

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KOK KALİTESİNİ ARTTIRMAK İÇİN UYGUN TEKNOLOJİ
SEÇİMİ VE MALİYET DEĞERLENDİRMESİ**

GÜLAY AKKAR

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOK KALİTESİNİ ARTTIRMAK İÇİN UYGUN TEKNOLOJİ
SEÇİMİ VE MALİYET DEĞERLENDİRMESİ

GÜLAY AKKAR

Prof. Dr. Adalet ZEREN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Armağan ARICI
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Şenol MERT
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 05.09.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyanın temel problemi kısıtlı kaynakları en verimli şekilde kullanmak ve yeni kaynaklar yaratmaktır. Kaynakların verimli kullanılması konusunda, verilebilecek örneklerden biri de Demir Çelik sektörüdür. Demir Çelik sektöründe de kullanılan enerjiyi minimum seviyede tutmak için çeşitli araştırmalar, proses iyileştirmeleri ve yeni teknoloji araştırmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada demir çelik fabrikalarında Yüksek Fırında üretilen demir için ihtiyaç duyulan enerjiyi azaltmak amacıyla üretim prosesinde yer alan Kok Bataryaları incelenmiştir. Söz konusu çalışmada kritik öneme sahip kokun yapısı incelenmiş ve Kok Üretim Teknolojileri, Atık Isı Geri Dönüşümü ve Kömür Nem Kontrolü sistemleri araştırılmıştır.

Yapılan inceleme ve araştırmalara istinaden en ekonomik ve verimli teknolojilerin seçilmesi çalışmasında bana çalışma fırsatı veren değerli hocam Prof. Dr. Adalet Zeren'e teşekkür ederim. Tezin pratik sonuçlarını tesis üzerinden ölçümlemek ve gözlemek konusunda desteklerinden dolayı birlikte çalıştığım Erdemir Mühendislik ve İsdemir şirketlerine teşekkür ederim. Paylaştığı bilgilerle desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım, Sn. Hasan Basri Poyraz, Sn. Yıldırım İsmet Koçak ve Sn. Erman Kaya'ya teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca hep yanımda olan ve enerji kaynağım olarak tanımladığım aileme de sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Haziran – 2018

Gülay AKKAR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELEr VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER.....	5
1.1. Kok Üretimi ve Özellikleri.....	5
1.2.Koklaşma (Kömür Karbonizasyonu).....	7
1.3.Yüksek Fırın Proses Özeti.....	11
1.4.Batarya ve Fırın Yapısı.....	12
1.5.Koklaşma Yapısı	14
1.6.Kok Gazı ve Emisyon.....	16
1.7.Kok Söndürme Teknolojileri ve Kömür Nem Kontrolü	22
1.8.Kok Bataryaları Söndürme Tipleri	23
1.8.1.Kuru söndürme	23
1.8.2.İslak söndürme	24
1.9.Kömür Nem Kontrolü (Coal Moisture Control –CMC).....	29
1.9.1.İsı tüketimine etkisi	30
1.9.2.Kok sertliğine etkisi	30
1.9.3.Üretime etkisi	30
1.9.4.Toz toplamaya ve kok yan ürünlere etkisi	31
1.10.Kömürün Şarj Yapısı.....	31
1.10.1. “Stamp charge” yöntemi ile kok üretimi	33
1.11.Literatür Araştırması	35
2. MATERYAL VE YÖNTEM	42
3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	47
3.1.Kok Bataryaları Söndürme Tiplerinin Karşılaştırılması	47
3.1.1. Nem	47
3.1.2. Stabilité.....	49
3.1.3. Elektrik üretimi	51
3.1.4. Su tüketimi	51
3.1.5. Çevresel etki	52
3.1.6. Diğer giderler	52
3.2.Kömür Nem Kontrolü (Coal Moisture Control –CMC).....	55
3.3.Kömürün Şarj Yapısı.....	59
3.4.Çevresel Etki	61
3.5.Senaryolar.....	62
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	68
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	72

ÖZGEÇMİŞ 73



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kok Mikro yapısı	9
Şekil 1.2. Kok ve Yüksek Fırın Prosesi	10
Şekil 1.3. Yüksek Fırın Prosesi	12
Şekil 1.4. Kok Fırınların Yüksek Sıcaklıkta Isıtılması	13
Şekil 1.5. Koklaşmış Kömür	15
Şekil 1.6. Kok Bileşenleri Sıcaklığa Bağlı Oransal Değişim.....	18
Şekil 1.7. Kok Fırını Tesisi Kütle Akışı.....	20
Şekil 1.8. Kuru Söndürme Proses Akışı.....	23
Şekil 1.9. Kuru Söndürme Proses Akışı.....	24
Şekil 1.10. CWQ ve CSQ Yaş Söndürme Sistemleri.....	25
Şekil 1.11. Temsili Yaş Söndürme Toz Bastırma Sistemi.....	26
Şekil 1.12. Kok Bataryaları Yaş Söndürme	27
Şekil 1.13. Kok Bataryaları Yaş Söndürme Taşıyıcı Arabası.....	28
Şekil 1.14. Kömür Nem Kontrol Sisteminin Süreç Akış	29
Şekil 1.15. Yatay Tip Fırın.....	32
Şekil 1.16. Yatay ve Dikey Tip Fırın Yapısı.....	32
Şekil 1.17. Kömür Şarj Makinası Parçaları.....	33
Şekil 1.18. Kömür Şarj Esnasındaki Durum	34
Şekil 1.19. Stamp Şarj Tesis Bölümleri	40
Şekil 2.1. Kok Bataryaları Tesisi	44
Şekil 2.2. Kok Gazı Gazometresi.....	46
Şekil 3.1. Kok Nem Oranları 2017 Yılı	48
Şekil 3.2. Stabilite Değerleri	50
Şekil 3.3. Düşük ve Sabit Nemli Kok Kullanımı Faydaları.....	58
Şekil 3.4. Kok Stabilite ve Reaktivite Karşılaştırması.....	59
Şekil 3.5. Kok Boyutu Karşılaştırılması	60
Şekil 3.6. Kömür Nem Kontrolü Akış Şeması.....	63

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Kok Gazı Bileşenleri.....	17
Tablo 1.2. Kok için İstenen Özellikler.....	21
Tablo 3.1. Stabilité farkı ile oluşan tasarruf.....	50
Tablo 3.2. CWQ- CSQ-CDQ Tesis Değerleri 2017 Yılı	55
Tablo 3.3. Ekipmanların Ana Özellikleri.....	56
Tablo 3.4. Senaryo 1 Gelir ve Giderleri.....	63
Tablo 3.5. Senaryo 2 Gelir ve Giderleri.....	64
Tablo 3.6. Senaryo 3 Gelir ve Giderleri.....	65



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	: Karbon
CH ₄	: Metan
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbondioksit
C ₂ H ₂	: Asetilen
C ₂ H ₄	: Etilen
C ₂ H ₆	: Etan
E	: Enerji
G	: Gram
TJ	: Terajoule
H	: Saat
H ₂	: Hidrojen
H ₂ O	: Su
H ₂ S	: Sülfür
Kcal	: Kilo kalori
Kg	: Kilogram
kWh	: Kilo watt saat
mm	: Mili metre
M	: Mol kütlesi
MW	: Mega watt
Nm ³	: Normal metre küp
NH ₃	: Amonyak
NO _x	: Azot oksitler
N ₂	: Azot
O ₂	: Oksijen
SO _x	: Kükürt Oksitler
SO ₂	: Kükürt dioksit
t	: Ton
T	: Sıcaklık
°C	: Derece santigrat
%	: Yüzde

Kısaltmalar

CAPEX	: Capital Expenditures (Yatırım Harcamaları)
CDQ	: Coke Dry Quenching (Kok Kuru Söndürme)
CRI	: Coke Reactivity Index (Kok Reaksiyon Oranı)
CSQ	: Coke Stabilization Quenching (İleri Tek. Islak Söndürme)
CSR	: Coke Strength After Reaction (Reaksiyon Sonrası Kok Dayanımı)
CWQ	: Coke Wet Quenching (Kok Islak Söndürme)
KG	: Kok Gazı
KKS	: Kok Kuru Söndürme
OPEX	: Operational Expenditures (İşletme Giderleri)
YFG	: Yüksek Fırın Gazı

KOK KALİTESİNİ ARTTIRMAK İÇİN UYGUN TEKNOLOJİ SEÇİMİ VE MALİYET OPTİMİZASYONU

ÖZET

Demir çelik üretiminde kullanılan Kok Bataryaları uzun ömürlü işletmeler olup, yaklaşık kullanım ömrü 40 yıldır. Dolayısıyla bu fabrikaların kurulumu esnasında sürecin gerekliliklerinin, bakımının, verimliliğinin ve enerji döngüsünün dikkate alınarak tasarımı ve seçimlerinin yapılması gerekmektedir. Bu anlamda fabrikalarda uygulama örnekleri, farklı teknoloji kullanımlarında tasarımın enerji ve verim faktörlerine etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Tesis kurulumu, ömrü uzun olan bu tesisler için oldukça kritik bir çalışmadır.

Yüksek Fırında kokun reaksiyona girmesi için belirli bir ısıya getirilmesi gerekmektedir. Demir üretimi sırasında harcanan bu enerjiyi minimuma indirmek için kokun nem kontrolünün yapılması ve kok stabilitesini belirli bir seviyede tutmak gerekmektedir. Bu tezde, kokun stabilite ve nem kontrolü amaçlanarak farklı teknolojiler incelenmiştir.

Üretim sürecinin sonunda gerçekleştirilen söndürme teknolojisi seçimi kok nem ve stabilitesine direkt etkisi olan süreçlerden biridir. Bu tezde, söndürme teknolojileri için teorik hesaplar yapılmıştır. Bunun yanında farklı söndürme yapılı tesisler üzerinden ölçümler alınarak teorik sonuçlar ve pratik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bunlara istinaden en uygun teknoloji seçilmiştir. İlave olarak kok üretimine girdi olan kömürün nem kontrolü sağlanarak veya kömürün bataryalara şarj edilme tipi gözetilerek kok için istenilen metalürjik özelliklerin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Sonuç olarak, Kok Söndürme Yapıları, Kömür Nem Kontrolü, Şarj Tipi ve Atık Isı Kazanımı üzerine inceleme ve karşılaştırmalarla en ekonomik ve verimli tesis için ihtiyaç duyulan teknolojilerin belirlenmesine çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık Isı Kazanımı, Kok Bataryaları Söndürme Tipi, Kok Kalitesi, Tasarım, Verimlilik.

SELECTING APPROPRIATE TECHNOLOGIES TO INCREASE COKE QUALITY AND COST OPTIMIZATION

ABSTRACT

Coke batteries, which have been using for iron and steel production are durable operations, their bench life is approximately 40 years. For this reason, the facility should be designed in consideration of requirements, attendance, productivity and energy cycle during their construction process. In this perspective of batteries, both energy and productivity influences should be examined within various technological uses. The examination is crucial for these durable facilities.

In blast furnace, coke must be heated in specific temperature for reaction engagement. In order to minimize the energy spent in the production of iron, moisture control for coke and keeping strength (CSR) level in desirable level are required. Various technologies about coke stabilization and moisture control is analysed.

The selection of quenching technology, which is performed at the end of production process is one of the process which has direct impacts on coke's moisture and stability. Theoretical calculations are made for quenching technologies. Moreover, theoretical and practical results are compared by taking measurements on various quenching facilities. As a result, the most suitable technology is chosen.

Furthermore, achieving desirable metallurgical characteristics is aimed by providing the moisture control of coke production or observing type of coal charging through batteries.

To sum up, for the most economical and productive facility, required technologies is defined by comparing and examining of coke quenching structures, coke moisture control, charging type and waste heat recovery.

Keywords: Waste Heat Recovery, Coke Batteries Quenching Types, Coke Quality, Design, Productivity.

GİRİŞ

Dünyada çelik; inşaat, otomotiv, beyaz eşya, gemi inşaat, vb. birçok sektörde kullanılmaktadır. Kaliteli çelik üretiminde ise entegre demir-çelik fabrikalarının önemli bir yeri bulunmaktadır. Çünkü, ancak cevherden üretilen demir ve çelik ürünleri ile yüksek kaliteli ürünlerin üretilmesi mümkün olabilmektedir.

Demir cevheri, yüksek fırınlarda sıvı ham demire redüklendikten sonra konverterler vasıtası ile çeliğe dönüştürülmektedir. Yüksek fırınlarda demirin redüklenmesi, kok ile yapılmaktadır. Koklaşabilir taş kömüründen oluşan harman kömürünün havasız ortamda 1.100 °C' ye kadar ısıtılarak içerdiği uçucu maddelerden ayrıştırılması sonucunda kok üretilmektedir. Kömürden ayrıştırılan uçucu madde yanıcı bir gaz olan ham kok gazını oluşturur.

Pik demir üretimi sırasında kokun yüksek fırınlarda, bir başka madde tarafından doldurulamayan bazı temel işlevleri vardır. Bunlar, kokun indirgen özelliği, ısı kaynağı ve yüksek fırın içinde iskelet oluşturma gibi özellikleridir. Bu nedenle demir ve çelik üretilen tesislerde kok bataryaları zorunlu bir halkayı oluşturur. Ayrıca entegre tesislerde demir ve çelik üretim prosesi büyük miktarda enerji gerektiren ve büyük miktarda enerji depolayan bir prostestir. Bu enerjinin bir kısmı kok üretimi sırasında bataryalardan üretilir [1]. Bu enerji kokun metalürjik yapısıyla ilgili olduğu kadar kokun içindeki nem oranı ve stabilitesi ile ilgilidir. Bu nem oranını minimum seviyede tutmak, hem kok yapımı hem de Yüksek Fırında kok yakımı esnasında minimum enerji harcamak için ne yapılması gerektiği araştırmanın temel problemidir.

Bu anlamda Kok Yapım ve Söndürme proses aşamaları özetlenirse;

- Kömür Hazırlama Ünitesinden gelen harmanlanmış koklaşabilir kömürler, şarj arabasıyla kömür kulesinden alınarak fırınlara şarj edilir.
- Şarj edilen kömürler, koklaşma süresi sonunda itme programına göre itme arabasıyla itilir.

- İtme arabasıyla itilen kok, kılavuz araba köprüsünden geçerek söndürme arabasına boşaltılır.
- Söndürme vagonuna boşaltılan kızgın kok (1050 °C) sulu söndürme işlemi için söndürme kulesine veya Kuru söndürme için Kuru Söndürme Tesislerine götürülür.
- Sulu söndürme işleminden sonra, sıcaklığı yaklaşık 180 °C – 200 °C ye düşürülen kızgın kok, kok rampasına boşaltılır.
- Kok rampasına boşaltılan söndürülmüş kok, boyutlarına göre sınıflandırılması için konveyörler vasıtasıyla kok kırma eleme ünitesine gönderilir.
- Kok kuru söndürme tesisi şarj vinci, fanlar, siklonlar, buhar kazanı (ekonomayzer, buharlaştırıcı, kızdırıcı ve kazandan meydana gelir), toz çökertme bunker, şarj ve boşaltma tertibatları ile birlikte söndürme kamarasından meydana gelmektedir.
- Bataryadan söndürme vagonuyla getirilen akkor kok bloklardan birine alınmaktadır. Akkor kokun kamaraya alma işlemi şarj vinci ile yapılır. Kok söndürme kamarasında söndürülür. Söndürmede kullanılan sirkülasyon gazıyla da buhar kazanında buhar elde edilmektedir.

Bu işlem şu şekilde gerçekleşir. Söndürme vagonuyla getirilen akkor kok şarj vinci yardımıyla söndürme kamarasına üstten şarj edilmektedir. Söndürme kamarasının alt tarafından soğuk sirkülasyon gazı (150-200°C) verilerek gaz kamara içerisinde yukarı doğru yükselirken koku söndürmektedir. Bu esnada kokun ısısı sirkülasyon gazına geçmektedir. Isınmış olan sirkülasyon gazı (yaklaşık 700–800°C) buhar kazanına gönderilmektedir. Buhar kazanı içindeki serpantinlerden geçen besleme suyunu ısıtarak 39 atm 440° C buhar haline getirirken, soğuyan sirkülasyon gazı (yaklaşık 150–200°C) ana fan vasıtasıyla söndürme kamarasına gönderilmektedir. Üretilen buhar 14 atm. 300 °C, 9 atm 250 ° C'lik düşürülerek fabrika şebekesine ve 39 Atm 440°C kızgın buhar Turbo Körüğe (Buhar enerjisini depolayan ve yüksek fırına buhar sağlayan tesis) verilmektedir. Söndürülen kok konveyör bantlarla Kok Kırma Eleme Tesislerine gönderilmektedir.

Bunların yanında yan ürünler tesisinde kok bataryalarından çıkan atıklar değerlendirilmektedir. Yan Ürünler Tesisi kok bataryalarında kömürün koklaşması sırasında çıkan kok gazının soğutulması ile su buharı ve katran yoğunlaştırılarak ayrıştırılması, amonyağın, aromatik hidrokarbonların (benzol ve türevleri) çeşitli metotlarla temizlenmesi işlemleri yapılır. Yan ürünler tesisi temiz kok gazını Demir-

Çelik tesislerinde kullanıcı ünitelere sevk etmek ve kok gazını temizleme sırasında kazanılan kimyasal ürünleri işleyerek satışa hazır duruma getirmek amacıyla kurulmuştur. Bu ünite Kondenzasyon Bölümü, Amonyum Sülfat Ünitesi, Ham Benzol Tutma ve Damıtma, Biyolojik Atık su Arıtma Ünitesi olmak üzere 4 üniteden oluşmaktadır. Bunların yanında su veya hava koşullandırmak veya depolama yapmak amaçlı yardımcı üniteler de bulunmaktadır.

Bu çalışmada Yüksek Fırının önemli girdilerinden biri olan Kokun üretim alanı olan Bataryalar incelenmiştir. Kok Bataryalarındaki farklı tipte kok söndürme sistemleri enerji çevrimleri ve verimlilikleri araştırılmıştır. Kok Bataryalarının farklı söndürme tiplerine göre ekonomiklik ve verim hesapları “Araştırma ve Bulgular” bölümünde açıklanmıştır. Bu bölümde çalışma kapsamında farklı tipteki kok söndürme tasarımlarının teorik olarak karşılaştırması yapılmıştır. İlave olarak bu çalışmada yapılan karşılaştırma farklı söndürme tiplerinde uygulamalar sonrası elde edilen pratik sonuçlarla değerlendirilmiştir. Üç farklı söndürme tipi için maliyet, enerji ve karbondioksit salınımları karşılaştırılmıştır. Bu anlamda başlangıçta detaylı literatür araştırması yapılmıştır.

- Konu ile ilgili makaleler incelenmiş ve teoride farklı söndürme tiplerinin proses verimliliği üzerine etkileri değerlendirilmiştir.
- Takip eden bölümde bu farklı tip söndürme tiplerinin proses aşamasında oluşturduğu maliyet ve enerji harcamaları ortaya koyulmuştur.
- Çevreye olan etkileri incelenmiştir. Bu ölçümler saha üzerinden alınan verilerle karşılaştırılmıştır.
- Literatür, teorik çalışmalar ve tesis üzerinden alınan sonuçların analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada söndürme tiplerinin yanı sıra CMC ünitesinin geri ödeme süresi ve çevresel etkileri incelenmiştir. Atık Isı Kazanım yöntemleri ve Kömürün Bataryaya şarj yapısının kok kalitesi ve nemine etkisi incelenmiştir [2]. CMC ünitesinin oluşma tarihçesine değinecek olursak; Demir üretiminde kokun kullanılması 18.yy’a dayanmaktadır. 1979 yılında Muroran Works tesislerinde şarj edilen kömürün ön ısıtma işlemine tabi tutulması üzerine çalışmalar başlatılmıştır. Atık ısı kazanım projesi ile şarj kömürünün ön ısıtılması projelerinin birleştirilmesi ile elde edilecek

kazancın daha çok artacağı üzerine dikkatler toplanmıştır. Böylece Nippon Steel'in kuru söndürme üzerine yaptığı çalışma ve kömür nem azaltma projeleri birleştirilerek "Coal Moisture Control" (CMC) adı altında ele alınmıştır. İlk CMC projesi A Kod Adlı kok bataryalarında uygulanmıştır. 1983 Eylül ayında kullanılmaya başlanan CMC ünitesi ile enerji kazanımı, kok kalitesinde artış ve üretimde artış sağlanmıştır..

Demir Çelik sanayisinde tesislerin oldukça büyük olması ve ciddi yatırım maliyetleri gerektirmesi sebebiyle yaygınlığı azdır. Dolayısıyla literatür araştırmasında farklı sektörlere göre (Otomotiv, İnşaat vb.) daha az akademik çalışma bulunmaktadır. Bunun yanında söz konusu tesis incelemelerinde genelde enerji geçişleri incelenirken batarya tasarımı ve farklı teknolojilerin incelendiği çalışma sayısının da sınırlı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın temel amacı "ağır sanayi" kapsamındaki bu tesislerin enerji verimliliği ve ekonomikliği için Kok Bataryalarının nasıl tasarlanması gerektiğini tespit etmektir. Bunların yanında seçilen teknoloji ve tasarımların Çevreye duyarlı olup olmadığı kontrol edilmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Kok Üretimi ve Özellikleri

Kok kömürü çelik üretiminin önemli girdilerinden biridir. Koklaşabilir özellikteki maden kömürlerinin kapalı fırınlarda havasız ortamda ısıtılarak içerdiği uçucu madde, katran, benzol gibi bileşenlerinden ayrıştırılmasına koklaştırma denmektedir. Koklaşması tamamlanan kömür, fırından itilerek söndürme arabalarına alınmaktadır. Sonrasında söndürme tesislerine giden kok, farklı söndürme teknikleri kullanılarak söndürülmektedir.

Kok, yüksek fırında kullanılan evrensel bir yakıttır. Kömür, kok olarak ve enjeksiyon halinde toz kömürün yüksek fırına yakıt olarak yüklenmektedir. Sadece belirli bir sınıf kömür, yüksek fırında pik üretimi için özel özellikleri sağlayacak şekilde kaliteli kok üretimi gerçekleştirilebilir. En iyi yüksek fırın kokusu pülverize edilmiş ve harman yapılmış, fazla uçucu madde ve az uçucu madde ihtiva eden kömürlerin karışımından yüksek sıcaklıklarda düzenli bir ısıtma ile oluşturulabilir.

Kokun yüksek fırında 5 temel fonksiyonu vardır. Bunlar;

- Isı kaynağı sağlamak için bir yakıt olarak kullanılması,
- Demir oksitlerin indirgenmesi için CO sağlanması,
- Metal ve metalürjik oksitleri, Mn, Si, P gibi indirgemesi,
- Demiri karbürize ederek erime noktasını düşürmesi,
- Kuru ve ıslak bölgelerde geçirgenliği sağlanması ve mekanik destek olmasıdır [3].

Metalürjik kok için olması beklenen özellikler;

- Sevkiyata uygun olmalı,
- Yüksek fırının ağır şartlarının basıncı altında ezilmeyecek kadar sağlam ve dayanıklı olmalı,
- Toz ve ince parçaları içermemeli,
- İstenilen yanma hızı ile yanması için kok parçaları fazla iri olmamalıdır [4].

Bu fiziksel özellikler koklaşma metodu ile kontrol edilir. Kokun geçirgenliği cevher, sinter ve pelete göre daha fazladır. Kok tüyer (yüksek fırın karın alt kısmında bulunan hava boruları) seviyesine ininceye kadar erimez ve burada hava tarafından indirgenir.

Kömür fırına şarj edilip ısıtıldığında 315-475°C de plastik hale gelir. Bitümlü kömür (taş kömürü) bu sıcaklık aralığına ısıtıldığında uçucu maddeler önce hızlı olarak sonra 950°C a kadar daha yavaş olarak kömürden çıkarlar. Yavaş ısıtma, plastik sınırdan sonra kokun sertliğini biraz arttırmakla birlikte Kok parçalarının ebatları büyük ölçüde şarj edilen kömürün ebadına bağlıdır. Uygun bir kokun kimyasal bileşiminde az uçucu madde bulunmalıdır (Yaklaşık %85).

Koklaşmanın gerçekleştiği fırınlarda hava olmaz. Koklaşma sonucu elde edilen gazlar fırının bitişiğindeki bölümlerde yanar ve fırını ısıtırlar. Koklaşma için ihtiyaç duyulan ısı dış taraftan ısıtılarak sağlanır. Bu işlem sonucunda açığa çıkan uçucu maddeler elde edilir. Bu maddelere değişik işlemler uygulanarak gaz ve yan ürün meydana getirilir. Üretilen gazın yaklaşık %35-40'ı tekrar kok fırınlarını ısıtmak için prosese yeniden şarj edilir [5].

Sistem, batarya şeklinde dikdörtgen şekilli odacıklardan oluşmaktadır (ortalama 100-200 arasında). Bataryalarda sırasıyla bir koklaşma odacığı bir ısıtma odacığı mevcuttur. Böylece her koklaşma kamarasının iki yanında birer ısıtma odası bulunmaktadır.

Isıtma odalarına gaz ile beraber rejeneratif odalardan geçerek ısınmış hava verilmektedir. Rejeneratif odalar ısıtma ve koklaşma odalarının altındadır. Isıtma odalarında gazla karışıp yanmayı sağlayan havanın ısıtılması için kullanılırlar. Kömürlerin koklaşabilmesi için gerekli ısı, ısıtma kamaralardan geldiği için koklaşma yan duvarlardan başlar ve kömür yatağının ortasına doğru ilerler. Koklaşma işlemi tamamlandıktan sonra kok itici makine ile itilerek fırının diğer tarafından vagona alınır. Fırının kok tarafı kokun kolayca boşalabilmesini sağlamak amacıyla itici tarafından 5-10 cm daha genişir [5]. Vagona alınan sıcak kok üzerine su püskürtülerek veya kuru söndürme metoduyla söndürülmektedir. Koklaşma sırasında fırının her iki ağzı refrakter astarlı kapılarla sıkıca kapatılır. Uçucu gazların çıkması için fırın tavanında bir uça veya uç bölgelerde delikler vardır. Bu deliklerden dışarı alınan

gazlar bir boru vasıtasıyla bataryanın gaz toplama ana borusuna gider. Bu gazlara daha sonra değişik işlemler uygulanarak değişik yan ürünler elde edilmektedir.

Kömür yanma kamarasına alındıktan sonra dıştan içe doğru yavaş yavaş ısınır. Koklaşma anında ilk 200°C ile 400°C arasında kömür tanecikleri tarafından absorbe edilmiş su buharı, CO₂ ve CH₄ (metan) gazları oluşur. Koklaşma sıcaklığı arttıkça metan, etan gibi doymuş, etilen gibi doymamış hidrokarbonlar parçalanmaktadır. Buna karşılık H₂ miktarı artmaktadır. Aynı sıcaklık arttıkça CO₂, CO 'e dönüşmekte ve CO miktarı yükselmektedir [6]. Kömürün koklaşması fırının sıcaklık geçişinin en yüksek olduğu yer olan, yanma kamaralarının duvarından başlar, kömür yığınının ortasına doğru ilerler. Koklaşabilir kömür havasız ortamda sıcaklığı 400°C civarında yumuşayarak şişer.

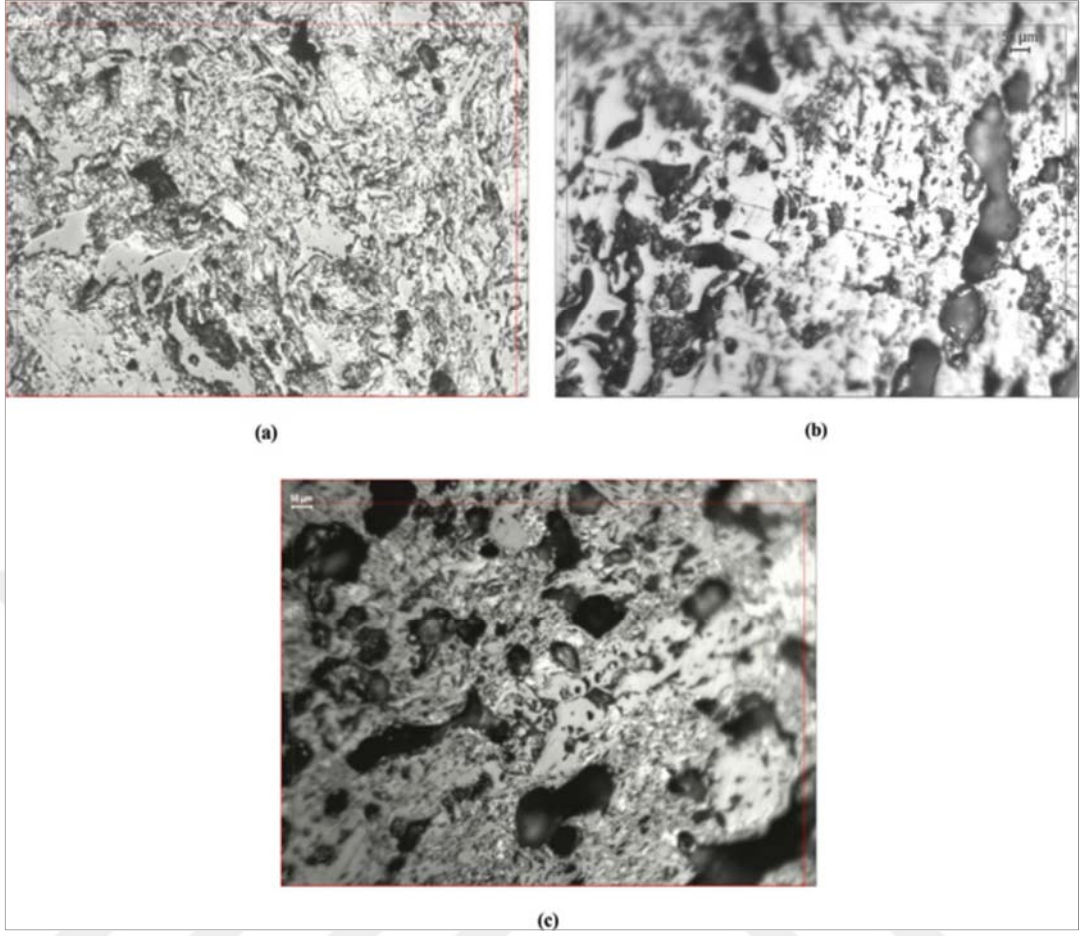
Sıcaklık arttıkça kömür plastik veya yarı plastik formlarına geçer. Plastik kitle içindeki gazlar, sıcaklığın tesiri ile hacim artışı oluşur ve kömürü şişirir. Kömürün sıcaklığı 500 °C'ye ulaştığında kömür büzüşerek katılaşır, gözenekli kok şeklini almaya başlar. 600 °C civarında koklaşma sıcaklığı olarak bilinir ve kömürün kok haline geçtiği gözlemlenir. Sıcaklık 1000-1100 °C'ye kadar çıkartılır ve bu sıcaklıkta 18-22 saat bekletilen kömür, gaz ve buharlaşan maddelerini vererek akkor halinde bir kütle oluşur. Koklaşma hızı maksimum kapasitede 25,4mm/saattir (1inç/saat) [5]. Koklaşmanın sonunda fırın içindeki kızgın kok kütesinin ortasında yukarıdan aşağıya bir çizgi meydana gelir. Bu çizgiye koklaşma çizgisi denir. Bu çizginin belirginliği ve devamlılığı incelenerek kokun kalitesi hakkında yorum yapılmaktadır. İyi bir koklaşmada elde edilen kok kütesinde bu çizginin belirgin ve devamlı olması istenir. Koklaşma işlemi bittikten sonra kamaralarının yan kapıları açılır. Özel bir iletme makinesi ile koklar kamaralardan dışarıya çıkarılır. Bu itme işlemi yanma duvarlarının en çok hasar gördüğü an olduğu için, çalışmanın hızı ve itiş arabasının itme kuvveti oldukça önemlidir. Çıkarılan kokun sıcaklığı çok yüksek olduğundan havanın oksijeni ile birleşerek yanar. Bunu önlemek için kok üzerine bol miktarda su püskürtülerek veya kuru söndürme metoduyla söndürülür. İşlem veriminin yaklaşık olarak %80 civarında olduğu mevcut tesislerde görülmüştür.

1.2. Koklaşma (Kömür Karbonizasyonu)

Karbon içerikli katı yakıt üretilmesi amacı ile organik maddelerin parçalanması prosesi koklaşma prosesidir. Kok haricindeki diğer ürünler kömür kimyasalları veya yan ürünler olarak bilinir. İnert bir ortamda, yan ürün olarak sıvı ve gaz ürünler elde edilir. Yüksek sıcaklıkta kompleks kömür molekülü kapalı ve havasız bir ortamda ısıtılırsa kömür molekülü parçalara ayrılır. Böylece oluşan uçucu maddeler kömür içinden çıktıktan sonra ortamda kalan sert, gözenekli, sünger yapıya kok, bu işleme de koklaşma adı verilir ve bu yapıda daha fazla Karbon bulunur.

Karbonizasyon yüksek ve orta uçucu bitümlü kömürlere metalürjik kok üretimi için kullanılmaktadır. Piroliz sırasında, kömür moleküllerinin parçalanması aşama aşama olur. Kömür moleküllerinden kopan ilk ürünler, ortamın devamlı sıcak olmasından dolayı çeşitli reaksiyonların etkisinde yan ürünleri meydana getirirler [7].

Şekil 1.1. üzerinde (a) Ana Karışım (b) Prokzenit Hal (c) Kireçli Hal için mikro yapılar görülmektedir. Kömür karbonizasyonunda karşılaşılan ilk problem koklaşma özelliğine sahip bir kömürün tercih edilmesidir. Pişme esnasında kömür yumuşar ve bundan çok veya az sert bir kütle haline geçerse, bu kömür koklaşabilen bir kömür olarak belirlenmiş olur. Pişme esnasında kömür dağılma yapar veya dayanıklılığı zayıf bir kütle meydana getirirse, kömür koklaşmayan kömür olarak sınıflandırılır [8].



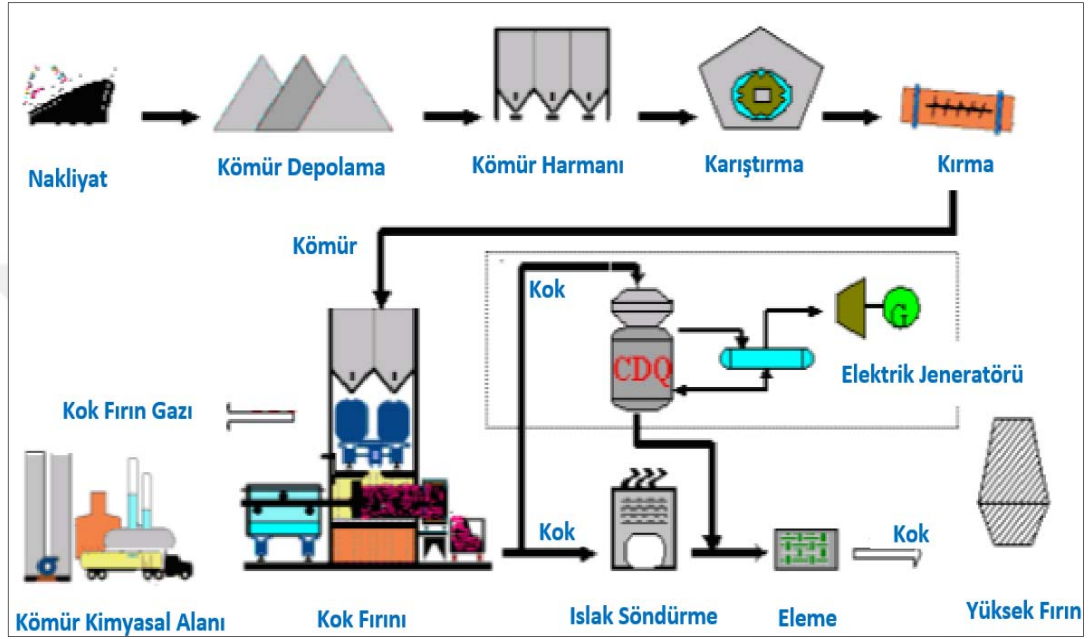
Şekil 1.1. Kok Mikro yapısı [9]

Yüksek Fırın için Metalürjik Kok üretirken dikkat edilmesi gereken pek çok önemli konu vardır. Yüksek fırında metalürjik kok yakıtından, indirgeyici madde ve yapı elemanı olarak faydalanılır.

Metalürjik kok fırına gelmeden önce pek çok ön işlem uygulanır. Buradaki temel amaç kok kalitesini yüksek seviyelere çıkarmaktır. Kömür, farklı çeşit ve ölçülerde kömür karıştırma kaplarında karıştırılır. Daha sonra öğütücü tarafından toz haline getirilir ve kok fırını için doğru boyutlandırma olup olmadığı incelenir.

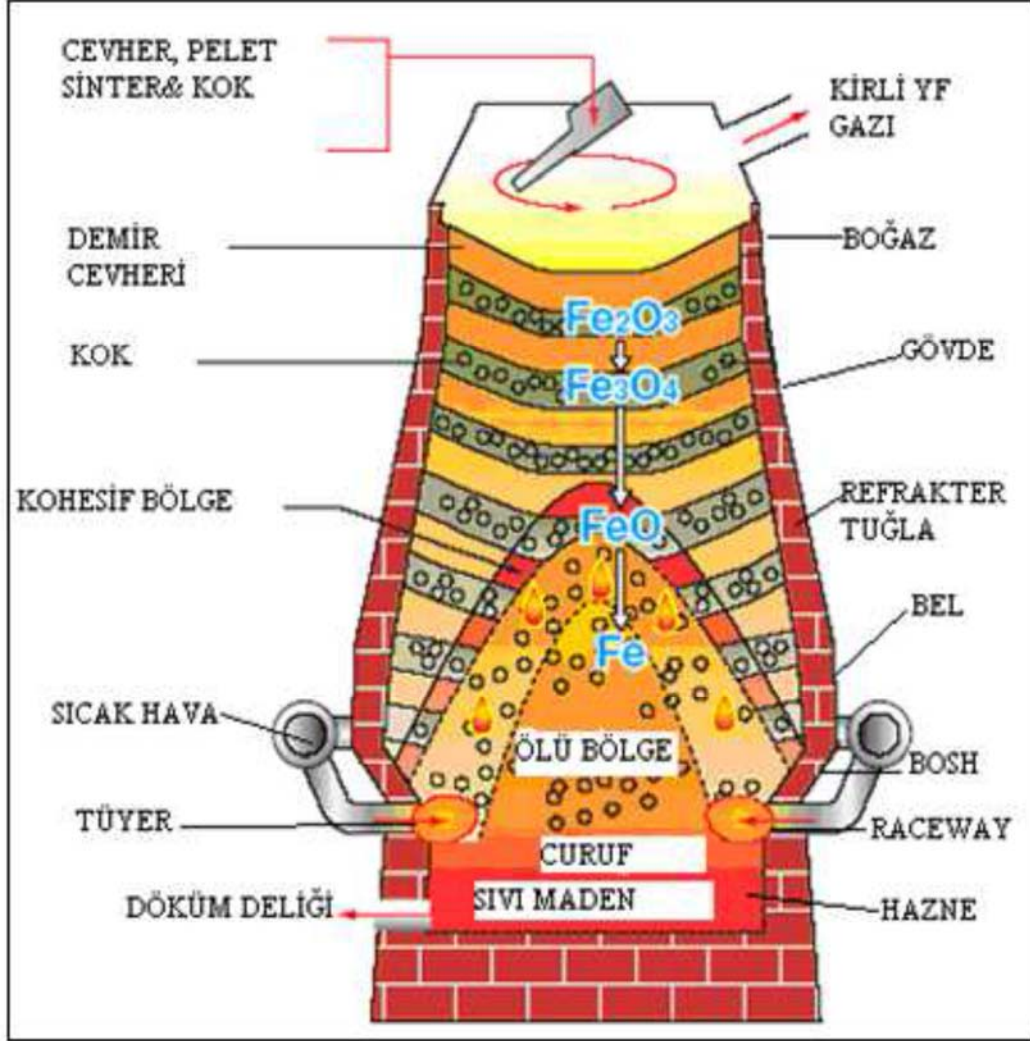
Toz haline getirilmiş olan kömür ön ısıtma sürecine geçer. Bu aşamada 200 °C kadar ısıtılır. Bu işlemle piroliz safhası için toz halindeki kömür hazır hale gelir. Daha sonrasında yapılacak işlem, malzemeyi 1000-14000 °C ye ısıtılmış ortama taşımaktır. Bu ortamda düşük seviyede Oksijen bulunmaktadır. Bu aşamada Hidro karbon ve nem kömür yapıdan buharlaşır, sonrasında kömür parçacıkları bir araya gelir. Böylece daha büyük parçaları oluştururlar.

Çıkan gaz depolanır ve yanma odasında yeniden ısı girdisi olarak kullanılır. Yanma işlemi tamamlandıktan sonra ise, üretilen metalürjik kok sulu veya kuru olarak söndürülür. En son olarak da Yüksek Fırına girdi olarak gönderilir [10]. Bu proses Şekil 1.2. üzerinde, kömürün İşletmeye nakledilmesinden Yüksek Fırına girdi olarak sağlanmasına kadar aşama aşama gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Kok ve Yüksek Fırın Prosesi [11]

1.3. Yüksek Fırın Proses Özeti



Şekil 1.3. Yüksek Fırın Prosesi [12]

Cevher, pelet, sinter gibi demir kaynağı malzemeler ile çakmak taşı, dolomit, kireç taşı, olivin gibi cüruf yapıcı malzemeler ve ısı kaynağı olan kok, fırının üst bölgesinden şarj edilirken; kömür, katran, fuel oil, doğal gaz gibi ısı kaynakları ise fırının alt bölgesinden verilir. Fırın üst bölgesinden şarj edilen malzemelerden sadece kok fırın alt bölgesine kadar katı ve akkor halinde iner [10]. Diğer malzemeler belirli aşamalar geçirerek fırın alt bölgesine sıvı olarak iner. Şekil 1.3.'te de bu yapı gösterilmektedir. Kokun yüksek fırında bir filtre gibi çalıştığı ve fırın içinde katmanlar oluşturduğu bu şekil üzerinde görülmektedir. Burada en alt kısımda sıvı maden, üstünde biriken cüruf tabakası, demir, demir oksit tabakaları görülmektedir. Oksijenden arınan demir

oksitler en dipte saf demir olarak birikir ve şekilde görülen döküm deliğinden boşaltılır.

Yüksek fırın yanma havası üfleyicisi (Blower) tarafından üretilen ve yüksek fırın sobalarında ısıtılarak sıcaklığı 1000-1250 °C' a kadar yükseltilecek hava, fırına tüyer (hava üfleme borusu) bölgesinden girer ve aşağıdaki reaksiyon meydana gelir:



Bu reaksiyondaki karbon, kok, kömür, katran, fuel oil, doğal gaz gibi ısı kaynaklarından sağlanırken; O₂ ısıtılmış blower havasından veya havaya karıştırılan saf oksijenden sağlanır.

Sıcak gaz (2000 – 2250 °C) fırın alt bölgesinden üst bölgesine hareket ederken cevher, pelet, sinter gibi demir kaynağı malzemeler ile çeşitli aşamalarda reaksiyona girerek bu malzemelerin demir içeriklerini diğer oksitlerden ayırmaktadır. Ayrılan demir ve birlikte çözünen diğer elementler, pik olarak adlandırılır ve sıvı halde fırın hazne bölgesinde birikir [12]. Hammaddelerin içerisinde bulunan kısım demir, dışındaki diğer oksitler ise cüruf olarak adlandırılır. Cüruf hazne bölgesinde sıvı pikin üzerinde sıvı halde birikir.

1.4. Batarya ve Fırın Yapısı

Batarya; Kok fırınlarının bir araya getirilmesinde oluşmaktadır. Bataryalar izolasyon duvarları ile başlar ve yine izolasyon duvarlarıyla tamamlanır. Bu odaların girdi çıktı alınan ve verilen noktaları olduğundan izolasyonun uygun olması oldukça önemli olduğu görülmüştür. Bu iki duvar arasında ise yanma kamarası diye belirtilen kısım bulunmaktadır.

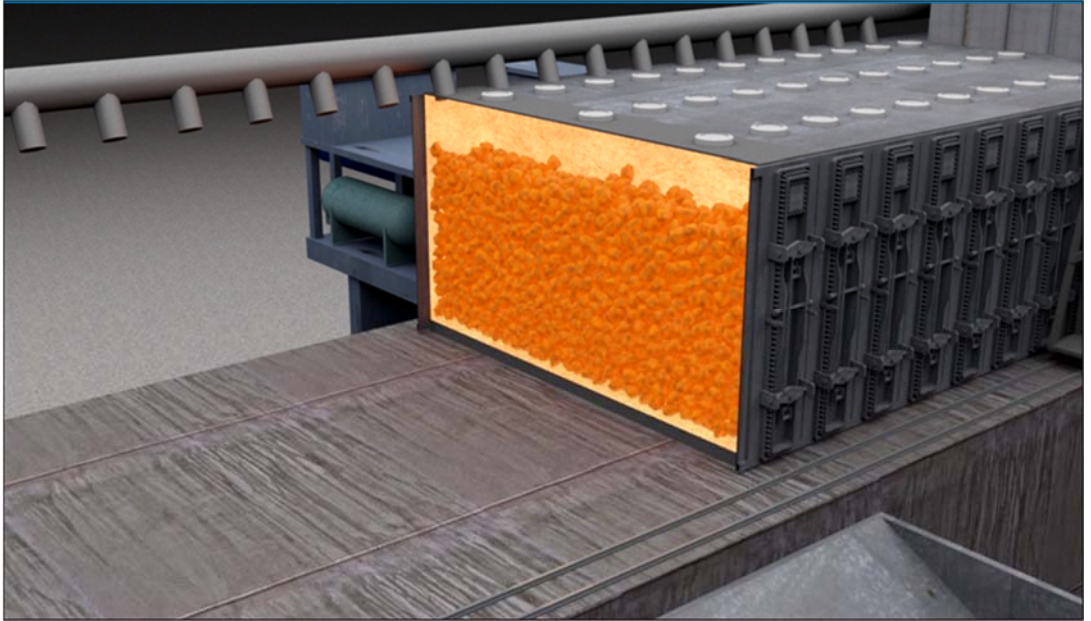
Yakıt gazlar yanma kamarasında yakılır. Ortaya çıkan ısı ile fırın duvarları ısıtılır. Bununla birlikte şarj edilen koklaşabilir kömür havasız ortama indirekt olarak şarj edilir.

Yanma kamaraları ve fırın yan duvarlarının tamamına yakın bir kısmı silika (SiO₂) içeren refrakter yapı ile çevrilidir. Üzerinde fırın kapı ağızları ve şarj ağızları bulunan dış izolasyon duvarları şamot tuğlalardan (ateşe dayanıklı refrakter tuğlalar)

yapılmıştır. Kok fırınları ince uzun yapıya sahiptir. Bu fırınların iki yanı Silika tuğlalardan oluşan duvarlarla çevrilidir.

Bu kamaralarda ısınma için yanan gaz kullanılır. Kullanılan yer ve ısıyı optimize etmek adına batarya şeklinde organize edilen bu yanma odalarında, kömürden çıkana uçucu maddeler ile ısınma gazı birbirine karışmaz. Bu ısıtma gazı aynı zamanda baca gazı olarak da tanımlanır.

Bu yüksek ısıda en çok dikkat edilecek konu ise kullanılan malzemedeki genleşme ve büzüşme durumları meydana gelir. Tuğla yapılarındaki genleşme ve büzüşmeden kaynaklanabilecek deformasyonu önlemek amacıyla her bir batarya üstten ve alttan 5,08 cm kalınlığındaki demir çubuklarla birbirine bağlıdır. Bu demir çubuklara tie-rod adı verilir. Bu rodlar boydan boya ve karşıdan karşıya iki şekilde de uzanır ve ön taraflarda bulunan yaylarla batarya refrakter yapıyı, belirli bir basınçta sarabilecek kadar sıkıştırmalıdır [5, 7, 8].



Şekil 1.4. Kok Fırınların Yüksek Sıcaklıkta Isıtılması [13]

Bek adı verilen dikdörtgenler prizması şeklinde yanma odalarında ısı fırına iletilir. Buradaki ana görev koklaşmanın gerçekleşmesi için kok fırın duvarlarından ısı iletimini sağlamaktır. Söz konusu duvarlar silika tuğlalardan oluşturulmuştur. Şekil 1.4. üzerinde yüksek sıcaklıktaki kok fırınının simülasyon şekli görülmektedir.

Fırında kullanılan refrakter yapının en önemli özelliği yük altında şekil değişimine karşı direnç göstermesidir. Aşınmaya gösterilen bu direnç 1000 °C 'ye kadar bu yapısını korurken, 1000 °C den yüksek değerler için bu özelliğini yitirmesine sebep olur [9]. Bu sıcaklık değerine kadar beklenen durum 3 MPa değerine dayanım sağlar, bu durumu cam fazına geçiş sağlar.

Refrakter yapı genel olarak, dışarıdan ısı geçişini minimuma indirirken, fırın içerisine ısı geçişinin sağlamaktır. Bu yapının ısı iletme katsayısı sıcaklık yükseldikçe artar ki bu durum proses için istenen bir özelliktir. Isıl gerilmelerin malzemenin dayanım noktalarını geçmemesi önemlidir. Diğer türlü malzemede kopma veya çatlaklar oluşacaktır. Bu durum yüzey ve merkezde oluşan sıcaklık farklarından dolayı oluşabilmektedir [11].

1.5. Koklaşma Yapısı

Şarj arabaları tarafından taşınan kömür, batarya duvarlarında bulunan şarj ağızlarından fırına yüklenir. Gaz, kömürlere yanma odalarından şarj edilir, burada amaç kömürü belirli bir sıcaklığa getirip koklaşmayı başlatmaktır. Söz konusu koklaşma havasız ortamda gerçekleştirilir.

İlk olarak kömürün içindeki su buharlaşır. Devamında kömürün içindeki tüm uçucu maddeler kaybolur ve kömür plastikleşmeye başlar. Kömürden çıkan uçucu gazlar dikey baca ve deveboynu kısımlarından geçer. Buradan sonra ana toplama bacasına ham gaz olarak nakledilmektedir.

Ham Benzol Gazı bataryalardan çıktığı şekilde kullanılamaz. Bu gaz bünyesinde; Katran, Naftalin, Amonyak ve Benzolünü almak için bir takım kimyasal işlemlerden geçirdikten sonra yakıt kok gazı olarak kullanılmak üzere sevk edilir. Kok Bataryası Tali Mahsuller kısmı, ham kok gazı bataryalardan Egzoster makineleri ile emip, belli fiziksel ve kimyasal işlemlerden temizlediği gazı, yakıt gazı olarak kullanılmak üzere ünitelere Buster makineleri ile sevk edilen birimdir. Bu işlemler sırasında Katran, Amonyum, Sülfat ve Ham Benzol gibi yan ürünler elde edilmektedir. Bu ürünler yurt dışı ve yurt içinde satılır.

Kömürün yumuşama sıcaklığı 400 °C 'dedir [9]. Daha yüksek sıcaklara çıkıldıkça kömür erir. Bu erime süreci sonunda kömür tek bir kitle halini alır. Kömür çerisindeki gaz kitleleri tek olan bu kömür kitlesini şişirecektir. Kömür ısıtılması sonucu belirli bir noktada gaz çıkışı durur. Bu durum sonucunda plastik halini alan kömürün sertleşmesi ve kok halini alması beklenir. Şekil 1.5.'te koklaşmış kömürün tesisten bir resmi görülmektedir.

Kömürün plastikliğinin kaybolduğu sıcaklık 500 °C 'dir [5]. Hacim genişlemesi duvara dik olarak gerçekleşirken, plastik bölge duvarın iç tarafında birleşmektedir. Bu birleşen hacimler fırının ortasında bir çizgi olarak gözlemlenir. Buradan da anlayabileceğimiz üzere, söz konusu koklaşma sıcaklığı ve yanma kamarası fırın sıcaklığı koklaşmaya direkt etki eder. Kömür içerisindeki nemin minimum seviyede olması koklaşma süresini hızlandıracaktır. Bunun yanında sarf edilen enerjinin de optimizasyonu konusuna etki edecektir.



Şekil 1.5. Koklaşmış Kömür

Fırın duvar kalınlığı bize ısı transferi için hesaplama yapmakta yardım ederken, fırın yüksekliği ise fırına şarj edilen ısının homojenliğinin sağlanması açısından önemli bir faktördür.

Tüm bu Kok Prosesini düşündüğümüzde kok Bataryalarındaki enerji sirkülasyonunu doğru tayin edebilmek için, istenilen üretim hacmine uygun tasarımın, en az malzeme yapısı kadar önemli bir faktör olduğunu görmekteyiz.

Metalürjik kokun fiziksel özellikleri içerisinde; kokun mukavemeti, stabilitesi, sıcak mukavemet (CSR-reaksiyondan sonra kok mukavemeti) ve kok reaktivite indeksi (CRI) değeri en önemli parametrelerdir. Kokun reaktivitesi; kok içerisindeki karbonun, hava, karbondioksit, oksijen ve buhar gibi tipik oksitleyici gazlarla reaksiyona girme hızı olarak tanımlanır [11].

En önemli kimyasal özellikler; nem, bağlı karbon, kül, sülfür, fosfor ve alkalilerdir. Bağlı karbon, kokun yakıt kısmıdır. Bağlı karbon ne kadar yüksek olursa, kokun termal değeri de o kadar yüksek olur. Nem, kül, fosfor, alkali gibi diğer komponentler; yüksek fırın operasyonu, sıcak maden kalitesi ve refrakter hattındaki enerji gereksinimlerine olumsuz etki yaptıklarından dolayı arzu edilmezler [14].

$$\text{Spesifik Enerji Tüketimi (SET)} = \frac{\text{Toplam Enerji Tüketimi (Mcal)}}{\text{Toplam Üretim (Ton)}} \quad (1.2)$$

1.6. Kok Gazı ve Emisyon

Kömür harmanlarının, yüksek sıcaklıkta koklaştırılmasıyla, kok ve kok gazı oluşur. Kok gazı bir gaz ve buhar bütünüdür. Kok gazı, maden kömürü harmanlarının kok kamaralarında, termik parçalanması sırasında oluşan ilk gaz ürünlerinin parçalanması ve oluşan bu gaz ürünlerinin daha farklı bileşikler oluşturacak şekilde yeniden birleşmeleri ile oluşur. Şarj edilen kömür harmanının yapısına göre kok gazının bileşiminde ve bileşenlerin oranlarında, ortam sıcaklığının yükselmesiyle değişiklikler olduğu gözlenir [7].

Koklaşma işleminin farklı etaplarında kamaralardan çıkan gaz ana gaz toplama borusuna gelir. Tablo 1.1. 'de bu gaz bileşenleri gösterilmiştir. Bu aşamada bileşimi sabitlendiğinden dolayı gazın yan ürünler bölümüne sürekli aynı bileşimde gönderilmesi sağlanmış olur. Yarı koklaşmış tabakadan ve plastik kömür tabakasından çıkan ilk uçucu ürünler, kamaranın sıcak tabanında ve yan duvarlarında termik etkiye

uğrarlar ve bunun sonucu olarak ilk ürünlerin parçalanması veya ikinci koklaşma işlemi ürünleri meydana gelir.

Tablo 1.1. Kok Gazı Bileşenleri [15]

Ölçü	Yüksek Fırın Gazı ⁽¹⁾		Kok Fırını Gazı		BOF Gazı	
	Sürekli ⁽²⁾	Süreksiz	Sürekli ⁽²⁾	Süreksiz	Sürekli ⁽²⁾	Süreksiz
H ₂	x		x		x	
CO	x		x		x	
CO ₂	x		x		x	
Hidrokarbonlar			x ⁽³⁾			
N (kimyasal bağ)			x ⁽³⁾			
Cl (toplam)	x ⁽³⁾					
S (toplam)	x ⁽³⁾		x ⁽³⁾		x ⁽³⁾	
Hg		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾		
Pb		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾
Cr		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾
Cd		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾
Ni		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾
F (toplam)		x ⁽⁴⁾				
Toz (toplam)		x ⁽¹⁾⁽⁵⁾		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾

(1) Limit değerler belirlenmemiş (06/2007 durumu)

(2) Sürekli ölçümler, onaylı ve piyasada bulunabilen aygıtlarla ölçülmesi gerekir. (06/2007 durumu)[26. Oberösterreichische Landesregierung 2004].

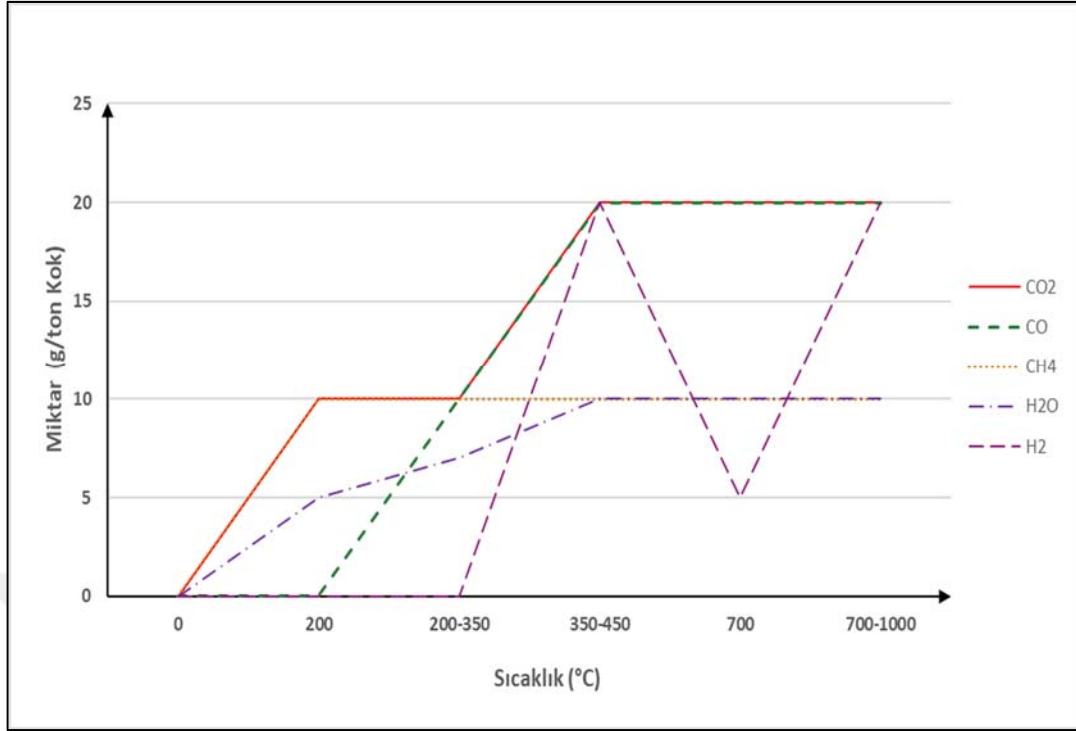
(3) 06/2007'e göre, Cl (toplam) ve N (kimyasal bağ) sürekli ölçümleri için alet bulunmuyordu. Hidrokarbonlar konusunda, CH₄ ve daha yüksek hidrokarbonlar süreksiz ölçülmüştür. S (toplam) sürekli ölçümleri hala değerlendirme altındadır. Süreksiz ölçümler için, aralıklar parametrelere göre belirlenmiştir, genellikle aylık olarak ; Voestalpine Stahl GmbH, Linz, Austria [26.Oberösterreichische Landesregierung 2004]

(4) Ağır metal içerikleri (Hg, Pb, Cr, Cd, Ni), toz ve florürler süreksiz ölçülmüştür, genellikle yılda dört kez olarak (06/2007 durumu)

(5) Bir BF de gerçekleştirilen plastik enjeksiyon vakasında toz sürekli ölçülmek zorundaydı. Muayeneler hala sürmekte.

Kaynak: [26.Oberösterreichische Landesregierung 2004][277, Wiesenberger 2007]

Koklaşma esnasında 200 °C'nin altında çıkan maddeler su buharı (H₂O), karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄)'dir. Bunların kömür molekülleri arasında absorbe edilmiş maddelerdir. 200-400 °C arasında su buharı, CO₂ ve CO çıkar. Bu sıcaklıkta kömür molekülleri parçalanmaya başlamıştır. Gaz halindeki madde miktarındaki ani bir şekilde artış 350-450 °C dolaylarında başlar. Bu sıcaklığa ilk kritik sıcaklık denir. Kok gazının hacimce %55-65'ini oluşturan hidrojen (H₂), 350 °C'de oluşmaya başlar. Fakat 700 °C'ye kadar miktarı azaldıktan sonra 700°C' den sonra miktarı sıcaklığa bağlı olarak artar. Şekil 1.6. üzerinde tesis üzerinden farklı sıcaklarda alınan kok gazı bileşenlerinin değişim oranları görülmektedir.



Şekil 1.6. Kok Bileşenleri Sıcaklığa Bağlı Oransal Değişim

Hidrojen miktarının büyük artış gösterdiği bu sıcaklığa ikinci kritik sıcaklık denir. Hidrojen, kömür moleküllerinin parçalanması sırasında oluşan ilk ürünlerden birisidir. Fakat aynı zamanda koklaşmanın ilk ürünlerinin hem parçalanması hem de sentezi sırasında açığa çıkar. Bu reaksiyonlar 700 °C'nin üstünde başladığı için bundan sonra oluşan hidrojen miktarında ani artış görülür. 700 °C'nin üzerinde parafinlerin düşük karbon içerikli olanları, aşağıdaki reaksiyonlarla parçalanma eğilimlidir.



Bu sırada ilk ürünlerin parçalanması ve birleşmesi reaksiyonları başlamıştır. Büyük moleküller parçalanırken küçük moleküllerin bir kısmı hidrokarbonlarla birleşerek daha büyük molekülleri oluştururlar. Fakat parçalanma birleşmeden daha hızlıdır ve sonuçta sıcaklık yükseldikçe uçucu madde içerisindeki küçük moleküllerin miktarı artar. 700 °C'nin üzerinde olefinler parafinlere benzer reaksiyonlarla bozulur.

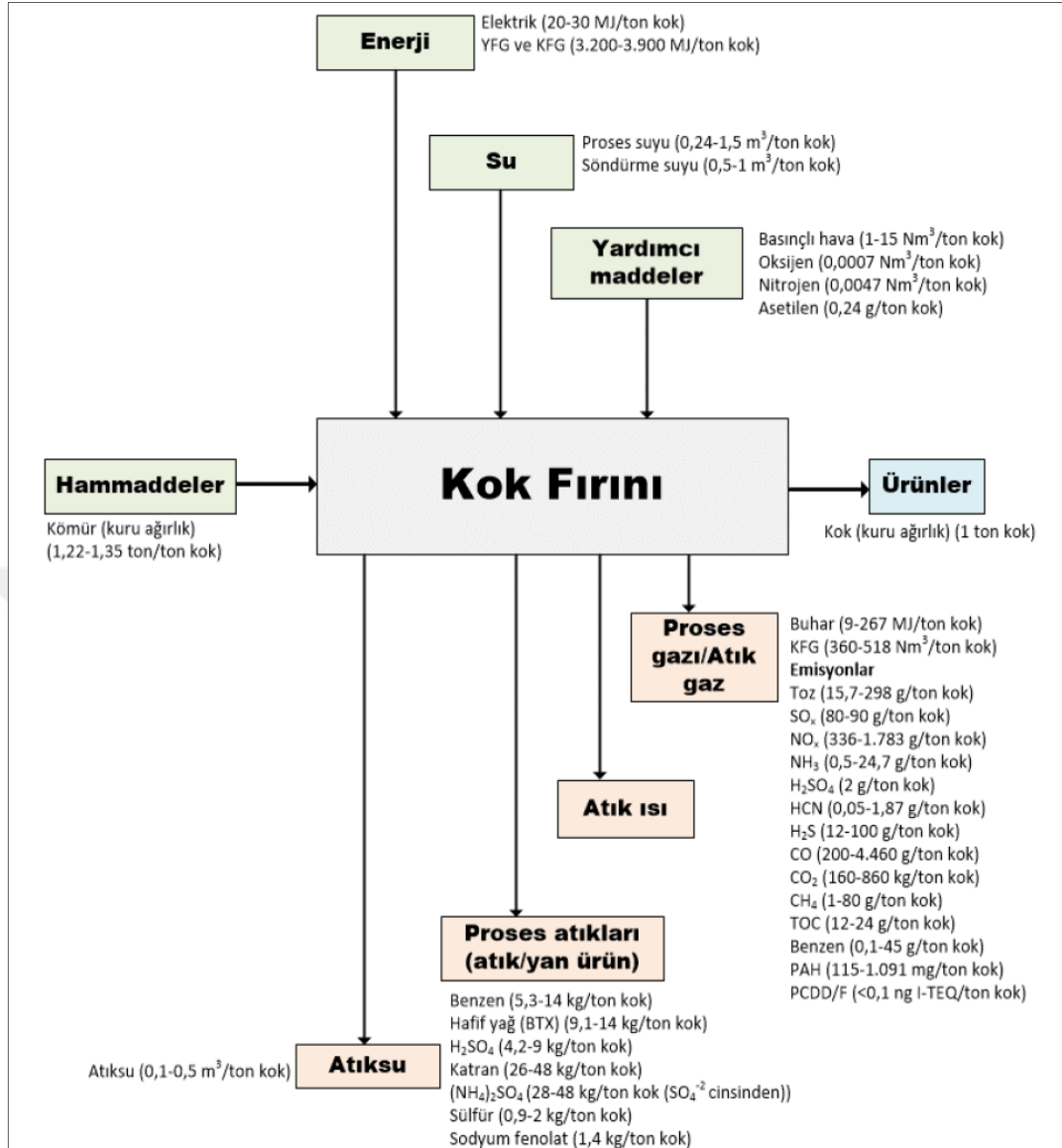


Koklaşma sıcaklığı yükseldikçe küçük moleküllü gazın veriminin artması buna karşı büyük moleküllü katran veriminin azalması parçalanma olayı ile açıklanabilir. Amonyak (NH₃) miktarı 700 °C' ye kadar artar. Bu sıcaklıktan sonra bileşenlerine ayrıldığı için azalır. Ham benzol miktarında 900 °C'ye kadar görülen artışı büyük moleküllülerin parçalanması ile anlatmak mümkündür. 900 °C'den sonra benzen halkaları birleşerek naftenleri (siklo bileşikleri) oluştururlar. Bu da ham benzol oluşumunu azaltır.

Kok gazı tüm bu işlemlerden sonra geri yakılmak üzere yanma odalarına verilir. Oluşan bu gazın yanma hızı ve yanma isteği ne kadar yüksek olursa geri kazanım o kadar fazla olacaktır. Kok Gazını daha yanıcı hale getirmek adına bileşenlerine farklı gazlar eklenmesi gibi alternatif çözüm yolları arayışı devam etmektedir [16]. Şekil 1.7. üzerinde de görüleceği gibi kok fırın prosesinde girdiler; kömür, enerji, su ve basınçlı hava gibi yardımcı maddelerdir. Bu girdiler bir araya gelerek ürün çıktısı olarak koku oluşturmaktadır.

“Iron and Steel Production Industrial Emissions Derivative 2010” Dokümanında belirtildiği üzere kok bataryalarında;

- Kok fırınlarını ateşleme sırasında 0,8 – 4,8 g/ton-kok,
- Kok fırını itme sırasında 0,9 g/ton-kok,
- Kok söndürme sırasında 10 – 50 g/ton-kok,
- Kok kırma sırasında 0,5 – 4,5 g/ton-kok toz oluşmaktadır.



Şekil 1.7. Kok Fırını Tesisi Kütle Akışı [17]

İtme Sırasında Oluşan Toz: Kok bataryalarında fırın itmeden önce kokun boşaltılacağı arabayı ve açılacak fırını kapatacak şekilde çatı ile örülü vakum yapan sistemler bulunmaktadır. Bu sayede emilen toz torba filtrelere ulaştırılmakta ve atmosfere atılan tozun emisyonu 1 mg/ton kokun altına indirilebilmektedir. Rusya, Kazakistan ve Ukrayna da bu sistemlerinin kurulduğu kok bataryaları mevcuttur.

Koklaşma Sırasında Oluşan Toz: Kok bataryalarında oluşan tozun bir kısmı fırın kapılarından sızan kok gazı ile batarya dışına çıkan tozdur. Fırın kapılarındaki boşluk 0,2 mm ve altında ise kömür şarj edildikten sonra yoğunlaşan katran buharı ile bu boşluklar kapanmaktadır. Eğer boşluk 0,5 – 1,0 mm arası ve daha fazla ise iç basınç

nedeni ile katran buharı yeterli olmamakta ve açıklıktan gaz, ısı ve toz fırından dışarı çıkmaktadır [15]. RDCIS and BSL firmaları ortaklığı ile geliştirilen kapılar fırın içindeki gazın yukarı çıkmasını kolaylaştırıcı ve kapının kapandığı yüzey ile kapı arasında esnek tıkama işlemi için farklı yönlerde hareketi mümkün kılan kapılardır. Bu sayede kapılardan sızan gaz ve tozun önüne geçilebilmektedir.

Kok Söndürme İşlemi Sırasında Oluşan Toz: Sıcak kok ile soğuk suyun teması sırasında kok yüzeyinde partiküllerin kopmasına neden olan termal şok oluşmaktadır. Isınan su buharlaşarak atmosfere kok tozunu yükseltmektedir. Kok tozunun atmosfere yükselmesini engellemek için yükselen buharın soğutulmasını sağlayacak sprey sistemleri kurulabilmektedir.

Kokta beklenen kalite özellikleri Tablo 1.2. üzerinde tanımlanmıştır. Burada kokun ağırlığının maksimum %4'ü kadar nem olması istenmektedir. Ortalama istenen boyut 45-60 mm arasında olmasıdır. Stabilitenin %58, Reaktivitenin %61 olması istenir.

$$CRI = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (1.20)$$

A: Orijinal test ağırlığı

B: CO₂ Reaksiyon sonrası ağırlığı

$$CSR = \frac{C}{B} \times 100 \quad (1.21)$$

C: Tamburlanan 10 mm'lik malzemenin ağırlığı

B: CO₂ Reaksiyon sonrası ağırlığı

Tablo 1.2. Kok için İstenen Özellikler [7, 18]

Kimyasal (ağırlıkça, %)	Değer (%)
Nem (ağırlıkça, %)	6 maks.
Kül	9 maks.
Sülfür	0,8 maks.
Uçucu madde	1,5 maks.
Alkali (K ₂ O + Na ₂ O)	0,4 maks.
Fosfor	0,33 maks.

Tablo 1.2. (Devam) Kok için İstenen Özellikler [7, 18]

Fiziksel (ağırlıkça, %)	
Ortalama kok boyutu	45-60 (mm)
CRI	30 maks.
CSR (Stabilite)	61 min.

1.7. Kok Söndürme Teknolojileri ve Kömür Nem Kontrolü

Çelik üretimi yüksek enerji gerektiren bir prosestir. Bu enerjiyi minimum seviyede tutmak için kok nemini veya kok dayanımını istenilen seviyede tutabilmek gerekmektedir.

Çeşitli söndürme yöntemleri ile yüksek ısıdaki kok söndürülebilir. Bunlar; Kok Islak Söndürme (CWQ), Kok Stabilizer Söndürme (CSQ), Kok Kuru Söndürme (CDQ).

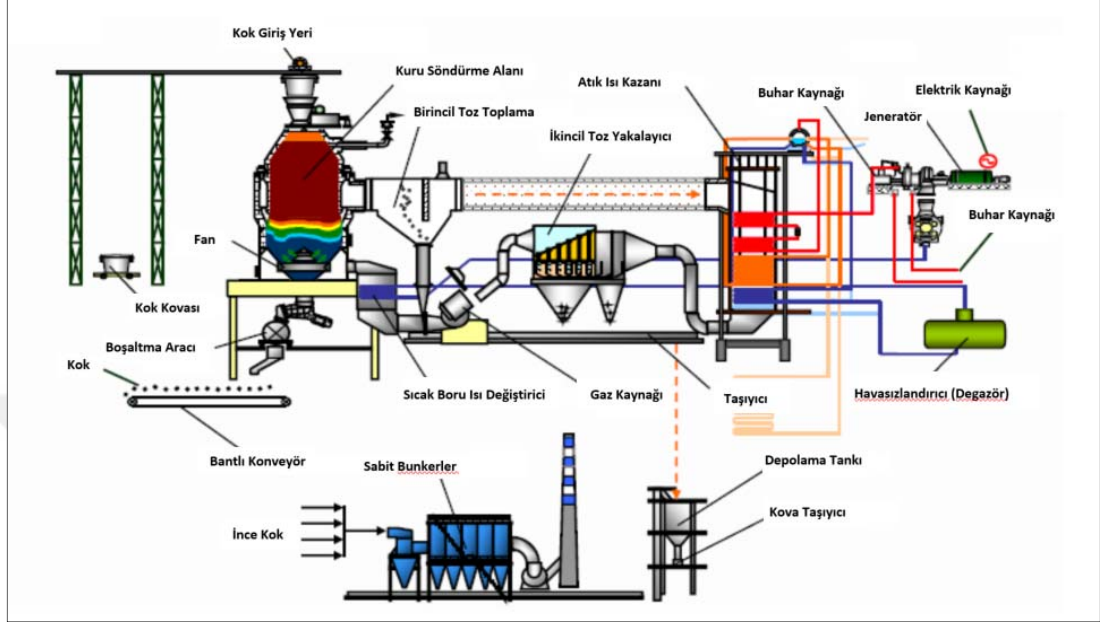
Kok Kuru Söndürme Sistemi Demir Çelik endüstrisinde en sık kullanılan söndürme teknolojisidir. Bataryalar içinde inert ortamda koklaşma gerçekleştirilir ve yüksek basınçlı buhar elde edilir. Mevcut tesiste ve literatür araştırmasında da görülebileceği gibi (Bölüm 1.11) bu yüksek basınçlı buhar elektrik üretiminde kullanılabilir.

Kok Islak Söndürme ve Kok Stabilizer Söndürme birbirine yakın teknolojilerdir. Islak söndürmede kok üzerine direkt su dökülmesi ile kok söndürülmektedir. Stabilizer Söndürme yapısında ise spreyleme metoduyla söndürme yapılır. Yapılan analizlerde bu söndürme tipinde CO₂ emisyonu ve ısı enerjisi kaybı tespit edilmiştir. Bunlar ile ilgili literatür araştırması bir sonraki alt bölümde (1.11.) anlatılmıştır.

Şarj edilen kömürün özelliklerine göre kok bataryaları işletme şartları etkilenmektedir. Şarj edilen kömürün nem içeriğindeki değişkenlik, bataryaların düzenli üretim yapmasını olumsuz etkilemektedir. Nemdeki değişkenlikle birlikte nemin fazla olması da bataryanın enerji tüketimini arttırmakta ve üretim kapasitesini düşürmektedir. Şarj edilen kömürün nem oranının değişken olmasından dolayı anlık enerji tüketiminin artması, kok kalitesinin homojen olmaması ve üretimde sapmaların olması gözlemlenebilmektedir. Kok bataryalarında üretimin düzenli olması ve şarj edilen kömürün neminin istenilen oranda sabitlenmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle kömür nem kontrol sistemi önemli olmaktadır [2].

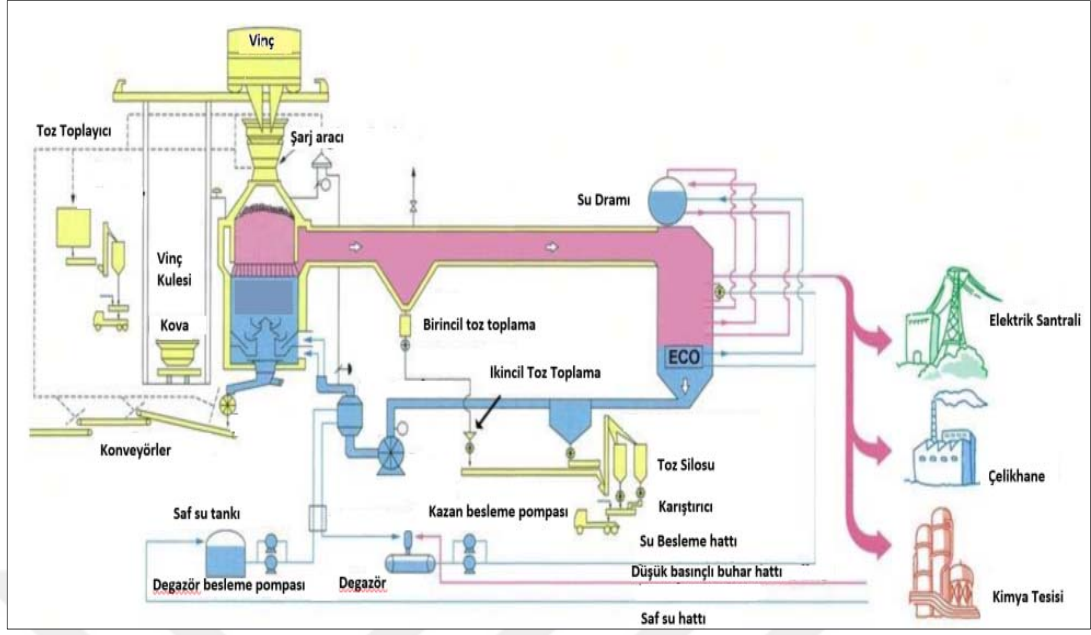
1.8. Kok Bataryaları Söndürme Tipleri

1.8.1. Kuru söndürme



Şekil 1.8. Kuru Söndürme Proses Akışı [19]

Kuru söndürme sistemlerinde kok, kamaralara alınmakta ve inert bir gaz ile boğularak söndürülmektedir. Şekil 1.8. üzerinde kuru söndürme prosesinin detayları görülmektedir. Bu proses kokun bir asansör yardımıyla üstten şarj edilmesiyle başlar. Şarj edilen kok içeride havasız ortamda ısı düşürülmesi ile soğutulur. Bu sistemde akkor kokun ısısı inert gaza geçmekte ve bu gaz daha sonra kapalı sistemde suya ısısını aktararak buhar üretimini sağlamaktadır. Bu su buharı ile elektrik üretimi yapılarak enerji geri kazanımı sağlanabilmektedir [20]. Ayrıca kuru olarak söndürülen kokun nemi olmamaktadır. Böylece Yüksek Fırınlarda yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir. Kok kuru söndürme tesisleri aynı zamanda birer atık ısı geri kazanım tesisleridir. Ayrıca söndürülen kokta nem oluşmamasından dolayı yüksek fırınlar tarafından tercih edilen bir söndürme yöntemidir.



Şekil 1.9. Kuru Söndürme Proses Akışı [15]

Kok kuru söndürme tesisleri, yaş söndürmeye göre ekonomik olmasına rağmen yatırım maliyeti bakımından yaş söndürme tesislerine göre daha yüksektir [21]. Şekil 1.9. üzerinde de görülebileceği gibi koktan elde edilen elektrik çok farklı proseslerde kullanılabilir. Bunlar Elektrik Santralinde depolamak veya Çelikhane Prosesine elektrik sağlamak olabilir. Yan ürün tesislerine de iletilir. Bir diğer önemli konu da gaza karışan nem içinde bulunan oksijeni gidermek üzere degazör (mekanik havasızlaştırma veya termik gaz alma) kullanılmasıdır. Bu sayede kok söndürme işlemi sırasında yeniden inert bir ortam elde edilebilmektedir.

1.8.2. Islak söndürme

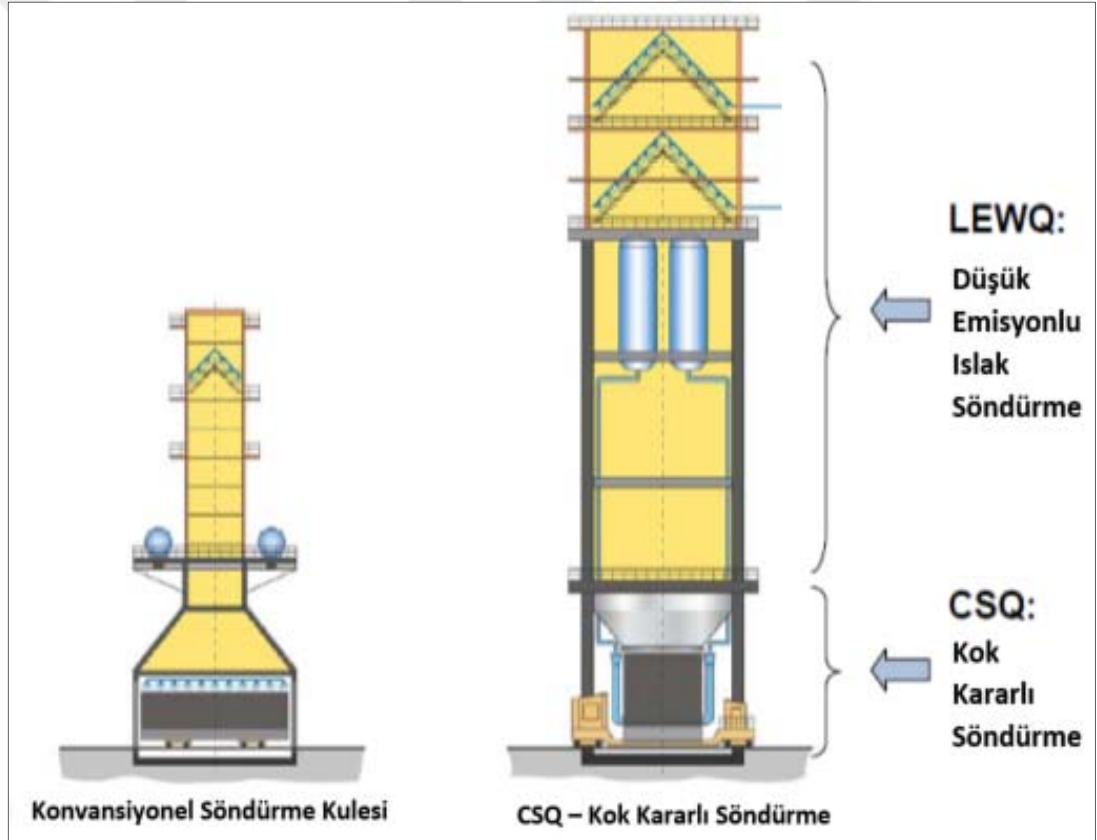
Yaş söndürme sistemlerinde ise üretimden çıkan kok üzerine su püskürtülerek söndürme işlemi yapılmaktadır. Bu şekilde söndürülen kok, nemli olarak yüksek fırınlara verilmektedir. Bu durum, yüksek fırınlarda kokun neminden dolayı yakıt tüketiminde artışa neden olmaktadır. Bununla beraber yatırım maliyeti bakımından kuru söndürme sistemlerine göre daha düşüktür [4].

Dünyada yaş söndürme sistemlerinde daha verimli söndürme yapılabilmesine yönelik gelişmeler devam etmektedir. Bu gelişmelerden bir tanesi de CSQ sistemidir. Bu sistemde, konvansiyonel tip yaş söndürme sisteminden farklı olarak özel söndürme arabaları kullanılmaktadır. Bu söndürme arabaları kendisinden motorlu olup

konvansiyonel tip söndürme sisteminde olduğu gibi lokomotife ihtiyaç bulunmamaktadır.

CSQ Söndürme Süreci:

- Söndürme esnasında suyun büyük kısmı tabandan verilmektedir. Böylece daha hızlı ve verimli söndürme yapılabilmektedir.
- Söndürme kulesi yaklaşık 70 metre uzunluğundadır. Toz bastırma bölümü iki bölümden oluşmakta olup toz emisyonu oldukça düşüktür.
- Toz bastırmada tutulan kok tozları da geri kazanılarak sinterde kullanılabilir.
- Her söndürmede 100 ton su 70 saniye süre ile kullanılmaktadır.
- Tesisin mümkün çalışma süresi 24 saat x 365 gün/yıl' dır [22].

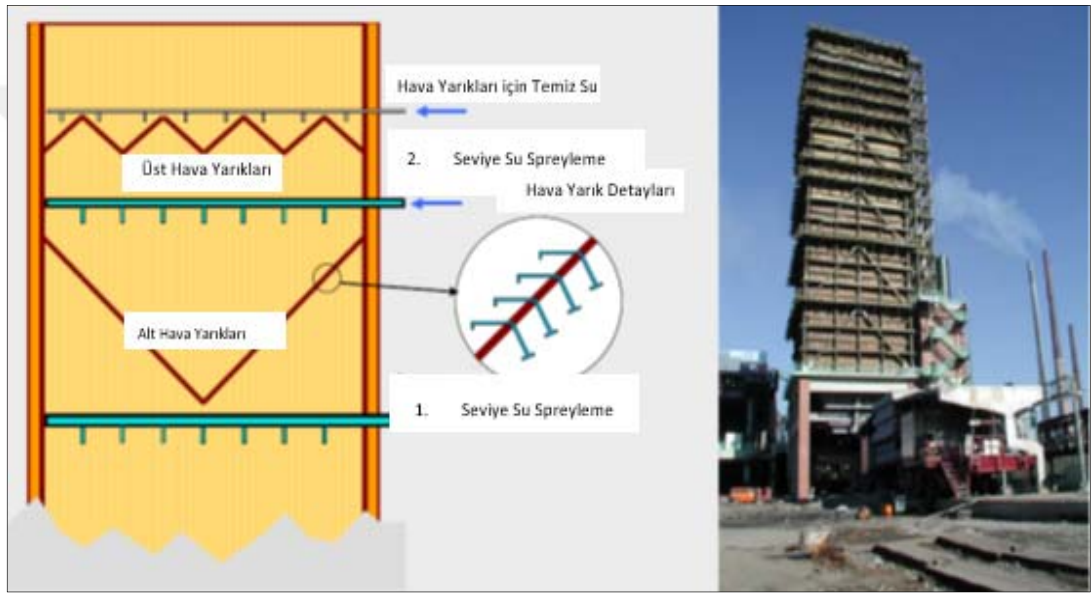


Şekil 1.10. CWQ ve CSQ Yaş Söndürme Sistemleri [22]

Islak Söndürme Sisteminde Kok Bataryalarında söndürme kulesinde su tankı bulunmaktadır. Su, pompalar ile basınçlandırılarak kullanılmaktadır.

Şekil 1.10. üzerinde de görüldüğü gibi söndürme için gerekli su önce tanklara basılmakta veya tanklardan yer çekimi ile araba içerisindeki kok üzerine

bırakılmaktadır. Bu esnada tankın ve bataryanın büyüklüğüne göre değişken miktarlarda su kullanılmaktadır. Söndürme süresi kullanılan su miktarı ve sisteme bağlı olarak değişmektedir. Bu işlem sonucunda kokun su içerisinde tamamen kalması sağlanmaktadır. Böylece akkor kokun su ve buhar ile boğularak daha verimli söndürülmesi, dolayısı ile kok neminin minimum seviyelerinde kalması sağlanmaktadır. Söndürme kulesinin raydan itibaren toplam uzunluğu değişmekle birlikte, bu yüksekliğin %90'ı baca kısmını oluşturmaktadır [22].



Şekil 1.11. Temsili Yaş Söndürme Toz Bastırma Sistemi [22]

Yaş söndürme bacasının yüksek olması daha hızlı su buharının emilmesini sağlamaktadır. Ayrıca daha temiz üretim yapabilmek adına bu tip tesislere toz bastırma sistemi yapılabilmektedir. Şekil 1.11. temsili bir toz bastırma sistemine aittir. Bu resimde 2 tane hava yarığı olduğu görülmektedir. Bu da aslında iki filtreleme sistemi ile minimum toz salınımı sağlanması içindir. Bunun yanında hava yarıklarında biriken tozu da temizlemek üzere en üst bölümde de bir spreyleme sistemi tasarlanmıştır. Şekil 1.12. üzerinde de tesis üzerinden alınan bir sulu söndürme kulesi resmi görülmektedir.



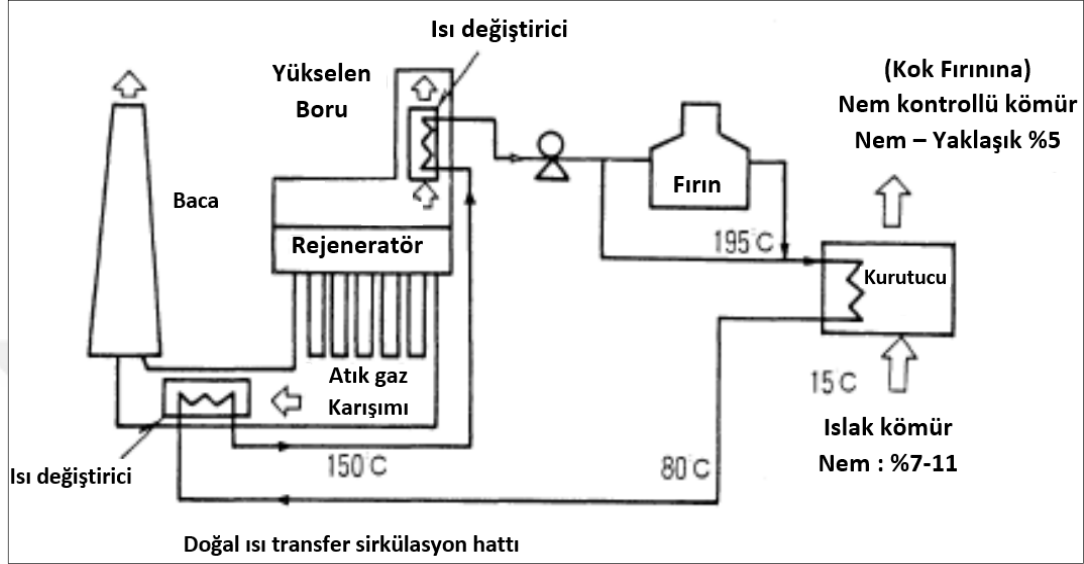
Şekil 1.12. Kok Bataryaları Yaş Söndürme



Şekil 1.13. Kok Bataryaları Yaş Söndürme Taşıyıcı Arabası

1.9. Kömür Nem Kontrolü (Coal Moisture Control –CMC)

Şekil 1.14. üzerinde kömür nem kontrol sisteminin süreç akışı gösterilmektedir. Bu akış üzerinde kurutucuda nemi azaltılan kömür sisteme şarjı yapılmaktadır.



Şekil 1.14. Kömür Nem Kontrol Sisteminin Süreç Akışı [2]

New Moisture Control System of Coal for Coking [2] çalışmasından alınan Nippon Steel Oita Works tesislerinde kullanılan kömür nem kontrol sistemi ekipmanların özellikleri:

1. Kömür nem seviyesinin %5 oranına düşürecek kapasitede ekipman planlanmıştır.
2. Kömür hazırlama tesisinden sonra bataryalara şarj edilecek olan kömürün tamamı kurutulabilecektir.
3. Atık ısı geri kazanımı ilk olarak yanan gazın atıldığı bacadan sonra fırınların tepesindeki sıcak kok gazı toplama borularından sağlanacaktır.
4. Kok bataryası atık gaz atma bacasında iki adet, kok gazı toplama borularında da 78 adet (her fırın için bir tane) ısı dengeleme sistemi (heat exchanger) gerekmektedir. Böylece 260 ton/saat kömürdeki ortalama %9 oranlarındaki nem %5 düzeylerine düşürülebilecektir. Ancak hava şartlarına bağlı olarak yağmurun yağması ile nem oranı ortalamanın üstüne çıkabilmektedir. Bu durumda atık ısı geri kazanımı ile elde edilen ısı enerjisi kömür nem oranını %5 seviyelerine indirmeye yetmeyebilmektedir. Bu nedenle kömür kurutma sisteminde ısıtma fırını da olmalıdır. Böylece nem sabit olarak %5 seviyesinde tutulabilecektir.

5. Kızılötesi nem ölçme cihazı ile sürekli kömür nemi kontrol altına alınmalıdır.
6. Alkyl diphenyl ısı transferinde kullanılmalıdır.
7. Kömür kurutma ünitesinin durması durumunda ısı taşıma sistemini soğutacak bir sisteme ihtiyaç bulunmaktadır. Sıcak kok gazı borularından ısı kazanımı için kurulan ısı dengeleme sisteminin boruları coaxial olmalı ve dıştaki boru ile ani sıcaklık artışlarında su soğutması yapılabilir.
8. Yanma gazından ısı kazanımı sistemi herhangi arıza durumunda yanma gazını bacaya by pas yapabilmelidir. Böylece yanma sistemi kömür kurutma sistemindeki olası arızadan olumsuz etkilenmeyecektir.

1.9.1. Isı tüketimine etkisi

Oita Works tesisleri bataryalarının operasyon verilerine göre %3,4 - 4,1 nem oranındaki azalmayla ısı tüketiminde 80-93 Mcal/ton-kömür kazanç gözlenmiştir. Teorik hesaplardaki kazanç 20 Mcal/ton-kömür den daha iyi sonuçlar elde edilebilmiştir.

1.9.2. Kok sertliğine etkisi

Her ay kömür harmanlama oranlarının değişmesinden dolayı kömür sertliğinin verileri ortalama değerler üzerinden incelenebilmiştir.

Kömür sertliği hesaplara göre %1,5 oranında artmıştır. Teorik hesaplara göre daha fazla kömür sertliği artmış olup bunun nedeni olarak fırınlara şarj edilen kömürün yoğunluğunun artması ve homojenliğin artması gösterilmektedir. Bunun yanı sıra kömür külü min. %2 azalmıştır.

1.9.3. Üretime etkisi

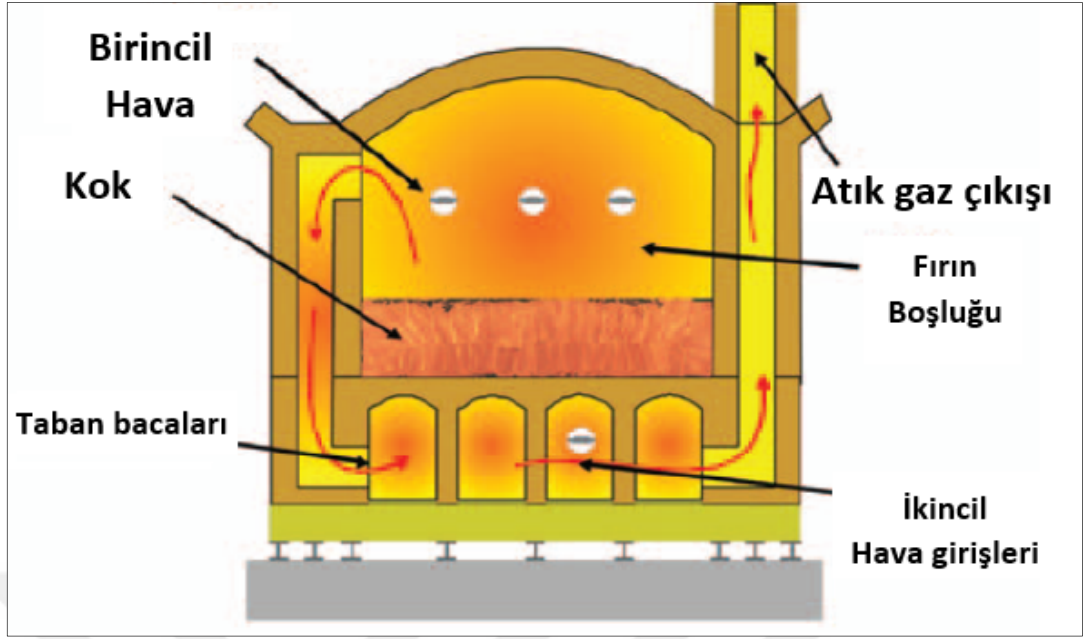
Üretim tonajı, fırın içerisindeki şarj edilen kömürün yoğunluğunun artması ve koklaşma süresinin düşmesi ile orantılı olarak artmıştır. Kömür nem oranının %9 dan %5 seviyelerine düşmesi ile fırın içerisine şarj edilen kömürün yoğunluğu %6,9 artmış, koklaşma süresi %3,7 azalmıştır. Üretim tonajı da %11 artmıştır. Teorik hesaplara göre beklenen üretim artışının üzerine çıkmıştır.

1.9.4. Toz toplamaya ve kok yan ürünlere etkisi

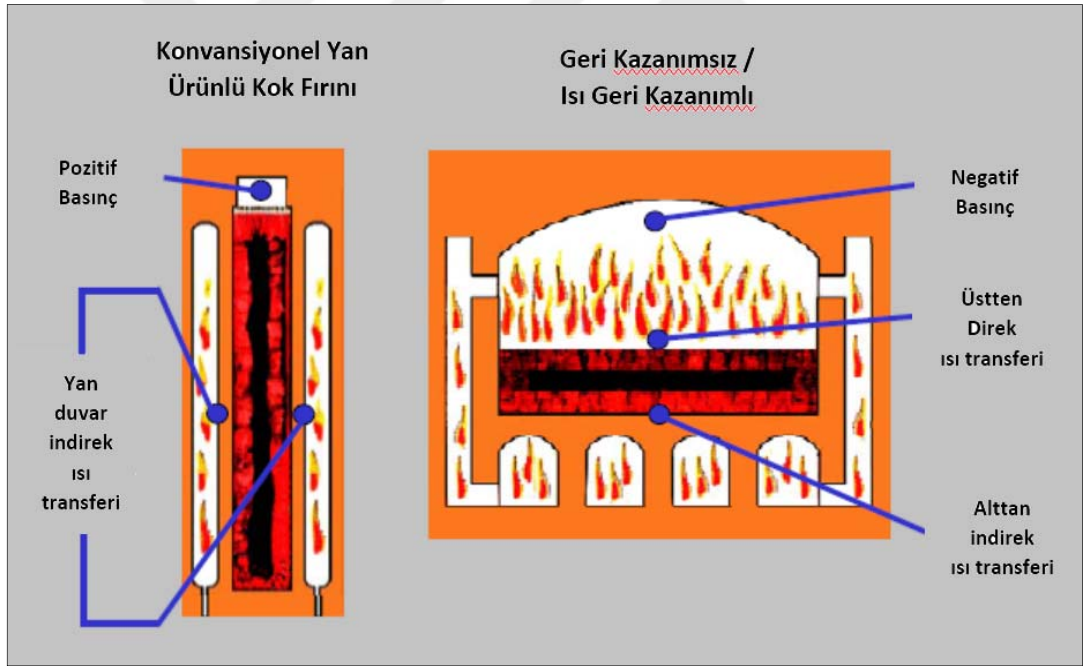
Kömür neminin azalması ile kömür şarj arabasında 3,5 kat ve fırın üstündeki borularda 1,5 kat toz artışı gözlemlenmiştir. Bu toz artışının koklaşmaya etkisi, daha sık toz toplama ünitesi ve boruların temizliği ile giderilmiştir. Aynı durum sıvı amonyak ayıran katran dekanterinde, birincil soğutucularda, vs. gözlemlenmiştir. Dekanter sıcaklığını arttırarak ve temizleme sıklığını arttırarak negatif etkiler azaltılmıştır. Biyolojik arıtma ünitesinde problem gözlemlenmemiştir.

1.10. Kömürün Şarj Yapısı

Dünyada iki farklı kok üretim yöntemine göre ham kok gazı değerlendirilebilmektedir. Bunlardan birincisi dikey tip kok fırınlarında yapılan üretim sonucu ham kok gazının yan ürünlerine ayrıştırılması yöntemidir. İsdemir'de de bu yöntemle kok üretilmektedir. Ham kok gazı önce temizlenerek içerdiği katran, ham benzol ve amonyaktan arındırılır. Katran ile ham benzol doğrudan depolanarak satılırken amonyak ise amonyum sülfat üretiminde kullanılarak değerlendirilmektedir. Bir diğer kok üretiminde ise yatay tip kok fırınları kullanılmaktadır. Bu fırınlarda üretim sonucu oluşan ham kok gazının tamamı atık ısı geri kazanım sisteminde yakılmaktadır. Yanma sonucu açığa çıkan ısının bir kısmı kok üretiminde kullanılırken kalanı ile buhar azanlarında elektrik üretilmektedir. Şekil 1.15. Yatay Tip Fırının görünümü gösterilmiştir. Burada ortama yanma için hava alınır. Üst kısımda birincil hava girişleri alt kısımda ise ikincil hava girişleri bulunur. Koklaşma sırasında ortaya çıkan gaz da atık gaz çıkışı kısmından alınır.



Şekil 1.15. Yatay Tip Fırın [23]



Şekil 1.16. Yatay ve Dikey Tip Fırın Yapısı [16]

Şekil 1.16. üzerinde dikey tip fırınlarda kok üretimi ile yatay tip fırınlarda kok üretimi arasındaki temel farklılıklar belirtilmektedir. Bu farklılıklardan ilki dikey tip fırınlarda kömürün ısıtılması indirekt olarak fırın duvarlarının ısıtılmasıyla olurken, yatay tip fırınlarda üstten direkt olarak ham kok gazının yanmasıyla ve alttan indirekt ısıtılarak

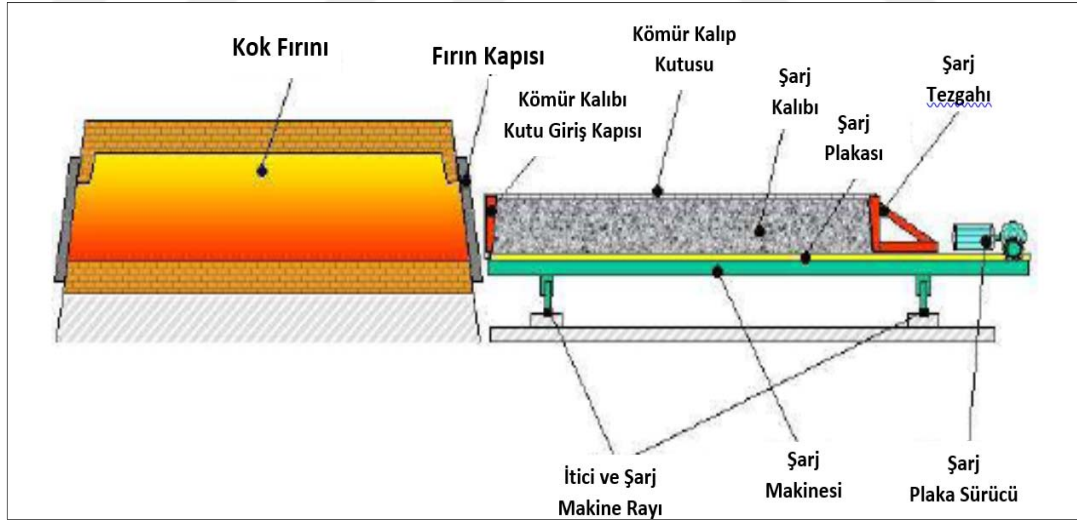
olmaktadır. Şekil üzerinden de görülebileceği gibi yatay tip fırında simetrik bir koklaşma çizgisi oluşmaz.

İkinci temel farklılık ise dikey tip fırınlarda şarj edilen kömüre pozitif basınç uygulanırken yatay tip fırınlarda koklaşan kömürün üzerinde negatif basınç (emiş) oluşmaktadır.

Atık ısı geri kazanımlı fırınlardan çıkan yanma havası buhar kazanlarına gider. Buhar kazanlarında üretilen yüksek basınçlı buhar ile elektrik üretilirken, soğuyan yanma havası kükürdünden temizlendikten sonra atmosfere salınır.

Kok bataryaları birbirinin ardı sıra dizilmiş olan bir grup fırından oluşmaktadır. Fırınlara geometrik tasarımına göre iki çeşittir. Bunlar, dikey fırınlar ve yatay fırınlardır. “Stamp Charge” yöntemi ile kok üretiminin sadece yatay tip fırınlarda yapılabildiği görülmektedir. Ayrıca yatay tip fırınlardan atık ısı geri kazanımının dikey tiplere göre daha yaygın uygulandığı belirtilmektedir.

1.10.1. “Stamp charge” yöntemi ile kok üretimi



Şekil 1.17. Kömür Şarj Makinası Parçaları [24]

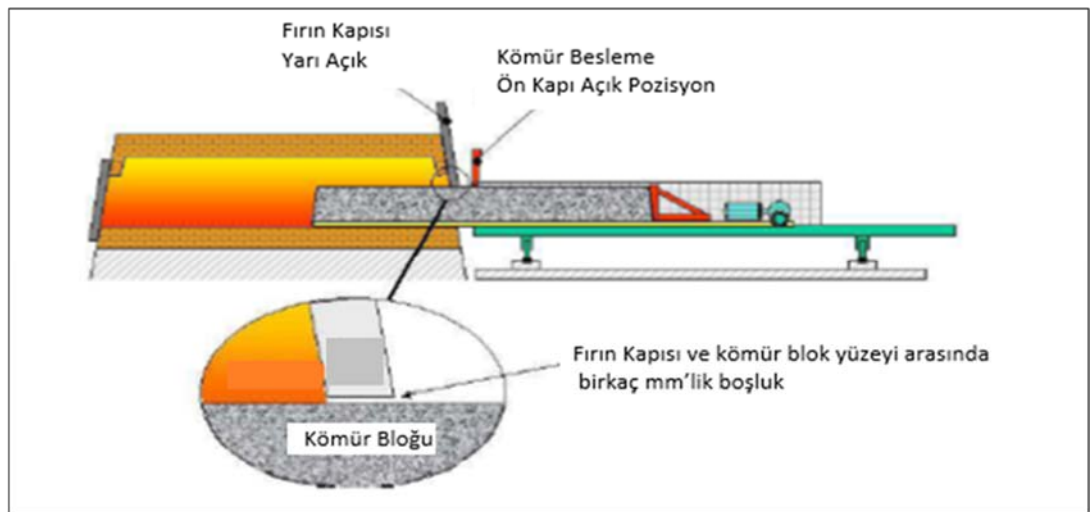
“Stamp Charge” yöntemi, Şekil 1.17.’de proses yapısı verilen, yatay tip kok fırınlarına şarj edilen harman kömürü arasındaki boşlukların çeşitli yöntemlerle minimuma indirilerek paket halinde şarj edilmesidir. Burada, şarj tezgahı, kalıp kutusu, sürücü

şarj plakası, şarj makinesi ve şarj kalıbı gibi bölümler vardır. Kömürü sıkıştırma yöntemi olarak dört çeşit yöntem belirtilmektedir. Bunlar;

1. Harman kömürünün şarj edilmeden önce çekiçlerle sıkıştırılması,
2. Harman kömürün şarj edilmeden önce üstten vibrasyon ile sıkıştırılması,
3. Harman kömürün şarj edilmeden önce alttan vibrasyon ile sıkıştırılması,
4. Harman kömürün şarj edilmeden önce hidrolik kollara bağlı plakalar arasında sıkıştırılmasıdır.

Şarj edilen kömürün sıkıştırılması ile yığın yoğunluğu artırılmaktadır. Sıkıştırılan kömürün yoğunluğu 1,08 – 1,20 ton/m³ aralığında olacağı araştırmalarda belirtilmektedir. Şekil 1.18. üzerinde Hindistanlı SESA firmasına ait alttan ve üstten vibrasyonla sıkıştırılmalı kömür şarj sisteminin resimleri verilmektedir.

Sıkıştırılarak şarj edilen harman kömürü sayesinde işletme giderlerinin yaklaşık 4 USD/ton düşüğü, harmanda kullanılan semi-soft kömür miktarının %60 seviyelerine çıkartılabildiği ve kömür harmanına kok tozunun karıştırılarak tekrar kok üretim sürecine dâhil edilebildiği SESA firması tarafından belirtilmektedir. Tüm bunlara ilaveten çevresel açıdan daha az emisyon salınımı yapıldığı için daha çevreci üretimin yapılabildiği belirtilmektedir [25]. Yatay tip fırında yapılan şarj işleminde Fırın Kapısı ve kömür blok yüzeyi arasında birkaç mm'lik boşluk olduğu görülmektedir. Bu boşluk şarj sırasında kapının aşınmamasını sağlar.



Şekil 1.18. Kömür Şarj Esnasındaki Durum [24]

1.11. Literatür Araştırması

Chinmoy Samajdar tarafından düzenlenen “Reduction in Specific Energy Consumption in Steel Industry – with special reference to Indian steel industry” çalışmasında bir Entegre Demir Çelik tesisinde enerji tüketimlerinin nasıl dağıldığı ve nerelerde enerji tasarrufu için çalışılabileceğine dair fikir vermektedir. Bu çalışmada enerjinin ortalama % 30'luk kısmının Yüksek Fırında harcanması ve %10'luk kısmının ise Kok üretiminde harcanması çalışılmakta olan konunun önemini tekrar göstermektedir [1].

Cüneyt Uslu'nun “Demir Çelik Sektöründe Kok Kuru Söndürme Sistemlerinin Tekno-Ekonomik ve Çevresel Analizi” çalışması enerji hesaplarının yapıldığı bir çalışmadır. Bu anlamda Kok Kuru Söndürme her yönüyle irdelenmiştir. Bunun yanında üretilen kok kalitesinin iyileştirilmesiyle, Yüksek Fırınlardaki kok kullanımı ve prosesin ısıl dengesi düşünülmüş ve Islak kuru söndürme sistemine göre Kuru söndürme sistemi daha avantajlı bulunmuştur [4].

Benzer çalışmalar araştırıldığında bulunan çalışmalardan biri olan Hasan Basri Poyraz'ın “Kok Bataryalarının Devreye Alınması, İşletilmesi ve Ekonomik Ömrünün Araştırılması” isimli bildirisinde Kok Bataryalarının kullanım ömürlerinin arttırılması ve temel prosesi üzerine pek çok konu üzerine çalışıldığı görülmüştür. Bildiride Kok Bataryalarında kullanılmakta olan refrakterler, bataryaların uzun ömürlü, çevre dostu ve sağlıklı bir şekilde işletilebilmesi için dikkat edilmesi gereken en önemli konunun malzeme olduğu, Refrakter yapının bozulmadan korunması ısı kayıplarının önlenmesi gerektiği ve tüketilen enerjilerin üretim maliyetlerini doğrudan etkilediğinin belirtildiği görülmüştür. Çalışmada batarya bacasından atılmakta olan gazların çevreye zarar vermesi de dikkate alınmıştır. [5].

Abdurrahman Mesud Çakır'ın “Kok Fırın Gazı Prosesleri ve Ek Tesisleri” çalışmasında ise; çıkan gazın kullanılmasıyla tesis verimliliğinin nasıl artırılacağı incelenmiştir. Geleneksel kok bataryalarının artan enerji ihtiyacını karşılamak için yeni oluşum olarak kok bataryalarından çıkan 800 °C deki ham kok gazının direkt olarak yakılması ile enerji üretilmektedir. Bu çalışmada, ham kok gazının direkt olarak

yakılmasıyla, kok bataryalarından çıkan ham kok gazını arıtmak için kurulan fabrikaların ve sistemlerin ortadan kalkacağı tespit edilmiştir [7].

Mevlüt Kemal, Vedat Arslan, Hakan Cengizler'in "Kömür Karışımlarının Koklaştırılmasında Bileşenler Arası Etkileşimler" çalışmasında ise Kok Bataryalarına giren bileşenlerin nasıl bir karışım olarak girmesi gerektiği araştırılmıştır. Bu çalışma kömür harmanı nem oranı ve kömür şarj yapısı incelenirken kömürden harmanından beklenen özellikler açısından çalışmaya veri sağlamıştır [9].

Murat Odabaş'ın tez çalışması olan "Yüksek Fırınlarda Enerji Verimliliğinin İncelenmesi" ise enerjiyi yoğun olarak tüketen entegre demir çelik tesislerindeki yüksek fırınlarda enerji tasarrufu olanakları araştırmıştır. Ayrıca yüksek fırın enerji dengesi hesapları sonucunda kok tüketiminin 400 kg altına inebileceği görülmüş, teorik hesaplamalar ile gösterilmiştir. Enerji verimliliğini arttırmak için ise prosesin ana kalemi olan kok oranının düşürülmesi ön plana çıkmıştır. Bu çalışmaya konu olan Kok Bataryalarının çıkan Kokun kalitesi ve kullanım oranını etkilemesi sebebiyle kritik olduğu görülmektedir [12].

Buster R. Thompson tarafından hazırlanan "Method of Operation of High Speed Coke Oven Battery" çalışmasında ise prosesi hızlandırmak için kullanılacak alternatif yöntemler araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda proseste ve tasarım üzerinde yeni tasarım arayışına girilmiştir. Burada kullanılan batarya tipinin yatay olduğu ve yatay bataryanın dikeye göre sağladığı avantajlara dikkat çekilmiştir [16].

Marcelo Risso Errera ve Luiz Fernando Milanez'in "Thermodynamic analysis of a coke dry quenching unit" makalesinde Kok Kuru Söndürmenin normal çalışma koşullarında Kokun termal değişimi, entalpi, ekserji ve kimyasal ekserji gibi yöntemlerle hesaplanmıştır. Kimyasal reaksiyon sonrası kok kütleindeki azalma incelenmiştir. Bunun yanında Kuru Söndürmenin alternatifi olan ve hala Dünyada sıkça kullanılan Kok Yaş Söndürme üzerine de incelemeler yapılarak, termodinamik analizler üzerinden bir karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda ise Kok Yaş Söndürmenin proses ve çevre açısından daha ekonomik olduğu görülmüştür. Ancak verimlilik ve atık ısı geri kazanımı açısından bakıldığında Kok Kuru Söndürmenin daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Benzer karşılaştırmalar yapılması açısından bu

makale yapılan bu tez için önemli referanslardan biridir. Çalışmada termodinamik olarak kaybolan enerji incelenirken, bu tez çalışmada sistemlerin ekonomiklikleri, çevre etkileri, işçilik maliyetleri gibi farklı incelemeler yapılmıştır. Bununla birlikte farklı iki teknolojinin; Kömür Nem Kontrolü ve Kok Şarj Yapısı, teze konu olması bu araştırmayı mevcut karşılaştırmalardan farklı kılan özelliklerdendir [20].

Debjani Nag, Bidyut Das ve arkadaşları tarafından “Methodology to Improve the Mean Size of Coke for Stamp Charge Battery” makalesinde ise kokun boyutunun (30-40 mm arasında) kok üretimine ve kalitesine olan etkileri incelenmiştir. Piroliz çalışmasının kokun boyutuna etkisinin belirgin olduğu tespit edilmiştir. Kokun boyutunu etkileyen faktörler arasında söndürme ve karbonize işlemi olduğu anlaşılmış ve çalışmanın bu yönlerde kuvvetlendirilmesine sebep olmuştur [25].

Bunun yanında Ergün Uşengül’ün “Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları Kok Fabrikası Batarya Fırınlarına Ekserji Analizi Uygulaması” isimli çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada ise; kok kuru söndürme tesisi olarak tabir edilen ve üretilen kokun su ile soğutma yerine azot gazı kullanarak soğutulması prosesini içeren tesisin bu işletmede de uygulanması kayıp ekserjinin geri dönüşümü açısından önem arz ettiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Çıkan enerjinin elektrik üretiminde kullanılması önerilmiştir [26].

Jacek Smolka, Lukask Slupik ve arkadaşları tarafından yapılan “CFD Analysis of the thermal behaviour of heating walls in a coke oven battery” çalışmasında ise koklaşma esnasında yanma fırınlarından gelen ısı ve bu ısının korunma yolları araştırılmıştır. Söz konusu makalede fırının duvarlarındaki yüzey sıcaklığı ile iç taraflardaki sıcaklıkların aynı olmadığı görülmüştür. Bunun yanında oluşan gazın tahliyesinin ortamdaki atılması sırasında valf kullanılarak, içerisinin ısı kaybının minimize edilebileceği görülmüştür [27]. Bu çalışma duvar tasarımını incelerken ısıyı koruma ile ilgili neler yapılabileceğine dair fikir vermiştir.

John Gordon Price’ın “Process for Cooling of Coke” çalışmasıyla proses detaylı olarak incelenmiştir. Koku soğutmak için kullanılan ıslak ve kuru söndürme prosesleri detaylı çizimlerle anlatılmıştır. Burada yine koklaşma işleminde kömürdeki nemin minimize edilmesi gerektiği çıkarımı yapılmıştır [28].

Aziz Özer'in "Kok Kırıcı Merdanelerinin İyileştirilmesi ve Ömrünün Arttırılması" tez çalışmasında ise; özellikle 0-3 mm kok boyutu gerektiren tesisler için kok kırıcı merdanelerin küresel grafitli olmasının maliyeti düşüreceği sonucu ortaya çıkmıştır. Bu proses incelenerek istenilen kok boyutu ve uygun tasarım yapısı incelenmiştir [29].

Kai Sun, Chen-Ting Tseng ve diğerlerinin "Model predictive control for improving waste heat recovery in coke dry quenching processes" çalışmasında kok fırınlarına şarj edilen nemli kömür şarjının düzensiz kok prosesine olan etki ve sonuçları deneysel yöntemlerle incelenmiştir. Düzensiz plastikleşme katmanları tespit edilmiş ve koklaşma esnasında çıkan gazın buharlaşan kondens suyu olduğu tespit edilmiştir. Ortaya çıkan bu buharın içerideki ısıyı düşürdüğünden karbonlaşmayı, dolayısıyla koklaşmayı geciktiren bir etki oluşturduğu tespit edilmiştir [30].

Xin Liu ve Zengwei Yuan'nın "Life cycle environmental performance of by-product coke production in China" çalışmasında benzer şekilde Sulu ve Kuru Söndürmedeki çevresel etkileri ve enerji verimliliğine olan etkileri irdelenmiştir. Özellikle büyük işletmelerde koktaki nem kontrolünün önemi vurgulanmıştır. Bu anlamda Kuru Söndürmenin Çin Endüstrisinde sağladığı Enerji ve Çevre verimliliği sebebiyle daha çok yer aldığı belirlenmiştir [31].

Steel Acedemy tarafından yayınlanan "Coke Quenching" çalışması Kok Söndürme tipleri arasındaki enerji kullanımını inceleyen bir seminer çalışmasıdır. Koklaşma için ihtiyaç duyulan ısı ve söndürme çalışmaları sırasında kaybedilen enerji araştırılmıştır. Sonuç olarak Kok Kuru Söndürme ile Stabilizer Söndürme karşılaştırılmıştır. Yapılan araştırma bu tezin önemli referanslarından biridir. Koktaki nemin önemi bu çalışmada da ortaya koyulmuş ve Yüksek Fırında daha az enerji harcanması açısından avantajlı olan sistemin Kok Kuru Söndürme olduğu, ancak Satbilizer söndürmenin ilk yatırım maliyetinin daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir [32].

Shiyue Qin ve Shiyan Chang'ın "Modeling, thermodynamic and techno-economic analysis of coke production process with waste heat recovery" Kok Kuru Söndürme ve Yaş Söndürme üzerinden atık ısı geri kazanımları hesaplanmıştır. Ortaya çıkan basınçlı buharın geri dönüşümünün Kuru Söndürme teknolojisinde elektrik enerjisi olarak geri kazanım sağladığı görülmüştür. CO₂ salınımı incelendiğinde de elektrik

geri kazanımları da dikkate alındığında toplamda Kuru Söndürme teknolojisinin CO₂ salınımının daha düşük olduğu görülmüştür. Makale söz konusu çalışmaya önemli referanslardan biri olup, bu tezi destekler niteliktedir [33].

Lan-yi Sun, Yong-duo Liu, Cheng Zhai, Hui Zhou tarafından “Process Simulation of an Integrated Coke Dry Quenching Combined Gasification” makalesinde Kok Kuru Söndürme sisteminde gaz oluşumu ve bunun geri kazanımı hakkında incelemeyi içermektedir. Oluşan gazın ekserji değişime etkisi analiz edilmiştir [34].

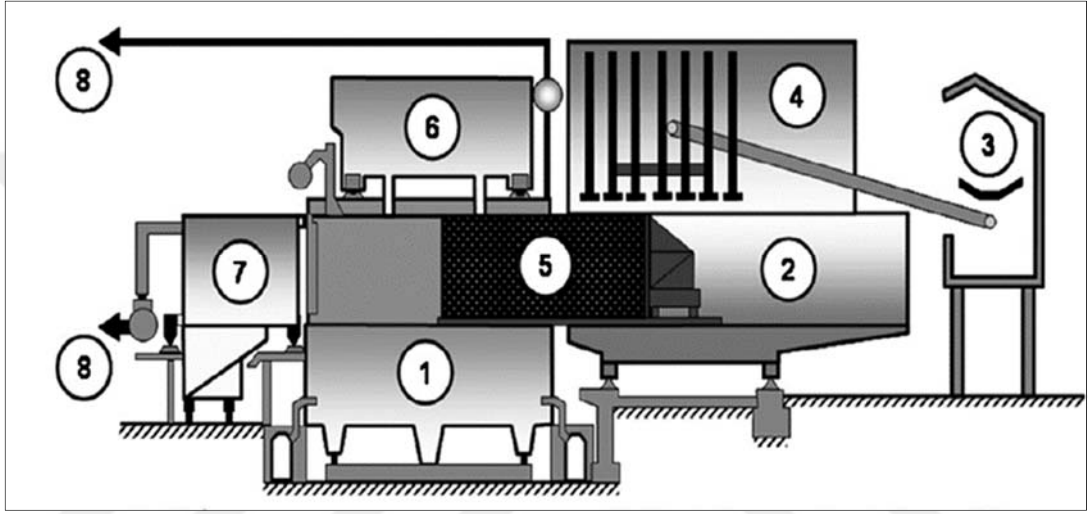
M.A. Dí'ez, R. Alvarez, C. Barriocanal tarafından hazırlanan “Coal for metallurgical coke production: predictions of coke quality and future requirements for cokemaking” çalışmasında atık ısı geri kazanımlı sistem ile normal kok üretim prosesleri arasındaki farklılık incelenmiştir. Farklı parametrelerin kok kalitesine etkileri ve kokun reaktivite ve dayanım özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu tezin de bir parçası olan atık ısı geri kazanımı için referans oluşturmuştur [35].

Arcelor Mittal firması tarafından yayınlanan “Coking Coal” bildirisinde koklaşabilir kömürün özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada da Kok dayanımının reaktiviteye direkt etkisi olduğu görülmektedir. Kok dayanımının da koklaşabilir kömürün özellikleri ve proses koşullarından etkilendiği görülmektedir. Bu teze de konu olan kömür nem oranının da çalışma parametreleri arasında kritik öneme sahip olduğu görülmektedir [36].

Shivanandan Indimath, Rajendran Shunmugasundaram ve diğerlerinin hazırladığı “Ultrasonic technique for online measurement of bulk density of stampcharge coal cakes in coke plants” çalışmasında koklaşma operasyonu sırasında daha az enerji harcamak ve daha kaliteli kok elde etmek için kömürün sıkıştırılarak şarj edilmesi incelenmiştir. Burada sürekli aynı kok kalitesini korumak için sıkıştırma sırasında kömür yoğunluğunu ölçerek bir seviyede tutmak ve bunun sonuçları incelenmiştir [37].

Anders Sand, Jan Rosenkranz, Halit Z. Kuyumcu'nun “Modelling and simulation of stamp-charged coke making by 2-D discrete element method” çalışmasında yüksek kalite kok üretimi için sabit kömür yoğunluğu ile şarjın önemi üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmada kömür sıkıştırma modellenerek bu uygulamaya göre simülasyonlarla kok

özellikleri incelenmiştir. Bu aynı zamanda fiziksel olarak da test edilerek programdan alınan sonuçlarla fiziki sonuçlar karşılaştırılmıştır [38]. Şekil 1.19. üzerinde de bu makalede yapılan sıkıştırarak şarj eden bir tesisin bölümleri tanıtılmıştır. 1. Kısımda kok fırını, 2. Kısımda sıkıştırarak itme sağlayan makine, 3. Kısımda kömür harman sağlayıcı, 4. Kısımda sıkıştırma makinesi, 5. Kısımda sıkışmış kömür bloğu, 6. Kısımda gaz temizleme ünitesi, 7. Kısımda kok transferini sağlayan taşıyıcı araba, 8. Kısımda filtreleme sistemi bulunmaktadır.



Şekil 1.19. Stamp Şarj Tesis Bölümleri [38]

Halit Z. Kuyumcu ve Sven Sander tarafından yapılan “Stamped and pressed coal cakes for carbonisation in by-product and heat-recovery coke ovens” çalışmada farklı yoğunluklarda sıkıştırılan kömür girişine göre kok dayanım ve kesme testleri uygulanmıştır. Bu uygulamalar sonucunda kok dayanımı ile kömür sıkıştırılması arasında doğru orantı olduğu tespit edilmiştir [39].

Seiji Nomura, Takashi Arima ve Kenji Kato'nun yaptığı “Coal blending theory for dry coal charging process” çalışmasında ise; koklaşma basıncını kontrol altında tutmak ve yüksek kalitede kok üretmek için kuru kömürün girdi olarak kullanılması incelenmiştir. Çalışma esnasında girdi harman yoğunluğu ile kok basıncı arasındaki ilişki ve kok kalitesi hem fiziksel ölçümlerle hem de teorik hesaplamalarla desteklenmiştir. Sonuç olarak düşük kaliteli kömürün kekleştirilmesi (neminin alınması, termal parçalanma sonucu yapışan ve yoğunlaşan yapı) sonucunda girdi

harmanına dahil edilmesi halinde girdinin genişleme oranını belirli bir seviyede tutarak daha yüksek kalitede kok üretimine yardımcı olduğu görülmüştür [40].

Tüm bu araştırmalar Kok Batarya tasarım ve teknolojiyle farklı araştırmalar olduğunu göstermektedir. Bu çalışmaların karşılaştırılarak bir tesis için uygun teknoloji seçimini destekleyen bir konsolidasyon bulunmamaktadır. Bunun yanında Kokun Nem Oranı, Kömürün Nem Oranı ve Kömürün şarj yapısı gibi farklı teknoloji seçimlerinin irdelendiği bir çalışma da bulunmamaktadır. Literatüre bu konuda yeni bir inceleme sağlamak amacıyla farklı parametrelerle Kok Bataryalarının hem teorik hem pratik uygulama sonucu enerji verimliliğini incelemek üzere bu çalışma yapılmıştır. Söndürme Yapıları, şarj Tipi ve Atık Isı Kazanımı temel başlıklar olmak üzere tesis ekonomikliği incelenmiştir. Bunun yanında bu parametrelerin gerektirdiği teknolojilerin tesislere sağlayabileceği avantaj ve dezavantajlar karşılaştırılmamıştır. Bu alışma tüm bu konuların irdelenmesi ve değerlendirilmesini içermektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma yapılırken literatür araştırması ardından teorik ve pratik değerler incelenerek kok söndürme sistemleri karşılaştırılmış ve en uygun sistemin tespitine çalışılmıştır. Kömürün sıkıştırılarak şarj edilmesi, kömür nem kontrolü gibi teknolojiler tesis içinde bulunmadığından bu çalışmalar teorik hesaplamalar ve literatür araştırmalarıyla desteklenmiştir.

Çalışma sırasında irdelenen farklı teknolojiler ve bu teknolojilerin kombinasyonları üzerinde durulmuştur. Maksimum faydanın elde edileceği senaryo incelenmiştir. Bunun yanında seçilecek teknolojilerin toz salınımları incelenerek çevreye uyumlu olup olmadığı da dikkate alınmıştır.

Firma ile ilgili inceleme yapılırken, tesislerin çalışma kapasiteleri, yıllık üretim ve kullanım miktarları şirketin gizlilik politikaları dikkate alınarak belirli oranlar dahilinde örnek olarak yazılmıştır. Elektrik, su ve kok birim fiyatları belirlenirken tahmin ve ortalama alma metotları kullanılmıştır. Her dönemde ve kurumda bu fiyatlar değişiklik göstereceğinden söz konusu değerler üzerinden değil, farklı teknolojiler arasındaki karşılaştırma sonuçlarına önem verilmiştir.

Hesaplamalar ve değerlendirmeler için yapılan Genel kabuller şöyledir;

- Tesis kapasitesi incelenen firma bilgilerinden bağımsız olarak örnek alınmıştır. Saatte 140 tonluk üretim ve soğutma yapan bir tesis üzerinden değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.
- Bu tesiste 25 gün büyük bakım duruşu olduğu kabulüne göre çalışılmıştır. Söz konusu duruşta Tesis ve Elektrik jeneratörü bakımlarının paralel olarak yapılacağı düşünülmüştür. Yani söz konusu çalışma şartları yılda 340 gün çalışma olması durumuna göre hesaplanmıştır.
- Konveyörlere sönmüş kok boşaltılması sırasında çevreye azot kaçmasının engellendiği öngörülmüştür.
- İç getiri oranı tüm sistemler için şu formülle hesaplanmıştır.

$$\text{İç Getiri Oranı} = \text{Tesis Maliyeti} / \text{Net Kar} \quad (2.1)$$

Yıllara göre maliyetlerin her yıl %5 arttığı kabulüne göre hesaplar yapılmıştır.

Getiri hesapları yapılırken dolar kurundaki dalgalanmaları bertaraf etmek için tüm maliyetler dolar üzerinden hesaplanmıştır. Bunun yanında kullanılan teknolojilerin ve hammaddelerin (kok, kömür vb.) de yurtdışından satın alınması da para birimlerinde dolar kullanılmasının bir başka nedenidir.

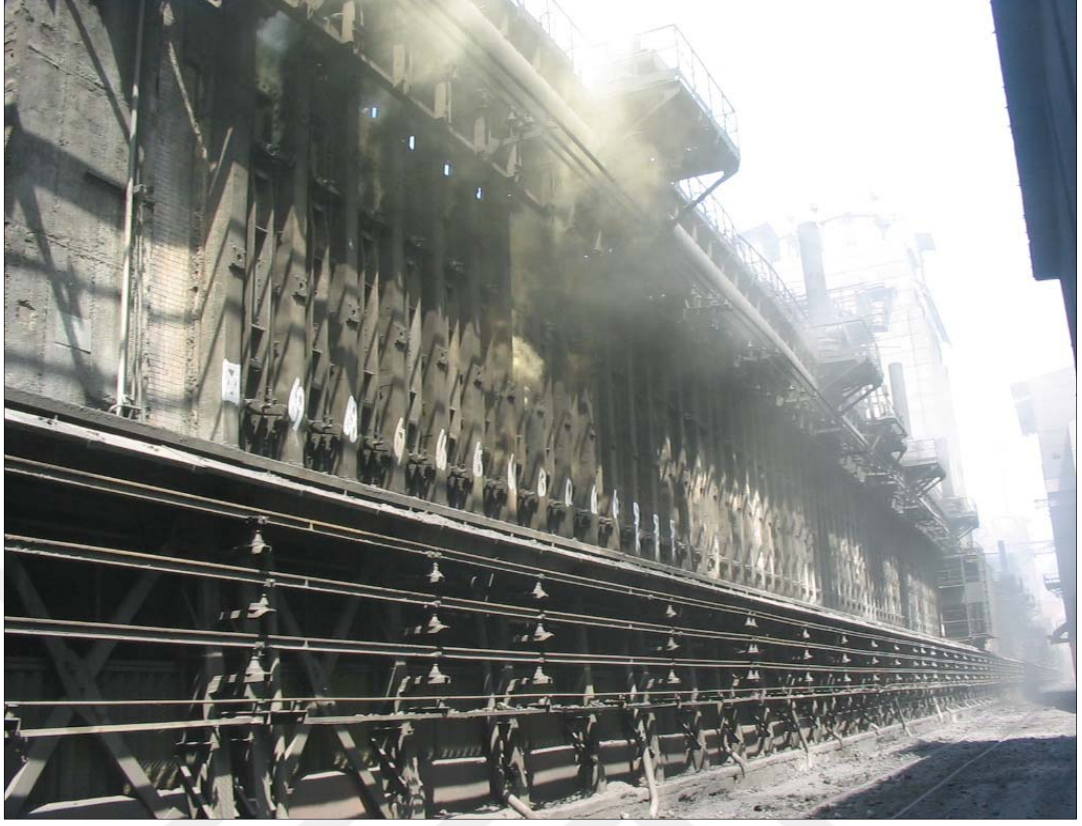
Kok Söndürme Tipleri incelenirken yapılan kabuller şöyledir;

1) Nem;

- İlk olarak nem oranındaki değişim ve bu değişimin üretim miktarlarındaki etkisi pratik çalışmalar sonucu ortaya koyulmuştur. Bunun yanında literatür incelemeleri ile de koktaki %1 nem için yüksek fırında harcanan enerji değeri tespit edilmiştir. Diğer bir anlatımla koktaki nemin, kokun yüksek fırında yakılırken ne kadar ilave enerji ihtiyacına sebep olduğu deneysel yöntemlerle tespit edilmiştir. Yüksek Fırında farklı nem değerlerine sahip aynı miktarda kok girdisi ile ne kadar pik demir üretiminin sağladığı tespit edilmiştir.
- Koktaki nem farklı söndürme tiplerinde üretilen kokların laboratuvarında nem ölçümleri yapılarak tespit edilmiştir. Bu analizler kok üretimi sonrası harmandan alınan örneklerle aylık olarak düzenli takip edilmiştir.

2) Stabilite;

- Stabilite hesaplarında kullanılan değerler farklı tip kok bataryalarından alınan 1 yıllık değer değişimleridir. Kok kuru söndürme için ortalama %2 stabilite artışı gözlemlenmiştir. 1 ton Sıvı Ham Demir üretimi için 10 kg kok tasarrufu sağlamaktadır. Bu tasarruf değeri Yüksek Fırında kullanılan kok miktarları ölçümü ile tesis uygulaması üzerinden elde edilmiştir. Burada yüksek fırındaki farklı parametreler görmezden gelinerek ve farklı parametreler sabit tutulmaya çalışılarak, kullanılan kokun ağırlık ve stabilite değerleri dikkate alınarak tespit yapılmıştır.



Şekil 2.1. Kok Bataryaları Tesisi

3) Elektrik;

- Elektrik ücretleri farklı şirketlerin satın alma fiyatları üzerinden ortalama alma ve tahminleme yöntemleriyle belirlenmiştir.
- Üretilen elektrik miktarları temel alınan tesisin örnek kapasitesi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Söz konusu üretilen ve tüketilen elektrik farklı çalışmalardan alınan referanslarla elde edilmiştir [4].
- Tesis içine 25 MWatt'lık bir jeneratör koyulması durumuna göre hesaplamalar yapılmıştır.

4) Su

- Söndürme sistemlerinin incelenmesinde bir diğer yöntem olan ıslak ve stabilizer söndürmede su kullanılmaktadır. Kullanılan su kaybedilmekte olup, oluşan maliyet kalemlerinden biri de bu proseslerde kullanılan sudur. Söz konusu kayıplar tesis üzerinden alınan ölçümlerle, çalışmadaki örnek kapasite arasında orantı kurularak temel alınmıştır.

- Kok Kuru Söndürme için ise 90 ton/saat buhar turbo jeneratörlerin türbinlerinde kullanıldıktan sonra sıcak saf su haline geri dönüştürülmektedir. Bu kapalı çevirim esnasında %10 civarında bir su kaybı gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Ayrıca bu çalışmalar esnasında aşağıdaki ısı korunum formülleri kullanılmıştır.

$$Q1 = Q2 \quad (2.2)$$

$$m_{\text{kok}} \times c_{p\text{kok}} \times d(T2-T1) = m_{\text{su}} \times dHs \quad (2.3)$$

Kömür Nem Kontrolü incelenirken yapılan kabuller şöyledir;

- Tesiste saatte 140 ton kok üretimi için yaklaşık 200 ton kömür şarj edilmesi gerektiği hem literatür araştırmaları hem de deneysel sonuçlarla tespit edilmiştir [41].
- Metalürjik kokun fiyatı Çin menşeli firmaların satış bilgilerinin araştırılması ile ortalama bir maliyet kabul edilmiştir.
- Sistemdeki 3 temel getiri olan; Fırında harcanan enerji tasarrufu, elektrik üretim miktarı ve buhar üretimleri referans dokümanlardan alınmıştır [35, 2, 40].
- Böyle bir tesisteki operasyonel harcamalar tesisle ilgili uzman kişilerle görüşülerek ve referans kaynaklar incelenerek tespit edilmiştir.

Kömürün Şarj Yapısı incelenirken yapılan kabuller şöyledir;

- Literatür araştırmalarına dayandırılarak yapılan bir çalışmadır. Bu çalışmalar esnasında kömürün yoğunluğunu arttırarak kullanmanın stabilite ve reaktivite değerlerine etkisi farklı kaynaklar dikkate alınarak tespit edilmiştir [23, 39, 25]. Bu değer değişimlerinin iç getiri oranına etkisi bu çalışma içinde analiz edilerek hesaplanmıştır.



Şekil 2.2. Kok Gazı Gazometresi

Çevre çalışmaları yapılırken ise;

- Tüm enerji birimleri aynı birime çevrilerek, CO₂ salınımı hesaplanmıştır.
- Bunun yanında bacalardan veya çalışmalar esnasında ortaya çıkan tozların toz toplama sistemleri tarafından toplanması sonucu deneysel yöntemlerle ortalama toz salınımları tespit edilmiştir.

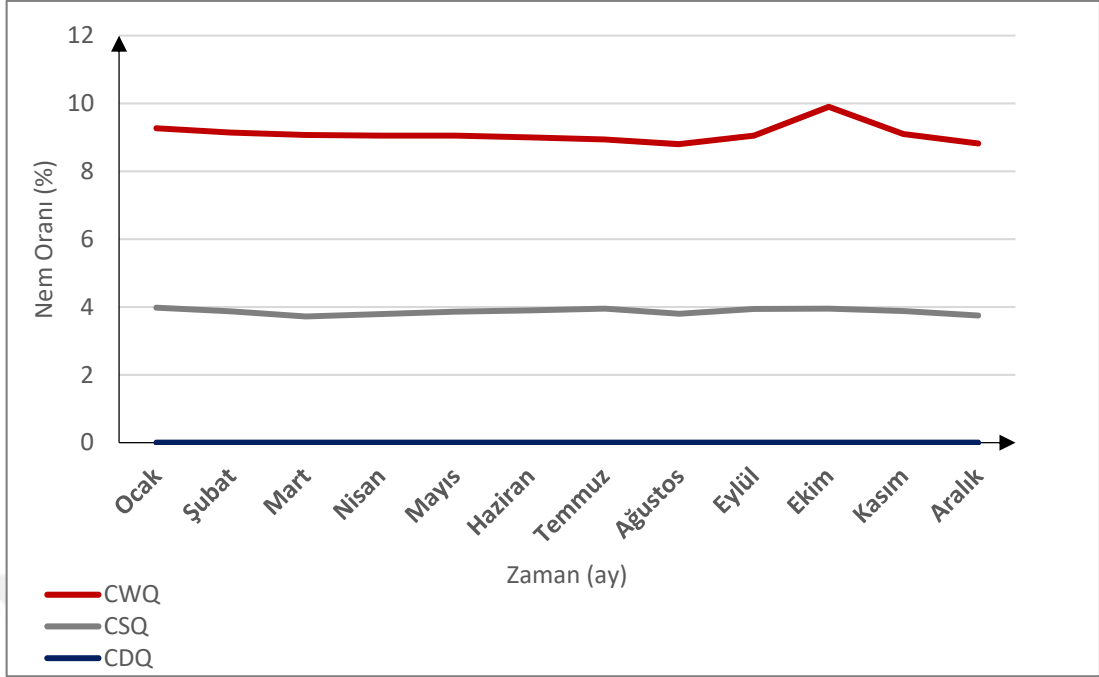
3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1. Kok Bataryaları Söndürme Tiplerinin Karşılaştırılması

3.1.1. Nem

Tesisteki kuru kok bataryasında üretilen 1000-1200 °C sıcaklığındaki kızgın kok öncelikle vinç vasıtasıyla kamara içerisine boşaltılmaktadır. Burada kokun içerisinden inert gaz sirkülasyonu ve ısınan inert gazın (yaklaşık 800 °C) bir buhar kazanından geçirilmektedir. Bu bir dönüşüm halinde devam etmektedir. %1 nem azalması için Yüksek Fırında 15.000 Kcal/ton enerji harcanmaktadır [2]. Bunun yanında sulu söndürme sonrasında 1042 kg (%4 su) üzerinden 1000 kg metalürjik kok elde edilmektedir. Üç farklı teknolojinin arasındaki nem değişimlerine aylık ortalamalarla incelenmiştir.

Şekil 3.1. üzerinde 2017 yılı boyunca tesis üzerinden alınan kuru, yaş ve stabilizasyon söndürme sistemlerindeki kok nem değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Burada en yüksek nem oranının yaş söndürmede olduğu gözlemlenmiştir. Literatürü de destekler şekilde bunu stabilizasyon söndürme yapısı takip etmektedir. Kuru söndürme nem oranının “0” olarak ölçüldüğü görülmektedir. Aşağıdaki hesaplamalar bu değerler dikkate alınarak yapılmıştır.



Şekil 3.1. Kok Nem Oranları 2017 Yılı

(Kok Islak Söndürme – CWQ; Kok Stabilizer Söndürme-CSQ; Kok Kuru Söndürme-CDQ)

$$\text{Yıllık Çalışma Süresi} = 340 \text{ gün/yıl} \times 24 \text{ saat} = 8.160 \text{ saat}$$

$$\text{Yıllık üretim /kullanım} = 140 \text{ ton/ saat} \times 8.160 \text{ saat} = 1.142.400 \text{ ton}$$

$$+\%1 \text{ nem maliyeti} = 15.000 \text{ Kcal/ton} \times 1.142.400 \text{ ton} = 17.130.000.000 \text{ kcal/yıl}$$

$$+\%1 \text{ nem maliyeti} = 19.918.605 \text{ kWh} \times 0,1 \text{ USD/kWh (kabul)}$$

$$= 1.991.860 \text{ USD}$$

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ kcal/h}$$

Kok Kuru Söndürme için %0 nem olduğu için bu maliyet söz konusu değildir. Kok Stabilizasyon Söndürme (CSQ) için %2-%5 nem aralığında değerler alındığı göz önüne alınırsa, göze alınacak maliyet yıllık yaklaşık 4 – 10 Milyon USD arasındadır. Sulu Söndürme sistemi için de kayıp ortalama 18 M USD değerlerini bulabilmektedir.

Yüksek fırınların ana girdileri demirli malzeme ve metalürjik koktur. CSQ söndürme çıkışı metalürjik kokun nem oranı %4-5 civarındadır. Ancak bu nem sabit olmayıp

anlık değişkenlikler göstermektedir. Bu durumda Yüksek Fırın prosesinde problem olmaması için ilave kok kullanılarak daha yüksek sıcaklıklarda çalışılmaktadır. Kok Kuru Söndürme sonrası koktaki değişiklikler yok olacağından daha stabil ve kontrol altında bir yüksek fırın prosesi uygulanabilecektir. Bu durum bu çalışmada hesaplanmayan yüksek fırın verim artışına sebep olacaktır. Dolayısıyla bu ilave getiriler hesaplamalara dahil edilmemiştir.

3.1.2. Stabilite

Bunun yanı sıra, stabilite artışı, kullanılan metalürjik kokun miktarının azaltılmasında pozitif bir etki sağlamaktadır. Kok kuru söndürme için ortalama %2 stabilite artışı gözlemlenmiştir. 1 ton Sıvı Ham Demir üretimi için 10 kg kok tasarrufu sağlamaktadır.

$$\begin{aligned} \text{Yıllık Kok Tasarrufu} &= 1.142.400 \text{ ton} \times 10 \text{ kg/ton} \\ &= 11.424.000 \text{ kg} = 11.424 \text{ ton kok} \end{aligned}$$

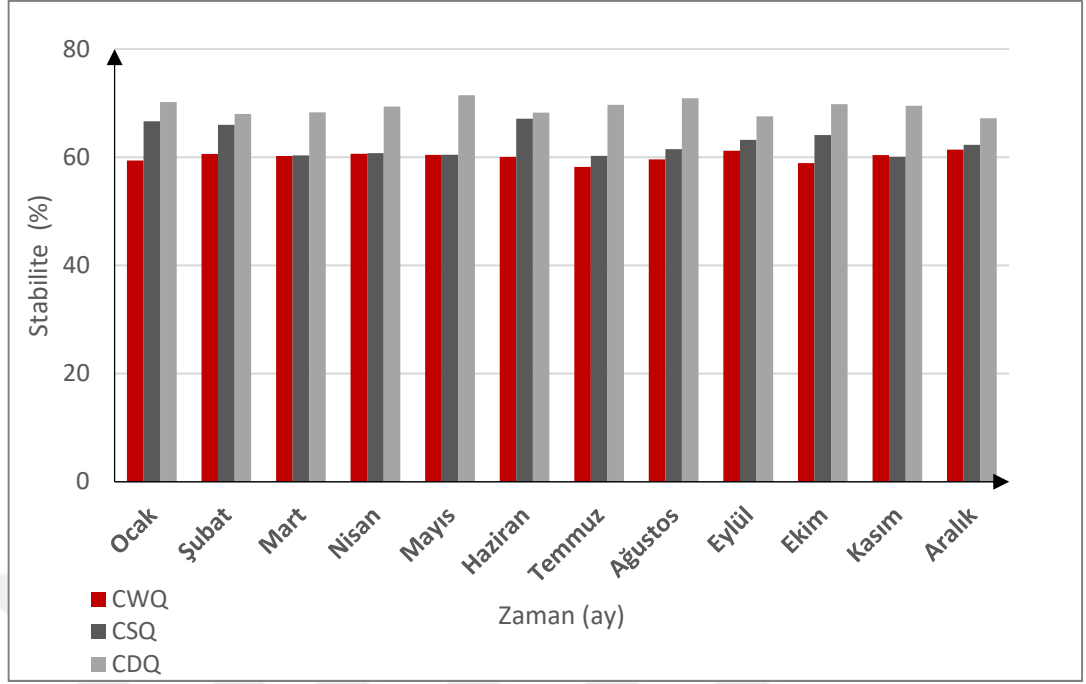
$$\begin{aligned} \text{Tasarruf Maliyeti} &= 11.424 \text{ ton} \times 300 \text{ TL/ton (kabul)} \\ &= 3.427.200 \text{ TL} \times 0.166 \text{ USD/TL} = 571.000 \text{ USD} \end{aligned}$$

Teorik olarak ekonomikliği hesaplanan stabilite değerlerinin yanında farklı söndürme teknolojilerine sahip tesislerden alınan koklar üzerinde de stabilite değerleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. Teorik hesapları destekler nitelikte stabilitesi en yüksek kokların Kuru Söndürme ile alınan koklar olduğu görülmektedir. Şekil 3.2. üzerinde de görüldüğü gibi 2017 yıl boyunca alınan değerlerin ortalaması şu şekildedir;

$$\text{Kok Kuru Söndürme Stabilite Ortalama} = \% 70$$

$$\text{Kok Stabilizasyon Söndürme Stabilite Ortalama} = \% 63$$

$$\text{Kok Islak Söndürme Stabilite Ortalama} = \% 60$$



Şekil 3.2. Stabilite Değerleri

(Kok Islak Söndürme – CWQ; Kok Stabilizer Söndürme-CSQ; Kok Kuru Söndürme-CDQ)

Bu stabilite artışının sağlayacağı tasarruf ise Tablo 3.1.’ de de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Stabilite farkı ile oluşan tasarruf

Stabilite farkı	2%
Stabilite artışının sağladığı tasarruf	2 kg %1 artışta
Metalürjik kok tasarruf/ton	4 kg
Toplam Metalürjik Kok tasarrufu yüzdesi	0,10%
1 ton Metalürjik Kok için tasarruf	10 kg
Kuru Kok Tasarruf Miktarı	10.000 ton/yıl

Bu değerler dikkate alındığında Kok Islak Söndürme için Kuru Söndürmeye göre %10 daha az stabil olduğundan 5 kat daha ilave maliyete sebep olacaktır. Kok Stabilizer söndürmede ise ortalama 1,5 kat daha fazla maliyete sebep olacaktır.

3.1.3. Elektrik üretimi

Kok kuru söndürme tesisinden elde edilen buhar ile bir buhar türbini vasıtasıyla elektrik üretilebilmektedir.

$$\text{Üretilen Elektrik} = 27 \text{ MWh}$$

$$\text{Tüketilen Elektrik} = 6 \text{ MWh}$$

$$\text{Elde Edilen Elektrik} = 21 \text{ MWh} \times 0,8 = 16,8 \text{ MWh}$$

$$\text{Yıllık Çalışma Saati} = 340 \text{ gün} \times 24 \text{ sa/gün} = 8160 \text{ sa}$$

$$\text{Yıllık Elektrik Üretimi} = 150.000.000 \text{ kwh/yıl}$$

$$\begin{aligned} \text{Elektrik Üretimi} &= 150.000.000 \text{ kWh} \times 0,1 \text{ USD /kWh} \\ &= 15.000.000 \text{ USD} \end{aligned}$$

Söz konusu üretim sadece Kok Kuru Söndürme tesisinde yapılabilmektedir. Dolayısıyla bu getiri sadece bu sistem için söz konusudur.

3.1.4. Su tüketimi

Yaş söndürmedeki ekstra kayıplar düşünüldüğünde, tesis için kullanılan Sulu söndürme için 0,71 m³/ton kok su kullanılır. Bu suyun 0,37 m³/ton'luk kısmı kaybedilmektedir.

Yani 1 ton kok için ortalama %52'lik bir kayıp gerçekleşmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Su Tüketimi} &= 8160 \text{ sa} \times 47 \text{ ton/sa} \\ &= 383.520 \text{ ton su kaybı} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saf Su Tüketim Maliyeti} &= 383.520 \times 0,353 \text{ USD /ton (kabul)} \\ &= 1.354.000 \text{ USD} \end{aligned}$$

Kok Kuru Söndürme için ise 90 ton/saat buhar turbo jeneratörlerin türbinlerinde kullanıldıktan sonra sıcak saf su haline geri dönüştürülmektedir. Bu kapalı çevirim

esnasında %10 civarında bir su kaybı gerçekleşmektedir. Buna ilaveten buhar üretiminde %10 distile su kaybı gerçekleşmektedir.

$$\text{Kayıp} = 90 \times (\%10 + \%10) = 18 \text{ ton/saat}$$

$$\text{Kayıp Yıllık} = 340 \times 24 \times 18 \text{ ton/saat} = 146.880 \text{ ton}$$

$$\text{Kayıp Yıllık Maliyet} = 50.000 \text{ USD}$$

3.1.5. Çevresel etki

Kok Stabilizasyon Söndürme Sisteminde çıkan tozlar su damlalarının içine hapsediği için toz emisyonunun daha düşük olduğu gözlenir. Söz konusu tesislerin toz emisyon farkları aşağıdaki gibidir [32].

$$\text{Kok Kuru Söndürme Sistemi; Toz emisyonu} = 10 \text{ g/tkok}$$

$$\text{Kok Stabilizasyon Söndürme Sistemi; Toz emisyonu} = 8,5 \text{ g/tkok}$$

Gaz emisyonu açısından bakıldığında, kuru söndürmede kullanılan söndürme gazı dönüşüm içinde kullanılır. Ancak yanan kokun sönmeye alındığı anda hala yanmaya devam ettiği için H₂S ve CO₂ salınımı devam eder. Bu işlem ortalama 2-5 saate kadar devam eder. Ancak Stabilizasyon Söndürme için söndürme daha kısa (maks 60 saniye) sürdüğü için, emisyon seviyeleri Kuru Söndürme Sistemine göre daha düşük olmaktadır.

3.1.6. Diğer giderler

İşçilik maliyeti; bir Kok Kuru Söndürme tesisi için; 1 adet vinç operatörü, 2 adet işletme işçisi ve 1 adet vardiya işçisi çalışacaktır. Bunlar dışında elektrik jeneratörü ve türbinde vardiyada 2 adet işçi olacaktır. Bunlar için de 3 adet vardiya işçisi ihtiyacı ile personel ihtiyacı, 5x 4 =20 adet işçidir.

Her bir işçinin işletmeye maliyetini ortalama 3.500 USD /kişi olarak alırsak;

$$20 \times 3.5000 \text{ USD/ay} \times 12 \text{ ay} = 840.000 \text{ USD /yıl}$$

Kok Stabilize Söndürme veya Kok Islak Söndürme tesisleri için işçilik Elektrik Jeneratörü ve Türbin ihtiyacı olmadığı için %50 azalır.

Operasyonel maliyet ortalama 420.000 USD /yıl olarak hesaplanır.

Azot tüketimi; Kok Bataryası saatte ortalama 400 m³ Azot gazı tüketir.

Yıllık Çalışma Süresi = 340 gün/yıl x 24 saat = 8.160 saat

Yıllık Azot Tüketimi = 8160 sa x 400 Nm³/sa = 3.264.000 m³

Maliyeti = 3.264.000 m³ x 54 USD /1000m³ = 176.256 USD

Bakım; Kok Kuru Söndürme Yıllık ortalama 1.700.000 USD/yıl Kok Batarya bakım ücreti olarak değerlendirilebilir. Kok Kuru Söndürme Elektrik üretim, buhar üretim alanları ve bu enerjilerin aktarım, depolama bölgeleriyle en karmaşık sistemdir. Diğer Yaş Söndürme ve Stabilizer Söndürme Sistemlerindeki bakım maliyetleri kuru söndürme teknolojisine göre oldukça düşük seviyelerde (200.000-500.000 USD/yıl) kaldığından bu maliyetler hesaplara 3.5 Senaryolar bölümünde dahil edilmiştir.

Entegre Demir Çelik Tesislerinde bulunan kuru söndürme sistemleri (CDQ) sulu söndürme sistemlerine (CWQ & CSQ) göre daha verimli ve çevreci çalışmaktadır. Kuru söndürmeyi yaş söndürme CSQ sistemi ile mukayese edecek olursak aradaki en temel farkın söndürme arabası olduğu görülmektedir. Her iki sisteme ait söndürme kuleleri benzerdir. Söndürme arabaları bakımından mevcut arabalar lokomotif ile çekilen vagonlardan oluşmaktadır. Söndürme vagonları ise kapalı havuz şeklinde olup yan tarafında kapakları bulunmaktadır. Tek başına söndürme vagonu oldukça ucuzdur ancak bu vagonu çekmek için bir adet lokomotif de alınacaksa maliyet artmaktadır.

CSQ sisteminde kullanılan söndürme arabası ise mevcut kullanılan farklı olarak kendinden motorludur ve kok havuzuna alttan da su besleyebilmektedir. Bu tür arabaların maliyeti, mevcut arabalara (lokomotif hariç) göre yüksektir. Literatürde CSQ sistemi ile söndürülen kokun neminin % 2-5 oranlarında olabileceği belirtilmektedir [21]. Araştırma Bulguları ve Tartışma kısmında da hem teorik hem de deneysel olarak alınan veriler karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonunda CSQ sistemi işletmede kok neminden ekstra bir avantaj yaratmayacaktır. Lokomotifli mevcut yaş

söndürme arabalarının bir avantajı da lokomotifin sudan koruyarak ömrünü uzatma imkânının olmasıdır. CSQ da kullanılan söndürme arabaları kendinden motorlu olup her söndürmede suya maruz kalacaktır.

Entegre Demir Çelik Tesislerinde, yeni bir kok söndürme tesisi yapılacak olursa enerji geri kazanımı ve yüksek fırınlarda yakıt tasarrufu nedenleri ile öncelikle kuru söndürme yöntemi tercih edilmelidir. Yaş söndürme tesisinin tercih sebebi yatırım maliyetlerinin düşük olması olabilir. Ancak yapılacak kuru söndürme sisteminde çıkan enerjinin Elektrik üretimi için kullanılabilir olması ve su kaybı yaşanmaması tesisin geri ödeme süresini oldukça kısaltmaktadır.

Sistemlerin CSQ olarak devreye alınması veya mevcut sistemlerin modernize edilmesi düşünüldüğünde, atılan kok tozunun azaltılması da dikkate alınması gereken önemli parametrelerden biridir. Tüm bunların yanında kok neminin artması ile stabilite gibi bazı kalite değerleri de olumsuz etkilenmekte ve bu durum yüksek fırınlarda yakıt kullanımında olumsuzluklara neden olabilmektedir.

Yeni bir kok batarya kurulumunda ilk tercih olarak Kok Kuru Söndürme Sistemi düşünülebilirken, toz emisyonu dikkate alınırsa Stabilizasyon Söndürme sistemi de ikinci tercih edilecek sistem olabilir. Tesis kurulum ücreti Kuru Söndürme için daha yüksek olsa da, uzun vadeli plan için sağlanan kazançların bu sistemde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [21, 4, 1, 34, 42].

Tablo 3.2. CWQ- CSQ-CDQ Tesis Değerleri 2017 Yılı

Yıl Çeyrek Dönem	Kül (%)	Uçucu (%)	Sabit Karbon (%)	Kükürt (%)	Nem (%)	Stabilite (%)	Sertlik (%)	CRI (%)	CSR (%)	Na2O (%)	K2O (%)	
Kuru Söndürme	1	12	1	87	0	-	59	66	19	71	0	1
	2	12	1	87	1	-	61	66	18	72	0	1
	3	11	1	88	1	-	60	67	22	68	0	2
	4	12	1	87	1	-	61	67	21	68	0	2
Stabilizasyon Söndürme	1	12	1	87	0	4	59	66	21	70	0	1
	2	12	1	87	1	4	61	66	20	71	0	1
	3	11	1	88	1	4	60	67	24	66	0	2
	4	12	1	87	1	4	61	67	23	67	0	2
Islak Söndürme	1	12	1	87	0	9	59	66	22	69	0	1
	2	12	1	87	1	9	61	67	21	69	0	1
	3	11	1	88	1	9	60	67	25	63	0	2
	4	12	1	87	1	9	61	67	24	64	0	2

Literatürde bulunan tez ve makaleler de elde edilen sonucu destekler niteliktedir. Tesis üzerinden alınan ölçümler ve yapılan teorik hesaplar göstermektedir. Buradan da görüldüğü üzere Kuru Söndürme Sistemi diğer söndürme sistemlerine göre enerji dönüşümü ve ekonomiklik açısından daha verimlidir. Tablo 3.2. üzerinde de üç farklı söndürme tipine ait tesis üzerinden alınan ölçüm sonuçları paylaşılmıştır.

3.2. Kömür Nem Kontrolü (Coal Moisture Control –CMC)

Kömür Nem Kontrol sisteminin uygulanmasının avantajları:

1. Isı tüketiminin azalması (%1 nem oranındaki azalma ile 20 Mcal/ton-kuru kömür kazanç elde edilmektedir),
2. Kok sertliğinin artması,
3. Üretimin artması (%10 veya daha fazla),

Dezavantajları:

1. Kömürün taşınması ve şarj edilmesi esnasında toz ve dumanın artması,
2. Tozlaşmış kömürün, gaz toplama ünitelerinin filtreleme sistemlerini olumsuz etkilemesi ve kömür katranının kalitesini de düşürmesidir.

Bahsedilen nedenlerden dolayı kömürün nem oranını uygun değerde tutabilmek önemlidir.

Tablo 3.3. Ekipmanların Ana Özellikleri [2]

No	Madde	Tanım
1	Kurutucu	İndirek ısıtma döner kurutma tipi 260 t/h x 1 set
2	Isı kazanım ekipmanı 1)Kok Fırın atık gaz 2) Kok fırın gaz	4.95 x 10 ⁶ kcal/h 55.4 x 10 ⁶ kcal/h 3.9 x 10 ⁶ kcal/h
3	Isıtma fırını	3.95 x 10 ⁶ kcal/h x 1 set
4	Kömür konveyörü	1.200 t/h x 4 set 290 t/h x 1 set
5	Filtre	1165 m ³ /min x 1 set

Tablo 3.3. üzerinde bir kömür nem kontrol tesisinin alt bölümleri çalışma kapasiteleri ile verilmiştir. Bu tesis 5 ana kısımdan oluşmaktadır; Kurutucu, ısı kazanım ekipmanları (kok fırın atık gazı ve kok fırın gazı), ısıtma fırını, kömür konveyörü ve fitredir. Isı kazanım ekipmanlarından elde edilen enerji kurutucuya iletilerek, kömürün nem azaltma işlemi burada gerçekleştirilir. Kok yan ürünlerin miktarı üretim artışı ile değişmiştir ancak oransal olarak değişim gözlemlenmemiştir.

Maden Kömür Şarjı = 200 ton/saat

Çalışma Saati = 340 x 24 = 8160 saat/yıl

Kok Kömürü Maliyeti =200 USD / ton

Metalürjik Kok Piyasa Fiyatı = 350 USD/ton

Fırın Isı Enerjisinden Tasarruf = 1,6 USD/ton

Kok ve kömür fiyatları endeksler ve forumlar üzerinden araştırılarak, ortalamalarla alınmıştır. Bu değerler işletme anlaşmaları ve kur değişimlerine göre değişmektedir.

%10 Kok Kömürü Üretim Artışından Kazanç

200 ton/saat x 0,7 met kok/maden kömürü =140 x 0,1 kazanç = 14 ton

14 ton x (350-200) USD /ton = 2100 USD /saat

$$2100 \text{ USD/saat} \times 8160 = 17 \text{ M USD/yıl}$$

Fırın Koklaşma Isı Enerjisinden Kazanç

$$200 \text{ ton/saat} \times 1,6 \text{ USD/ ton} = 320 \text{ USD/saat}$$

$$320 \text{ USD/saat} \times 8160 \text{ saat/yıl} = 2,6 \text{ M USD /yıl}$$

Buhar Tüketimi

$$25 \text{ ton/saat} \times 26 \text{ USD/ton} = 650 \text{ USD/saat}$$

$$650 \text{ USD/saat} \times 8160 \text{ saat/yıl} = 5 \text{ M USD /yıl}$$

Elektrik Tüketimi

$$340 \text{ kW/sa} \times 0,12 \text{ USD /kW} = 42 \text{ USD /saat}$$

$$42 \text{ USD/saat} \times 8160 \text{ saat/yıl} = 0,3 \text{ M USD/yıl}$$

Bakım Maliyeti; bu tesisin bakım maliyeti yaklaşık 100.000 USD/yıl'dır (0,1 M USD).

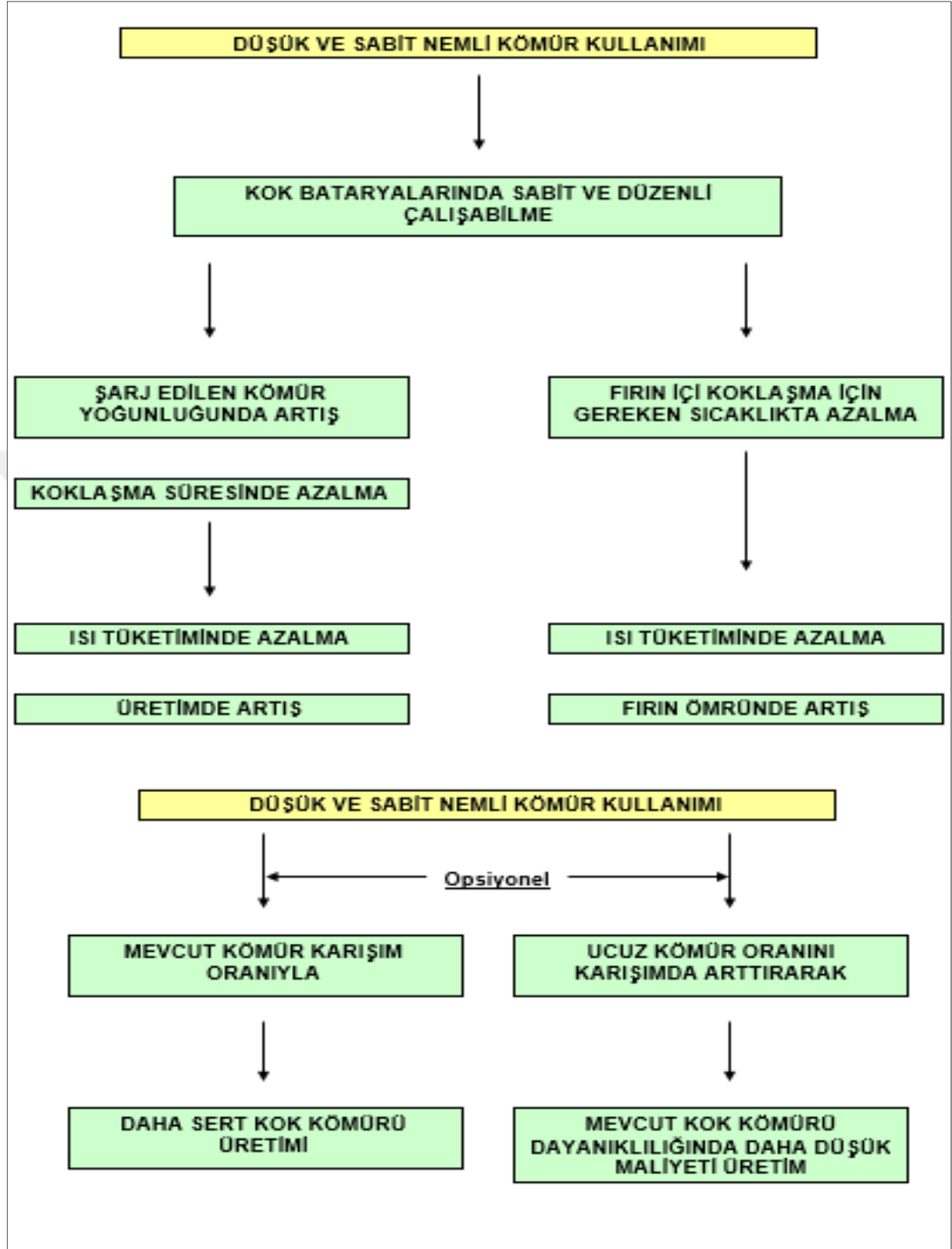
İşçilik Maliyeti; mevcut işçilik maliyetine ilave maliyet oluşturmayacaktır.

Yatırım Geri Dönüş Süresi Yatırım Maliyetinin Net Kazanca oranı ile hesaplanmıştır. 200 ton/saat kömür şarj edilebilen ölçekteki bataryalara Kömür Nem Kontrolü Tesisi yapan firmalardan bir tanesi ile yapılan yazışmalar neticesinde tesisin ilk yatırım maliyeti olarak yaklaşık ~25 milyon dolar ön görülmüştür. Böyle bir tesisin yapılan kabullere göre yatırım maliyeti geri dönüş süresi ~1,7 yıl olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.3. üzerinde Düşük ve Sabit Nemli Kok kullanım faydaları şema gösterimiyle de ifade edilmiştir. Son aşamada üretici için iki alternatif sunulmaktadır. Amaçlanan çalışma istenen kok sertliğini arttırmak veya daha az maliyetli kok üretimini gerçekleştirmektir.

CMC teknolojisi yeni bir teknoloji olup, tesisinin kurulumu ile üretim artışı, fırın ömründe artış, ısı enerjisi tüketiminde azalma sağlanabilirken, seçime bağlı olarak mevcut durumdaki kömür harmanı ile daha dayanıklı kok kömürü üretimi veya daha ucuz kömürün harmanda kullanılması ile daha düşük maliyetli üretim

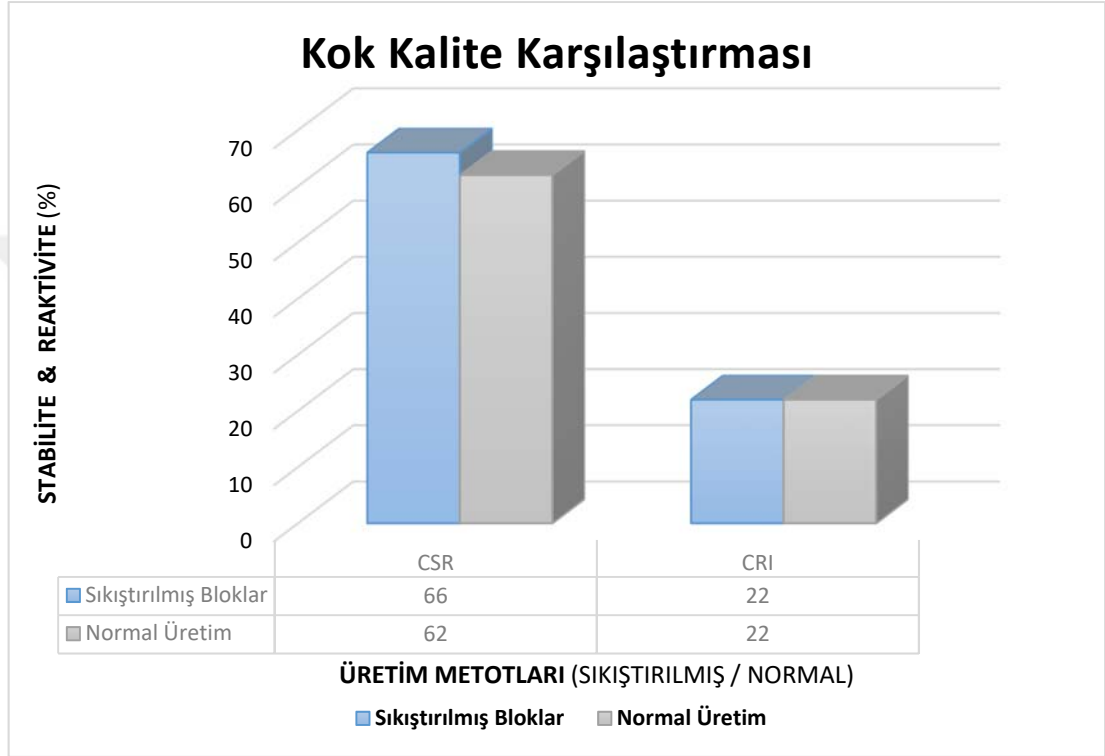
yapılabilmektedir.



Şekil 3.3. Düşük ve Sabit Nemli Kok Kullanımı Faydaları

3.3. Kömürün Şarj Yapısı

CSR ve CRI değerlerine etkisi; CSR (Coke Strength after Reaction) ve CRI (Coke Reactivity Index) her ne kadar şarj edilen harman kömürlerinin özelliklerine göre değişkenlik gösterse de aynı harmandan yapılan sıkıştırılmış ve sıkıştırılmadan şarj edilmiş kömür denemelerinde aşağıdaki sonuçlar çıkmıştır [38].



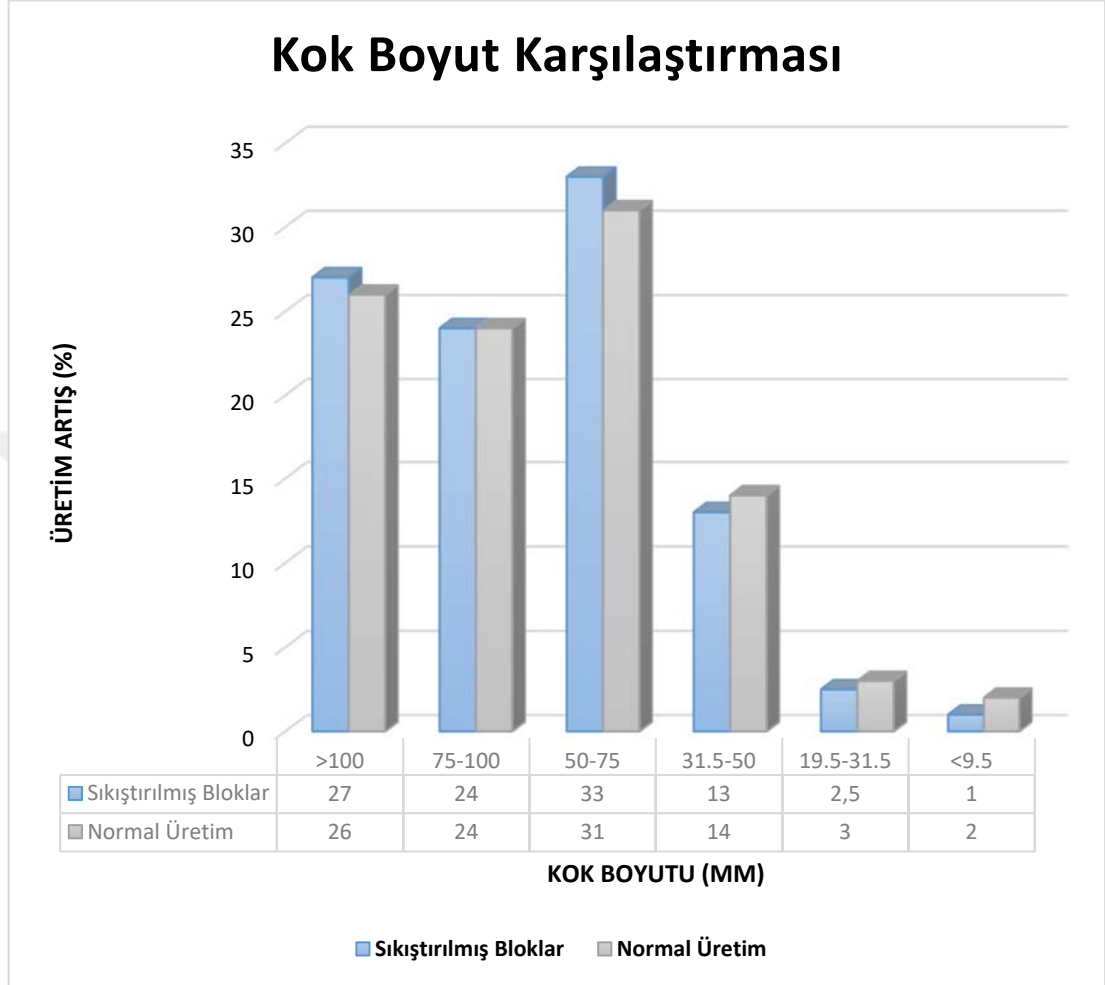
Şekil 3.4. Kok Stabilite ve Reaktivite Karşılaştırması [39]

Şekil 3.4. üzerinde de görüldüğü gibi sıkıştırılarak şarj edilen kömür ve normal verilen kömür arasında reaktivite oranı değişmezken oluşan kokun dayanımı sıkıştırılan kömür harmanı sisteme girdi olarak verildiğinde artmıştır [43]. Dayanımın ortalama %5 seviyesindeki artış kokun yüksek fırın için istenilen bir sonuçtur.

Kok boyut dağılımına etkisi; tesiste yapılan denemelerde sıkıştırılarak şarj edilen kömür ile üretilen kokta 50 mm ve üzeri kok boyutu oranında artış olmuştur. Ayrıca 50 mm ve altı boyutlu kok oranının azaldığı gözlemlenmiştir.

Şekil 3.5. üzerinde de görüldüğü gibi 100 mm ve üzeri kok boyutunda %2, 50-75 mm arasındaki kok boyutunda ise ortalama %4 artış gözlemlenmiştir. 31,5-50 mm arasında %2 azalma, 31,5 mm altı kok boyutlarında ise ortalama %2 azalma mevcuttur. Kok

boyutundaki artış, kokun yüksek fırında parçalanmaması açısından istenilen bir özelliktir [43].



Şekil 3.5. Kok Boyutu Karşılaştırılması [37]

Kok Fırınlara şarj edilen harman kömürünün sıkıştırılarak kullanılması durumunda iki türlü kazancın olduğu denemelerle belirtilmektedir.

Bu kazanımlardan birincisi;

- Şarj edilen kömürün sıkıştırılması durumunda yığın yoğunluğunun 1,2 ton/m³'e kadar çıkartılabildiği,
- Böylece fırınlarda üretilen kok miktarında artış sağlanabildiği, işletme maliyetlerinin 4 USD/ton azaltılabildiği,
- Kömür harmanı içerisinde %60 oranlarında daha ucuz olan semi-soft kömürün kullanılabildiği,

- Harman içerisinde kok tozunun ilave edilmesine imkân sağlanabildiği ve emisyonların azaldığıdır [38].

İkinci kazanım ise bu yöntem ile şarj edilen kömürden üretilen kok kalitesindeki kazanımlardır. Yapılan denemelerde sıkıştırılarak şarj edilmiş kömürden üretilen kokta uçucu maddenin olmadığı, CSR ve CRI değerlerinde olumlu gelişmelerin olduğu ve üretilen kokun boyutlarının 50 mm ve üzeri olanlarda artış gözlemlenmiştir. Tüm bu kazanımlar göz önünde bulundurulması durumunda yatay tip kok fırınlarında şarj edilen harman kömürünün sıkıştırılarak kullanılması oldukça faydalı gözükmektedir. Dikey tip fırınlarda ise bu yöntem uygulanamamaktadır.

Hem yatay tip atık ısı geri kazanımlı hem de dikey tip yan ürün üretimi kok fırınlarında yüksek kapasitede kaliteli kok üretilmektedir. Hangi tip kok fırınının kullanılacağına karar vermede; kok bataryalarının tüm sisteme nasıl adapte olacağı, içerden ve dışardan satın alınan enerji kaynaklarının dengesi, çevresel faktörler, işletme giderleri ve ilk yatırım maliyetleri önemli olmaktadır.

3.4.Çevresel Etki

Mevcut durumda İsdemir Kok Bataryaları için sadece toz ve ısı ile ilgili yasal sınırlamalar bulunmaktadır.

Toz emisyonları konusunda ise İsdemir Stabilizasyon Söndürme Tipli Bataryalarda “Dust-Free Coke Pushing Unit” [44] bulunmakta olup bir diğer bataryada da daha sonradan kurulmuştur. Islak Söndürme Tipli Bataryalarda ise bu sistem bulunmamaktadır. Kok yağ söndürme istasyonlarından söndürme istasyonunda buhar spreyleri olması nedeni ile toz emisyonu için alınabilecek ilave önlem bulunmamaktadır. Fakat sulu söndürme teknolojisi olan batarya istasyonunda herhangi bir toz bastırma ekipmanı bulunmamakta olup su buharı ile kok tozu atmosfere yükselmektedir. Bu istasyona yönelik sprey sistemleri kurularak bu noktada oluşan toz önlenilebilecektir.

Bunun yanında tesis incelemelerinde en çok gaz emisyonunun kuru söndürme sırasında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu söndürme tipinde “Dry coke quenching ventilation unit” [44] gibi filtre yapıları kullanılmaktadır.

Kok Nem Kontrolü için yapılan ön ısıtma ve koku tozlaştırma çalışmalarının toz emisyonuna negatif etkisi bulunmaktadır.

Ancak Kok Kuru Söndürme tesisleri herhangi bir yakıt tüketimi olmaksızın buhar ve elektrik üretimi yaptığı için çevreci bir tesistir. Kuru Söndürme kapasitesine bağlı olarak dışarıdan satın alınan elektrik miktarını azaltacaktır. Bu sayede yaklaşık 90.000 ton CO₂ emisyonunda azalış sağlayacaktır. Kok tasarrufu sayesinde ise 40.000 ton CO₂ emisyonu düşüşü olacaktır. Toplamda 130.000 ton /yıl CO₂ emisyonunda azalış sağlanacaktır. Bu açılardan bakıldığında tesisin olumlu yönleri ve geri ödeme süresi dikkate alındığında Kok Kuru Söndürme Tesislerinin entegre işletmelerde uygulanabilir olduğu kanaatine varılmıştır.

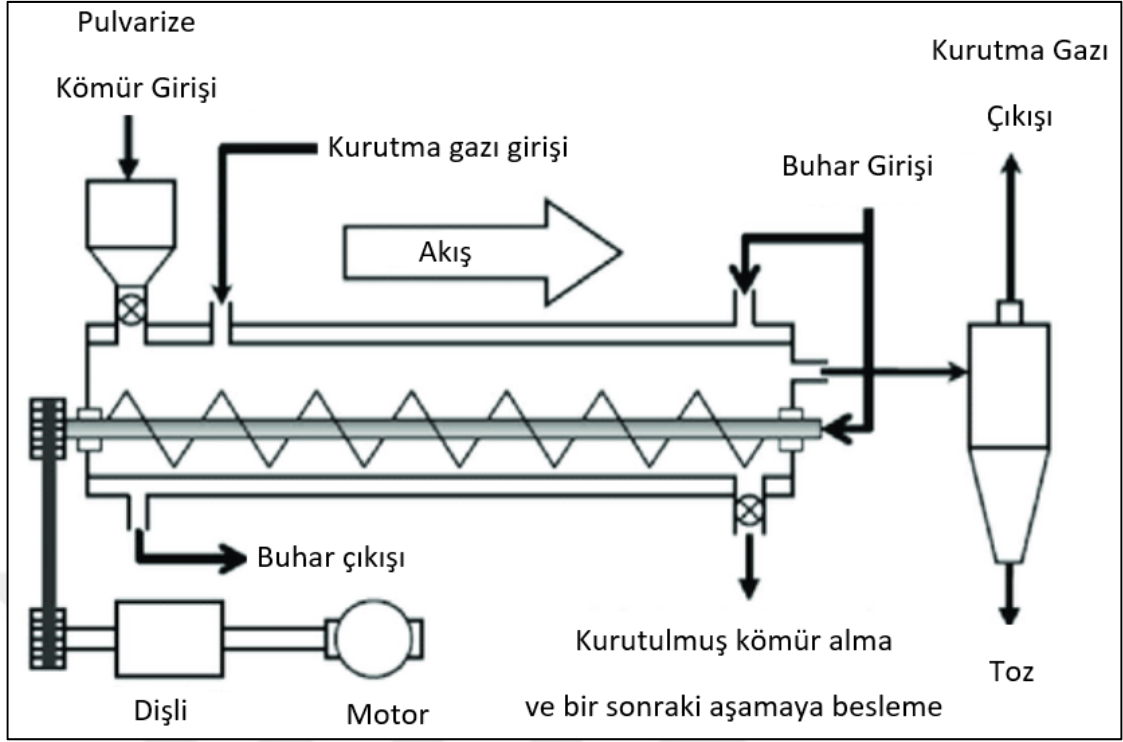
Kömürün sıkıştırılarak sisteme şarj edilmesinin toz kömür de kullanılabilirdiği için toz emisyon değerinde düşüşe sebep olduğu görülmüştür ancak CO₂ emisyonuna bir etkisi yoktur [45].

3.5. Senaryolar

Anlatılan bu teknolojilerin bir tesiste uygulanmasında belirli avantajlar veya dezavantajlar sağlanabilir. Bu çalışmada inceleme yapılırken farklı teknolojik seçimlerin iç getiri oranları hesaplanarak en uygun sistemler bütünü elde edilmeye çalışılacaktır. Sistem Kombinasyonları seçilirken kok sulu söndürmenin kayıp maliyetleri dikkate alındığında en verimsiz söndürme sistemi olduğundan bu karşılaştırma senaryolarına dahil edilmemiştir.

1.Senaryo – Kok Kuru Söndürme Sistemi, Kömür Nem Kontrol ve Kömürün Sıkıştırılarak Şarj Edildiği Sistemlerinin uygulandığı senaryodur. Bu senaryoda stamp şarj yöntemi olduğu için yatay tip fırına göre hesaplamalar yapılmıştır.

Bu 3 tesiste sağlanan en önemli getiri Stabiledir. Çünkü Kuru Söndürmeden kaynaklanan kokun %6-7 oranında stabilizer söndürmeye göre daha stabil olmasından kaynaklanır. İlave olarak kömür girdisinin yoğunluğu 1,1 ton/m³ seviyelerine [35] getirildiğinde ilave olarak %4 stabiledede artış sağlanır.



Şekil 3.6. Kömür Nem Kontrolü Akış Şeması

Kömür nemi azaltılarak kok üretim miktarındaki artış sağlanır. Şekil 3.6.'da proses akışı da gözükken tesis kok üretim artışına sebep olması sebebiyle ciddi seviyelerde bir getiri sağlar. Giderlerde ise en temel gereksinim olarak bakım maliyetleri dikkat çeker. Özellikle pek çok yan fonksiyondan oluşan kuru söndürme sisteminin bakım maliyeti en yüksek olan tesistir. Bunların yanında azot tüketimi, işçilik maliyeti, su, elektrik tüketimi gibi enerji ihtiyaçları gider olarak belirtilmiştir.

Bu senaryoda gelirler ve giderler mali açıdan şöyle tanımlanmıştır;

Tablo 3.4. Senaryo 1 Gelir ve Giderleri

	Sıkıştırarak Şarj Etme (M USD)	Kömür Nem Kontrolü (M USD)	Kok Kuru Söndürme (M USD)
Gelirler			
Stabilite / Kok Üretim	1	17	1.7
Nem / Isı Enerjisi Kazancı	0.1	2.6	10
Elektrik Üretimi			15
Kömür Avantajı	0.1		
Giderler			
Buhar Tüketimi		5	
Elektrik Tüketimi	0.1	0.3	
Su Tüketimi			0.05
İşçilik Maliyeti			0.5
Azot Tüketimi			0.18
Bakım	0.1	0.1	1.7

Bu senaryoda üç tesis aynı anda devreye alındığında en fazla stabilite ve ısı kazanımlardan dolayı gelir sağlanmıştır. Tablo 3.4. 'te de görülebileceği gibi en önemli gider kalemi bakım maliyetleridir. Tüm bu tesislerin toplam yatırım maliyetini geri ödeme süresi yaklaşık 3 yıl olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında hem kuru söndürme hem de kömür nem kontrolü düşünülerek tesisin çevreye toz salınımının uygun bir yapı değildir. Ancak yatırım maliyetine toz toplama ve filtreleme sistemleri de dahil edilmiştir. Ancak geri dönüş süresi ve sağladığı gelirler dikkate alındığında CO₂ salınımı açısından bu seçim avantajlıdır.

2. Senaryo – Kok Stabilizer Söndürme Sistemi, Kömür Nem Kontrol ve Kömürün Sıkıştırılarak Şarj Edildiği Sistemlerinin uygulandığı senaryodur. Bu senaryoda da stamp şarj yöntemi olduğu için yatay tip fırına göre hesaplamalar yapılmıştır. Senaryo 1'deki Kömür sıkıştırma ve kömür nem azaltma proseslerinden elde edilen gelir ve giderler aynıdır. Burada stabilizer söndürme için elektrik ve stabilite değerlerinden gelir sağlanamamaktadır. Gider olarak da ekstra su tüketimi oluşmaktadır.

Bu senaryoda gelirler ve giderler mali açıdan şöyle tanımlanmıştır;

Tablo 3.5. Senaryo 2 Gelir ve Giderleri

	Sıkıştırarak Şarj Etme (M USD)	Kömür Nem Kontrolü (M USD)	Kok Stabilizer Söndürme (M USD)
	Gelirler		
Stabilite / Kok Üretim	1	17	
Nem / Isı Enerjisi Kazancı	0.1	2.6	
Elektrik Üretimi			
Kömür Avantajı	0.1		
	Giderler		
Buhar Tüketimi		5	
Elektrik Tüketimi	0.1	0.3	
Su Tüketimi			0.75
İşçilik Maliyeti			
Azot Tüketimi			
Bakım	0.1	0.1	0.5

Tablo 3.5. 'te de görülebileceği gibi bu senaryoda en önemli gelir kalemi kömür nem kontrolündeki stabiliteden kaynaklanmaktadır. Bu seçimin geri ödeme süresi 4 yıldır. Bu anlamda 1. Senaryoya göre daha az kazançlı olduğu görülmüştür.

3. Senaryo - Kok Kuru Söndürme Sistemi ve Kömür Nem Kontrol Sistemlerinin uygulandığı senaryodur. Bu senaryoda dikey tip fırın olduğu kabul edilmiştir. Bu senaryoda gelirler ve giderler mali açıdan şöyle tanımlanmıştır;

Tablo 3.6. Senaryo 3 Gelir ve Giderleri

	Kömür Nem Kontrolü (M USD)	Kok Kuru Söndürme (M USD)
	Gelirler	
Stabilite / Kok Üretim	17	1.7
Nem / Isı Enerjisi Kazancı	2.6	10
Elektrik Üretimi		15
Kömür Avantajı		
	Giderler	
Buhar Tüketimi	5	
Elektrik Tüketimi	0.3	
Su Tüketimi		0.05
İşçilik Maliyeti		0.5
Azot Tüketimi		0.18
Bakım	0.1	1.7

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek fırının temel girdisi olan koku daha kaliteli üretmek amacıyla farklı teknolojiler incelenmiştir. Bu teknolojiler belirlenirken kokun stabilite (CSR) ve reaktivitesini (CRI) etkileyebilecek tesisler üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Kok Bataryasının girdisi olan kömürün yapısı araştırılmış, bileşenleri incelenmiştir. Kaliteli kok üretimi için girdi kalitesi araştırılmış ve Kömür Nem Kontrolü, Kömür Şarj Yöntemi incelenmiştir. Bunlarla birlikte Kok üretiminden yanmayı bitiren söndürme prosesidir. Bu teknolojilerle ilgili literatür araştırması yapılmış ve 40'a yakın makale ve tez incelenmiştir.

Bu teknolojiler ayrı ayrı ele alınarak gelir ve giderleri tespit edilmiştir. Bunun yanında farklı teknoloji kombinasyonları ve bu yatırımların geri ödeme süreleri tespit edilmiştir. Analizler yapılarak kok kalitesi ve verimi açısından en uygun durumun tespiti için çalışılmıştır.

Senaryoların analizinde yapılan yatırımı en kısa sürede ödeyen sistem, 2,6 yıl geri ödeme süresiyle, Kok Kuru Söndürme ve Kömür Nem Kontrolü yapılan 3. Senaryodur. Bu yatırım hem dikey hem de yatay tip fırınlara yapılabilir [46].

Bununla birlikte ek bir yatırım maliyetine katlanılarak kömür sıkıştırılarak şarj edilen tesis de uygulanarak uzun vadeli daha fazla verim sağlanabilir. Burada kritik karar eğer mevcut bir batarya varsa bu bataryanın tipine göre karar verilmelidir. Yatay fırın kömür sıkıştırma yöntemini kullanmak avantajlıdır. Ancak mevcut bataryalar dikey tipli ise, bu yapıya uygun teknoloji seçimi önemlidir. Çünkü dikey tip bir fırını yatay tip fırına çevirmek ekstra maliyetlidir ve ilave olarak yapılan bu yatırım uygulanabilir olmayacaktır. Dikey tip fırının ilave olarak aynı kalitede kok üretimi açısından da avantajlı olduğu da dikkate alınmalıdır.

Senaryo 2; Kok Stabilizer Söndürme Sistemi, Kömür Nem Kontrol ve Kömürün Sıkıştırılarak Şarj Edildiği Sistemlerinin uygulandığı senaryodur. Geri ödeme süresi 4

yıldır. Toz salınımı açısından Senaryo 2 en avantajlı seçimdir. Bu çalışmada su püskürterek yapılan söndürmede hem az toz salınımı olması hem de filtrelerin oluşu senaryoyu çevre açısından en uygun çalışma haline getirmektedir. Ancak toz toplama sistemleri ile diğer senaryolar da çevre açısından daha uygun hale getirilebilmektedir. Ayrıca kömür sıkıştırma sistemi ile kömür tozunun da kok üretimi sırasında kullanabilmesi 2. Senaryo için ilave avantaj sağlamaktadır.

Son olarak Senaryo 1; Kok Kuru Söndürme Sistemi, Kömür Nem Kontrol ve Kömürün Sıkıştırılarak Şarj Edildiği Sistemlerinin uygulandığı senaryodur. Bu senaryonun geri ödeme süresi 3 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu senaryonun en temel gelirinin Senaryo 3 'te olduğu gibi kok stabilitesi ve kuru söndürmeden dolayı elde edilen elektrik enerjisidir. İlave olarak kömürün sıkıştırılarak şarj edilmesi kok stabilitesine ve kok boyutuna olumlu etkisi açısından uygulanabilir. Ancak Kömür Sıkıştırma Tesisi için ilave yatırım maliyeti de dikkate alınmalıdır. Yüksek hacimli üretim yapan firmalar için seçilebilir. Ancak sıkıştırma işlemi için yatay fırın gereksinimi unutulmamalıdır. Yatay tip fırınların çıkan kok kalitesindeki olumsuz etki dikkate alınmalıdır (Bölüm 1.10 Kömürün Şarj Yapısı).

Tüm bunların yanında katlanılan maliyetler ve bu maliyetlerin CO₂ salınım karşılıkları düşünüldüğünde en avantajlı senaryo 3. Senaryodur.

KAYNAKLAR

- [1] Samajdar C., Reduction in Specific Energy Consumption in Steel Industry with special reference to Indian steel industry, *Energy and Environmental Engineering Journal*, 2012, **1**(3); 104-107.
- [2] Wakuri S., Ohno M., Hosokawa K., Nakagawa K., Takanohashi Y., Ohnishi T., Kushioka K., Konno Y. New Moisture Control System of Coal for Coking, *Chiba Institute of Technology*, ISIJ Vol. 25, 1111-1117, 1985.
- [3] Akbulut H., Kok Özelliklerinin Yüksek Fırın Prosesine Etkileri ve Önemi, *Demir-Çelik Sempozyum Bildirileri TMMOB*, Ereğli, Türkiye, 3-5 Ekim 2001.
- [4] Uslu C., Demirçelik Sektöründe Kok Kuru Söndürme Sistemlerinin Tekno-Ekonomik Ve Çevresel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2014, 914.1.027.
- [5] Poyraz H. B., Kok Bataryalarının Devreye Alınması, İşletilmesi Ve Ekonomik Ömrünün Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 2015, Belirtilmemiş.
- [6] Verzaux J., The Manufacture Of Blast Furnace Coke In Horizontal Ovens From Blends Without Normal Quality Characteristics By The Combination Of The Preheating And Stamp Charging Techniques, *Graham & Trotman Coke Oven Techniques*, Lüksemburg, 23-24 Eylül 1981.
- [7] Çakır M., Kok Fırın Gazı Prosesleri ve Ek Tesisleri, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2006, Belirtilmemiş.
- [8] Aydın Ö., Yüksek Fırın İşletmeciliğinde Optimizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2005, Belirtilmemiş.
- [9] Kemal M., Arslan V., Cengizler H., Kömür Karışımlarının Koklaştırılmasında Bileşenler, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2004, Belirtilmemiş.
- [10] URL-1:<https://steeluniversity.org/product/design-advisor-simulation/>, (Ziyaret tarihi: 14 Mayıs 2018).
- [11] Ahmad Y., Oxidation of Graphite and Metallurgical Coke, Yüksek Lisans Tezi, Kth Vetenskap Och Konst, School of Industrial Engineering and Management, Degree Project in Materials Design And Engineering, İsveç, 2016.

- [12] Odabaş M., Yüksek Fırınlarda Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü Karabük, 2013, 914.1.233.
- [13] URL -2: <http://apps.aist.org/SteelWheel/index.html>, (Ziyaret tarihi: 14 Mayıs 2018).
- [14] Bisio G. Rubatto G., Energy Saving And Some Environment Improvements in Coke Oven Plant, *Elsevier Science Direct*, 1998, *Energy* **25** (2000) 247–265.
- [15] Industrial Emissions Directive 2010/75/EU, Best Available Techniques Reference Document for Iron and Steel Production, *JRC Reference Report*, Luxembourg, 2013.
- [16] Thompson R. B., Method of Operation High Speed Coke Oven Battery, 1982, United States Patent: 4,344,820, *United States*.
- [17] Tosun C., Karahan Ş., Duhbacı T., Sanayide Temiz Üretim Olanaklarının ve Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi Projesi, *Tübitak MAM*, 5168B01, 78, 2016.
- [18] Rodero J. I., Sancho-Gorostiagal J., Ordiales M., Blast furnace and metallurgical coke's reactivity and its determination by thermal gravimetric analysis, *Maney & Institute of Materials and Mining*, DOI: 10.1179/1743281215Y.0000000016.
- [19] URL -3: <http://www.cokefuelequipment.com/products/coke-dry-quenching-cdq-equipment/>, (Ziyaret tarihi: 4 Mayıs 2018)
- [20] Errera M.R., Milanez L. F., Thermodynamic analysis of a coke dry quenching unit, *Elsevier Science Direct*, 1999, *Energy Conversion & Management*, **41** (2000) 109-127.
- [21] Orwath H., Coke Dry Quenching vs. Coke Stabilization Quenching, *World Association*, Brussels, Belçika, 2012.
- [22] Thyssenkrupp, Controlling Particulate Emissions from Coke Oven Plants, *Uhde Expertise in coke making*, Chicago, Amerika, 24-25 Mart 2010.
- [23] Towsey P. S., Cameron I., Gordon Y., Comparison of Byproduct and Heat-Recovery Cokemaking Technologies, *The Iron & Steel Technology Conference and Exposition*, Pittsburgh, 2010.
- [24] URL-4: <http://www.riyacarbons.com/technologies.php>, (Ziyaret tarihi: 2 Şubat 2018).
- [25] Nag D., Das B., Banerjee P. K., Haldar S. K., Saxena V. K., Methodology to Improve the Mean Size of Coke for Stamp Charge Battery, *Taylor & Francis Group*, DOI: 10.1080/19392699.2013.769436.
- [26] Uşengül E., Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları Kok Fabrikası Batarya Fırınlara Ekserji Analizi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak

Karaelmas Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2010, 625.04.01.

- [27] Smolka J., Slupik L., Fic A., Nowak A., Kosyrcyk L., CFD analysis of the thermal behaviour of heating walls in a coke oven, *Science Direct International Journal of Thermal Sciences*, 2016, **104** (2016) 186-193.
- [28] Price J. G. Process for Cooling of Coke, 1976, United States Patent Patent: 3,959,084, *United States*.
- [29] Özer A., Kok Kırıcı Merdanelerinin İyileştirilmesi ve Ömürlerinin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2013, 914.1.092.
- [30] Sun K., Tseng C., Wong D., Model predictive control for improving waste heat recovery in coke dry quenching processes, *Elsevier Science Direct*, 2014, **80** (2015) 275-283.
- [31] Liu X., Yuan Z., Life cycle environmental performance of by-product coke production in China, *Elsevier Science Direct*, 2015, **112** (2016) 1292-1301.
- [32] Liszio P., Coke Quenching, *Steel Academy at the Stahl Zentrum Coke Making Seminar*, Almanya, 20 Nisan 2016.
- [33] Qin S., Chang S., Modeling, thermodynamic and techno-economic analysis of coke, *Elsevier Science Direct*, 2017, **141** (2017) 435-450.
- [34] Sun L., Liu Y., Zhai C., Zhou H., Process Simulation of An Integrated Coke Dry Quenching Combined Gasification, *Vurup Petroleum & Coal*, 2012, **54** (1) 34-41.
- [35] Diez M.A., Alvarez R., Barriocanal C., Coal for metallurgical coke production: predictions of coke quality and future requirements for cokemaking, *Elsevier Science Direct*, 2002, **50** (2002) 389-412.
- [36] Kruger H., Coking Coal, *Arcelor Mittal FFF Coal Coke & Carbon in Met. Ind.*, South Africa, 13-14 Haziran 2013.
- [37] Indimath S., Shunmugasundaram R., Balamurugan S., Ultrasonic technique for online measurement of bulk density of stamp charge coal cakes in coke plants, *Elsevier Science Direct*, **172** (2018) 155-161. 2018.
- [38] Sand A., Rosenkranz J., Kuyumcu H. Z., Modelling and simulation of stamp-charged coke making by 2-D discrete element method, *Elsevier Science Direct*, 2013, **24** (2013),1039-1047.
- [39] Kuyumcu H. Z., Sander S., Stamped and pressed coal cakes for carbonisation in by-product and heat-recovery coke ovens, *Elsevier Science Direct*, 2014, **121**(2014), 48-56.

- [40] Nomura S., Coal blending teory for dry coal charging process, *Science Direct*, 2004, **83** (2004), 1771-1776.
- [41] URL-5: <http://ietd.iipnetwork.org/content/coke-making>, (Ziyaret Tarihi: 1 Nisan 2018).
- [42] Blending J., Dry Coke Quenching And Pollution Control, 1979, U. S. Patent No: 4,248,671, *U.S. Patent and Trademark Office*.
- [43] Tiwari H. P., Banerjee P. K., Saxena V. K., Haldar S. K., Effect of Indian Medium Coking Coal on Coke Quality in Non Recovery Stamp Charged Coke Oven, *Science Direct, Journal of Iron and Steel Research, International*, 2014, **21**(7), 673-678.
- [44] URL-6:http://www.asutm.com/modules/coking/dfcp_eng.html, (Ziyaret Tarihi: 12 Nisan 2018).
- [45] URL-7:<http://ietd.iipnetwork.org/content/coal-stamp-charging-battery>, (Ziyaret Tarihi: 1 Nisan 2018).
- [46] Madias G., Cordova M., A review on stamped charging coals, *12th Brazilian Symposium on Iron Ore and 1st Brazilian Symposium on Agglomeration of Iron Ore*, Brezilya, 1-4 Eylül 2013.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Akkar G.**, “Çelik Üretiminde Kok Bataryalarının Farklı Söndürme Sistemi Tasarımlarının Enerji Verimliliğine Etkisi”, 3. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Kocaeli, 4-5 Mayıs 2018.



ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İskenderun'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İskenderun, Hatay'da tamamladı. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nden 2011 yılında mezun oldu. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Öğrenim hayatına paralel olarak ortalama 5 yıl Otomotiv sektöründe çalışmıştır. Son 2 yıldan beri ise Demir Çelik sektöründe, bir Mühendislik ve Proje Yönetim firması olan, Erdemir Mühendislik'te çalışma hayatına devam etmektedir.

