ısı hareketleri kısıtlanmakta basınç oluşmakta ve istenen reaksiyonların oluşumu sağlanamamaktadır. Stabilitenin düşük olması kokun konveyörler üzerinde taşınması ve fırına şarjı esnasında ideal boyutunun bozulmasına neden olur. Bu da yüksek fırın geçirgenliğini, sıcak maden üretimini, kalite ve maliyeti etkiler. Stabillite miktarının %1 artması kok tüketim oranını 2,5 kg/TSHD azaltır. (Nacamura ve diğerleri, 1977; Dartnell, 1977; Hatano, 1976; Wilkinson, 1964; Nixon ve Brooks, 1969; Giedroyc ve Mathieson, 1969; Elliot, 1969). Çizelge 5.5'te kok örneklerinin M40 değerleri verilmiştir.

Çizelge 5. 5. Kok örneklerinin M40 değerleri ($\pm$ % 1,5)

Numune	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
M 40	71,80	65,20	74,20	78,00	65,80	75,00	74,80

Çalışmada elde edilen en yüksek M40 değeri %75,00 UKR/TTK harman koku ile en düşük M40 değeri olan %65,20 ABD koku arasındaki M40 değerinin yüksek fırın etkisi,

Yüksek fırın için M40 etkisi,

$$\%M40 \text{ artışı} = 75,00 - 65,20 = 9,8 \quad (5.8)$$

$$\text{Kok tüketimine etkisi} = 9,8 \times 2,5 \text{ kg/TSHD} = 24,5 \text{ kg/TSHD} \quad (5.9)$$

M40 miktarı baz alındığında UKR/TTK harman koku yerine ABD koku kullanılması durumunda ton başı 24,50 kg kok sarfiyatında artış beklenir.

5.1.6. Koklaşma Sonrası Stabillite (CSR) Etkisi

CRI ve CSR elde edilen kokun yüksek fırın içerisindeki reaksiyonlar sırasındaki dayanımını veren değerlerdir. CSR değeri kokun yüksek fırın içerisindeki

reaksiyonlar sonucu göstereceği stabiliteyi temsil etmekte olup %58–62 arasında istenmektedir. Bunun dışındaki değerlerde yüksek fırınlarda yapmış olduğu etki aynı oranda değişmemektedir. Koktaki CSR'nin %1 artması kok tüketimini 0,5 kg azaltmaktadır (Çelebi, 2007; Elliot, 1969; Giedroyc, 1969; Dartnell, 1977). Çizelge 5.6'da kok CSR değerlerigör÷lmektedir.

Çizelge 5. 6. Kok örneklerinin CSR değerleri

Numune	TTK	ABD	Ukrayna	Kanada	%30TTK %70 ABD	%30 TTK %70 UKR	%30 TTK %70 KAN
CSR	54,20	41,32	61,95	62,60	45,30	49,26	56,40

Elde edilen en düşük CSR değeri olan %41,32 ABD koku ile en yüksek CSR değeri %62,60 Kanada kokunu karşılaştıracak olursak. Yüksek fırın için CSR etkisi,

$$\%CSR \text{ artışı} = 62,60 - 41,32 = 21,28 \quad (5.10)$$

Kok tüketimine etkisi = $21,28 \times 0,5 \text{ kg} / \text{TSHD} = 10,64 \text{ kg} / \text{TSHD}$ (5.11)

CSR değeri baz alındığında ABD kokuna karşılık Kanada kokunun kullanılması 10,64 kg kok tasarruf sağlanacaktır.

5.2. Öneriler

Yapılan çalışmalar sonucunda ve ikili harmanlama ile elde edilen kok kalite verileri ışığında, özellikle stok durumu (stokta yaklaşık 80000 ton farklı özellikte koklaşabilir kömür bulunması) ve şirketin kömür satın alma programının uygulanabilmesi için ve de Çizelge 4.1'deki Kardemir A.Ş. Kok fabrikalarının kok kalitesinde hedeflediği değerlerde göz önünde bulundurularak TTK (%20), UKR (%20) ve KANADA (%60) kömürlerinin 3'lü harman ile harmanlanarak kok eldesinde kullanılmasının en iyi sonucu vereceği belirlenmiştir.

Kardemir A.Ş. Kok Fabrikalarının TTK kömürlerine göre dizayn edilmesinden ve yerli kömürlerin maliyet açısından ithal kömürlere göre daha uygun olması harmanda TTK kömürlerinin gerekliliğini zorunlu kılmıştır. Alınan sonuçlarda kaliteli kok eldesinde Kanada kömürlerinden üretilen kok değerlerinin,

özellikle kükürt oranı %0,46, toplam alkali miktarı %0,89, M40 değeri %78 (micum tambur dayanım testi) ve CSR kok reaktivite değeri %62,60 bulunarak hedeflenen kok kalite değerlerinin üzerinde olması kaliteli kok için harmanda kullanılmasını ön plana çıkarmıştır. Harmanda üçüncü kömür ise M40 değerinin %74,20, CSR değerinin %61,95 olması ve ABD kömürlerine göre kükürt değerlerinin az M40 değerinin yüksek oluşu ve maliyet olarak ABD kömürlerine göre uygun oluşundan dolayı Ukrayna kömürleri seçilmiştir.

Üçlü harman seçiminde stok sahasındaki kömür durumu, kömür tedarikindeki planlama ve kok kalite değerleri dikkate alınarak üçlü harmanda %20 TTK, %20 UKR ve %70 Kanada kömürünün harmanlanmasına karar verilmiş ve Çizelge 5.7’de sonuçlar verilmiştir. Çalışma sonrası elde edilen harman kömürünün nem oranı %8,40, kül miktarı %10,12, uçucu madde miktarı %25,60, sabit karbon %64,28, kalori değeri 7150 Kcal/Kg, kükürt değeri %0,50 olarak tespit edilmiştir. Üçlü harman sonrası üretilen kokta kül miktarı %12,67, sabit karbon miktarı %86,60, kalori değeri 6.888 Kcal/Kg, kükürt miktarı %0,53 değerleri tespit edilmiştir. Kokun M40 değeri 75,20 iken CRI değeri %25,58, CSR değeri de %61,40 bulunmuştur

Kömür kaynaklarının harmanlanarak kullanılması gerekmektedir. Tek kaynak kömürlerden kaliteli kok üretimi gerçekleşse bile kaynakların verimli kullanılması, az koklaşabilen kömürlerin değerlendirilmesinin sağlanması, maliyet ve tek kaynak tekeli oluşturmamak için diğer kömürlerle uygun değer harman oranlarının bulunması ve buna göre alım yapılmaya çalışılması bir zorunluluktur. Kok fırınları için ideal olan kömür fiyatı koklaşması zayıf olan kömürlere göre pahalı olmaktadır. Kömür alımlarında kalite değerleri yanında alım maliyetleri de önem arz etmektedir. Uzak kaynaklı kömür alımlarında ki navlun fiyatlarının yüksekliği ve sürekli değişiklik göstermesi yakın kaynaklı uygun kömür alımlarına firmaları yönlendirmektedir. Bu da kömürlerin birbirleri ile harmanlanmasını zorunlu hale getirmiştir.

Çizelge 5. 7. Çalışma sonucu elde edilen üçlü harman kömür ve kok analiz değerleri

Kaynak	TTK	Ukrayna	Kanada	Harman	Kok
Havza	Zonguldak	Doneksy	Primium		
Harman	%20	%20	%60	%100	
Nem %	7,80	10,80	9,60	8,40	5,83
Kül %	10,40	8,70	10,20	10,12	12,67
UM kb %	26,80	25,90	25,20	25,60	0,63
Sabit Karbon %	62,80	65,40	64,60	64,28	86,60
Kalori (± 150 kcal/kg)	7.320	7.250	7.470	7.150	6.888
Kükürt %	0,58	0,64	0,46	0,50	0,53
P ₂ O ₅ (Külde) %	0,63	0,31	1,33	0,93	0,85
Top. Alkali (Külde) %	2,68	3,41	0,99	1,70	1,50
Stabilite (M40) %	-	-	-	-	75,20
CRI %	-	-	-	-	25,58
CSR %	-	-	-	-	61,40

Hedeflenen kok kalite değerleri ile üçlü harmandan elde edilen kok değerleri Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5. 8. Hedef kok kalite değerleri ile optimum 3’lü harma değerlerinin karşılaştırılması

	HEDEF	SONUÇ
1. Nem % :	5	5,83
2. Kül (kb) % :	12,5	12,67
3. Uçucu madde (kb) % :	1	0,63
4. Sabit Karbon (kb) % :	86,5	86,6
5. Kükürt (kb) % :	0,6	0,53
6. Top. Alkali (külde) % :	2,2	1,5
7. Fosfor % :	0,25	
8. M 40 % :	76	75,2
9. M 10 % :	8	8,28
10. CRI % :	25-30	25,58
11. CSR % :	55-60	61,4
12. Kalori (kcal/kg) :	6.600	6.888
13. EBAT		
+ 75 mm %	5	6,64
- 75 + 25 mm %	90	87,87
- 25 mm %	5	5,49

Çalışmada stok sahasındaki kömürlerin alım aşamasında yapılan incelemeler işletme şartları kullanılarak pekiştirilmiştir. Sonuçta stok sahasındaki mevcut kömürlerin yerli kömürlerle harmanlanabildiği, bunun yanı sıra yapılan testler değerlendirildiğinde kömürlerden sorunsuz ve hedeflenen kalite değerlerine uygun üçlü harman yapılabileceği de tespit edilmiş ve üretimler stok durumu ve maliyetler göz önünde bulundurularak bu harmana belirli bir süre devam edilmiştir.

KAYNAKLAR

- AĞUŞ, M., 2008, Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları Tanıtım Notları, 6, Karabük (Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları, Arşivi)
- AKÇURA, F., ARAL O., 1982, Dört Türk Kömürünün Düşük ve Yüksek Sıcaklık Karbonizasyonunun incelenmesi, 278-297
- ATEŞOK, G., 1986, Kömür Hazırlama, Kömürlerin tüketime hazırlanması: flotasyon yöntemi, Kurtis matbaası, İstanbul, s.97-146.
- ATEŞOK, G., 1988, Koklaştırma, Kömür Kimyası ve Teknolojisi, Ed. O. Kural, Mete Grafik, s.387-397, İstanbul.
- ATEŞOK, G., 1991, Kömürün Koklaştırılması, Kömür (Ed.: O.Kural), Bölüm 18, s 512-612.
- BOGGS, S , 1987, Principles of Sedimentology and Stratigraphy, Prentice-Hall Inc., New Jersey USA, 774 p.
- COOK, A.C. and Edwards, G.E., 1971, "Vitrinite Content And Coke Strength", The Science Of Fuel And Energy, S. 41 -52.
- ÇELEBİ, V. , 2007, Kardemir A.Ş. Yüksek Fırımlar Eğitim Notları, (Kardemir A.Ş. Arşivi)
- DPT, 2001, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı, Madencilik Özel ihtisas Komisyonu Raporu Enerji Hammaddeler Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu, 2605-ÖİK: 616, Ankara.
- DARTNELL, J., 1977, Coke in the Blast-Furnace: Conference on Coal, Coke and the Blast-Furnace, Held by the Metals Society, Middlesbrough.
- ELLIOTT, D.R., 1969, Blast-Furnace Irregularities Caused by Coke-Quality Variations: Conference on Coke in Ironmaking, The Iron and Steel Institute and the Institute of Fuel, London.
- ERDEMİR A.Ş. , 2003, Kok fabrikaları Çalışma Raporu, Ereğli, (yayınlanmamış)
- GEDROYC, V. ve B.H.Mathieson, I.M., 1969, influence of the Physical Quality of Coke on Blast-Furnace Performance: Conference on Coke in Ironmaking, The Iron and Steel Institute and the Institute of Fuel, London.

- GRAY R.J., GOSCINSKI J.S. ve SHOENBERGER, R.W., 1978, Selection of Coals for Coke Making, Conference:Iron and Steel Society of AIME and the Society of Mining Engineers (SME) of AIME, October.
- GRAHAM, J.P., 1969, Specification of the Properties of Coke for Ironmaking: UK Blast-Furnace Coke Specifications,Conference on Coke in Ironmaking, The Iron and Steel Institute and the Institute of Fuel, London,
- HATANO, M., 1976, The Effect of Coke Properties on the Blast-Furnace Operation :The Sumitomo Search.
- HIRA, O.E. ve arkadaşları,1980, Koklaşmayan Armutçuk ve Amasra Kömürlerinin Metalurjik Kok Üretiminde Kullanılması İmkânlarının Pilot Fabrika Çapında Araştırılması, MTA Enstitüsü, Ankara
- KARAYİĞİT, A.İ., DEMİREL, İ. H., 1998. Quality and Petrographic Characteristics of the Lacustrine Ermenek Coal (Early Miocene), Turkey. Energy Sources, 21: 329 - 338.
- KEMAL, M. ve diğ.,1978, Metalurjik Kok Üretimine Elverişli Kömür Bazının Geliştirilmesi Olanakları, Türkiye 1. Kömür Kongresi, s. 659-683, Zonguldak.
- KEMAL, M., 1982, Kömür Teknolojisi, DEO, Müh.Mim. Fakültesi,Yayın No: 33, Bornova
- KEMAL,M., 1984, Metalurjik Kok Üretiminde Optimal Kömür Karışım Eldesi İçin Kullanılan Yöntemler, Madencilik Bülteni, İzmir, Sayı 4.
- KURAL, O, 1991, Coal, İstanbul.
- KURAL, O., 1998, Kömür “ özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
- MIYAZU, T. ve arkadaşları, 1974, The evaluation and design of blends using many Kinds of coal for coke making.Int. Iron and Steel Congr., Diisseldorf,
- NACAMURA, N.;Togino, Y. ve Adachi, T., 1977, Phylosophy of Blending Coals and Coke-Making Tecnology in Japan: Conference on Coal, Coke and the Blast-Furnace, Held by the Metals Society, Middlesbrough.
- NAKOMAN, E., 1971, Kömür, MTA Yayınları Serisi, No:8, s.348, Ankara

- NIXON, E.W. ve BROOKS, 1969.S.H., Effect of Chemical and Physical Properties of Coke on Blast-Furnace Performance:Conference on Coke in Ironmaking, The Iron and Steel Institute and the Institute of Fuel, London
- OPAPRAKASİT P., P. C. Painter, Concerning the Glass Transition Temperature of Coal. Energy and Fuels, 17, 354 - 358, (2003).
- ÖZAL Ö., 1995, Demir Çelik Sektöründe Kaliteli Kok Üretimi ve Kömür Alımlarını Etkileyen Faktörler
- ÖZBAYOĞLU, G., 1977, "Determination of the Flotation Characteristics of Several Turkish Bituminous Coal Seams in Zonguldak Coal Basin", PhD Thesis, METU, pages 1-20 Ankara.
- ÖZDEN,Ü, GENCER Z., 1983. Koklaşmayan Amasra ve Armukçuk Kömürlerinin Metalurjik Kok Üretiminde Kullanılmasının Pilot Fabrika Çapında Araştırılması,
- ROBERTS, J.,1974, Coals for Carbonization, Coke Smokeless-fuel Age 6, 173-5,
- ROBERTS, J. ve JENKNER A.,1934, International Coal Carbonization, Pittmann & Sons, Londra.
- SPEIGHT, J. G., 1983, The chemistry and technology of coal, first ed., Marcel Dekker, INC., New York (USA)
- SHAPIRO, N. and GRAY R.J., 1960, "Petrographie Classification Applicable to Coals of All Ranks", Proceedings of The Illinois Mining Institute, 68th Years, pages 83-97.
- SIMONIS, W. ve arkadaşları, 1966. Der Einfluss des Koksbildungsvermögens auf die Koksfestigkeit, Glückauf - Forschungshefte 27, s. 105-113
- SMITH, A.H.V.,1972, "Coal Petrography as a Guide to Carbonization", Chief Scientists Conference, Technical Section-Carbonization, pages 1-25.
- STANSBERRY, P.G., 2004. Characterization of Coal Solvent Extraction Processes Using Petrographic,Chemical, and Physical Methods, Final Report, Department of Chemical Engineering College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University (USA)
- TSE 330, 1966. Maden Kömüründe Kül Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TSE 329, 1966. Maden Kömüründeki Kükürt Bilesiklerinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TSE 711 ISO 562, 2002. Taskömürü ve Kok – Uçucu Madde Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TSE 329, 1966. Maden Kömüründeki Kükürt Bilesiklerinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TOROĞLU, İ., 1999, Zonguldak Kömürlerinin Kok Teknolojisi Geliştirilmesi, DTP, 14

VORRES, K. S., 1984. Mineral Matter and Ash in Coal. American Chemical Society, Washington.

WILKINSON, H.C., 1964. The Measurement of Some Physical Properties of Coke and their Possible Significance in Terms of Blast-Furnace Performance: Journal of the Institute of Fuel.

ZIMMERMAN, R. E.,1979. "Evaluating and Testing the Coking Properties of Coal", Miller Freeman Publications, Inc., San Fransisco.

www.consolenergy.com, 2009

www.mining-technology.com, 2009

www.ttk.gov.tr, 2009

www.wikipedia.org, 2009

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Karabük'te doğdu. İlk ve orta tahsilini Karabük'te tamamladı. Mart 1995 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünü bitirdi. Askerlik sonrası 1997 – 2000 yılları arası Konya'da inşaat grubu boya üreten Polymel Kimya firmasında üretim sorumlusu olarak görev aldı. 2000 – 2008 yılları arasında Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları Müdürlüğünde Kömür Hazırlama ve Kok Maniplasyon Başmühendisi olarak çalıştı. 2007 yılının bahar yarısında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Halen Mescier D.Ç. şirketinde işletme mühendisi olarak görev almaktadır. Evli ve iki çocuk sahibidir.